

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas

Mariana Dias Chaves Batistão

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAR FATORES
CONTRIBUINTES DE ACIDENTES VIÁRIOS POR MEIO DE
GEOTECNOLOGIAS**



Professor Doutor João Fernando Custódio da Silva
Departamento de Cartografia
Orientador

Professor Doutor Edilson Ferreira Flores
Departamento de Estatística
Co-orientador

Presidente Prudente
2018

Mariana Dias Chaves Batistão

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAR FATORES
CONTRIBUINTES DE ACIDENTES VIÁRIOS POR MEIO DE
GEOTECNOLOGIAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia–FCT/UNESP, como requisito parcial de subsídio à obtenção do título de Doutor em Ciências Cartográficas.

Orientador: Prof. Dr. João Fernando C. da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Edilson Ferreira Flores

Presidente Prudente
2018

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação - Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Campus de Presidente Prudente

Batistão, Mariana Dias Chaves.
B337p Proposta metodológica para identificar fatores contribuintes de acidentes viários por meio de geotecnologias / Mariana Dias Chaves Batistão. - 2018
75 f. : il.

Orientador: João Fernando Custódio da Silva
Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2018
Inclui bibliografia

1. Acidentes rodoviários. 2. Fator contribuinte. 3. Mapeamento móvel. 4. Geoinformação. 5. Mapas de Kernel. 6. Krigagem indicatriz. 7. Regressão logística ordinal. I. Silva, João Fernando Custódio da. II. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. III. Título.

Alessandra Kuba Oshiro Assunção
CRB-8/9013

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: PROPOSTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAR FATORES
CONTRIBUINTES DE ACIDENTES VIÁRIOS POR MEIO DE
GEOTECNOLOGIAS

AUTORA: MARIANA DIAS CHAVES BATISTÃO
ORIENTADOR: JOÃO FERNANDO CUSTÓDIO SILVA
COORIENTADORA: VILMA MAYUMI TACHIBANA
COORIENTADOR: EDILSON FERREIRA FLORES

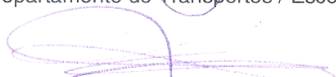
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIAS
CARTOGRÁFICAS, área: AQUISIÇÃO, ANÁLISE E REPRESENTAÇÃO DE INFORMAÇÕES
ESPACIAIS pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. JOÃO FERNANDO CUSTÓDIO SILVA
Departamento de Cartografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente



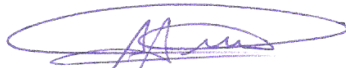
Prof. Dr. PAULO CESAR LIMA SEGANTINE
Departamento de Transportes / Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo



Prof. Dr. FRANCISCO ASSIS DA SILVA
Departamento de Informática / Universidade do Oeste Paulista



Profa. Dra. SILVELY NOGUEIRA DE ALMEIDA SALOMAO NEIA
Departamento de Estatística / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente



Prof. Dr. AMILTON AMORIM
Departamento de Cartografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Presidente Prudente, 02 de fevereiro de 2018.

*Dedico este trabalho à minha família,
meu maior tesouro.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por estar comigo a todo instante e me ensinar todo dia a compreender a vida. A ele minha eterna gratidão.

Ao Prof. Dr. João Fernando que me orientou durante sete anos de pesquisa, desde a graduação, com a iniciação científica, e na pós-graduação, com o mestrado e o doutorado. Obrigada por todo tempo dedicado e por todos os ensinamentos que levo agora comigo.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Edilson, por toda a paciência no ensinamento de Estatística. Entendi que a melhor forma de conhecer é descobrir e que a humildade de um pesquisador é a melhor forma de ensinar.

Pai e Mãe, vocês são o grande tesouro da minha vida. Meus maiores exemplos de pesquisadores. Me ensinaram que para ser grande, a gente precisa ser inteiro em tudo o que faz. Minha integridade e determinação, devo a vocês. Obrigada por estarem do meu lado, sempre.

Ca, minha irmã e melhor amiga, este trabalho não seria possível sem sua alegria, seu companheirismo e sinceridade. Obrigada por continuar dizendo as verdades que nunca quero escutar, de um jeito que só você sabe e por conseguir me fazer rir, sempre.

Gui, obrigada por me acompanhar nessa aventura que é a vida e por me apoiar principalmente nos difíceis momentos de tomada de decisões. Por dar força para seguir meu caminho ao seu lado e por ouvir minhas confissões sempre com palavras de confiança e incentivo. Obrigada por me dar o exemplo diário de que o trabalho dignifica o homem. Por todo amor e cumplicidade, obrigada.

A toda minha família que sempre me apoiou, com orações e palavras de conforto, tão importantes nessa etapa.

Aos queridos amigos, em especial, Ana, Pri, Nani, Tayná, Ana Cláudia, Ra, pela amizade, e que mesmo de longe, acompanham minha trajetória e torcem por mim. Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas e do Laboratório de Mapeamento Móvel pelo convívio diário.

Aos professores e funcionários do Departamento de Cartografia que, ao longo desses anos foram de extrema importância no desenvolvimento desse trabalho.

Aos professores da banca, pela presença, disposição e sugestões para enriquecer minha pesquisa.

Ao DER-SP e Polícia Militar Rodoviária-SP, em especial ao Comandante Leopoldo, ao Capitão João Carlos Lemes e ao Cabo Picirillo por compreenderem a importância do acesso aos dados para a pesquisa, por acompanharem os estudos e pelo atencioso atendimento.

A CAPES pela bolsa de estudo concedida para o desenvolvimento da pesquisa.

RESUMO

Essa pesquisa apresenta um estudo acerca dos fatores contribuintes de acidentes rodoviários com o objetivo de fornecer evidências para analisar o comportamento dos fatores contribuintes envolvidos nesses acidentes, mais especificamente nos trechos críticos. Deseja-se identificar a relação dos fatores com o grau de severidade de um acidente (danos materiais, sem vítimas fatais e com vítimas fatais) e o impacto de cada classe de fator na ocorrência de um acidente. A intenção é embasar uma análise geoespacial levando em consideração técnicas estatísticas e cartográficas e contribuir para melhorar a qualidade das informações sobre segurança viária no país e seu atual cenário crítico. A estrutura metodológica da pesquisa consiste em três etapas principais: (I) Identificação e determinação de segmentos de trechos críticos, (II) Mapeamento dos fatores contribuintes “via” para o acidente e (III) Investigação e estudo dos fatores contribuintes. Quatro trechos de rodovias do oeste do estado de São Paulo foram escolhidos como área de estudo. Na etapa I propôs-se um método de interpolação espacial de escolha de segmentos de trechos críticos levando a premissa existência da dependência geográfica dos acidentes em consideração. No total, foram identificados oito segmentos de trechos críticos na área de estudo. A etapa II concentrou-se no mapeamento dos fatores contribuintes desses segmentos de trechos críticos. Essa etapa trouxe o caráter tecnológico à pesquisa por fazer uso da integração de geotecnologias e a contribuição das Ciências Cartográficas para os estudos de segurança viária, por gerar informação a partir do mapeamento da localização dos fatores contribuintes. Das quatro classes de fatores (humano, ambiente, veículo e via) as características da via foram escolhidas para serem mapeadas, tendo-se deparado com a ausência de qualquer dado dessa classe de fatores tanto no banco de dados dos acidentes como no boletim de ocorrências. A relação com as outras três classes de fatores foi tratada na etapa III da pesquisa, cujos resultados proporcionaram montar o *ranking* dos seis fatores contribuintes da via mais frequentes nos segmentos de trechos críticos. Adicionalmente, foram construídos três modelos de regressão logística ordinal para investigar o impacto de cada uma das quatro classes de fatores no grau de severidade do acidente (três graus de severidade). Para isso, o grau foi tratado como variável dependente dos modelos. Quatro variáveis independentes (fatores contribuintes) foram consideradas significativas e escolhidas para compor os modelos: consumo de drogas (da classe de fator contribuinte humano), estado dos pneus (da classe de fator veículo), vegetação (da classe de fator via) e sinalização (da classe de fator via). Por fim, os modelos puderam ser analisados a partir da razão de chances (*odds ratio*) para complementar as informações e sintetizar os resultados como contribuições da pesquisa.

Palavras-chave: Acidentes rodoviários. Fator contribuinte. Mapeamento móvel. Geoinformação. Mapas de kernel. Krigagem indicatriz. Regressão logística ordinal.

ABSTRACT

This research presents a study about the contributing factors of road accidents in order to provide evidences to analyse the behaviour of contributing factors involved in these accidents more specifically in critical sections. The intention is to identify the relationship between those factors and the severity degree of an accident (material damage, no fatalities and fatalities) and the impact of each factor class on an accident occurrence. The aim is to base on geospatial analysis taking into account statistical and cartographic techniques and contribute to improve the quality of the road safety information in the country which has a current critical scene. The methodological structure of this thesis consists of following three main steps: (I) Identification and determination of critical sections segments, (II) mapping “road” contributing factors for each accident and (III) Investigation and study of the contributing factors. Four sections of highways in the west of São Paulo state were chosen as the study area. In Step I, proposed a spatial interpolation method to choose critical sections segments premising the existence of geographical dependence of the considered accidents. In entire, eight critical sections segments were identified in the study area. Step II focused on mapping the contributing factors of these segments. This step brought the technological character to this research by making use of geotechnologies integration and the contribution of Cartographic Sciences to road safety by generating information of the contributing factors location from mapping. Of the four factors classes (human, environment, vehicle and road), the road characteristics were chosen to be mapped, since no data from this factor class was found in both the accident database and the occurrence report. The relation with the other three factors classes was the subject of step III, which results provided a ranking of the six most frequent contributing factors in critical sections segments. In addition, three ordinal logistic regression models were constructed to investigate the impact of each of the four factors classes on the accident severity degree (three severity degrees). For this, the severity degree was considered as the models dependent variable. Four significant independent variables (contributing factors) were chosen to compose the following models: drug consumption (from the human contributing factor class), tire condition (vehicle factor class), vegetation (road factor class) and signaling (road factor class). Lastly, the models could be analysed by the odds ratio method to complement the information and synthesize the results as research contributions.

Key words: Road accidents. Contributing factor. Mobile mapping. Geoinformation. Kernel maps. Indicator Kriging. Ordinal logistic regression model.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Matriz de utilização de transporte no Brasil em 2010.	15
Figura 2 - Trecho de um BO de acidente de trânsito rodoviário.	17
Figura 3 - Relação entre os dados, índices, indicadores e informação.	20
Figura 4 - Evolução do índice Brasil 2000-2010 para quilômetros de rodovias por 10.000 habitantes.	21
Figura 5 - Exemplo da ocorrência de fatores contribuintes da rodovia.	28
Figura 6 - Etapas do processo de investigação da ocorrência dos acidentes.	29
Figura 7 - Etapas da metodologia da pesquisa.	31
Figura 8 - Isotropia e anisotropia.	33
Figura 9 - Distribuição baseada no vizinho mais próximo (9a) e com os envelopes (9b).	34
Figura 10 - Estimador de intensidade de distribuição de pontos em vias.	35
Figura 11 - Modelo variográfico.	38
Figura 12 - Etapas do processo de krigagem não linear.	40
Figura 13 - Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).	48
Figura 14 - Etapas do processo de geocodificação.	52
Figura 15 - UMMD: Vista geral.	53
Figura 16 - Croqui da composição da plataforma móvel do sistema AIIG com três câmeras.	55
Figura 17 - Sistema AIIG com os materiais.	56
Figura 18 - CF por sucessivas bases, cada uma com um trio de imagens.	56
Figura 19 - Localização dos trechos das rodovias utilizadas na pesquisa.	57
Figura 20 - Fragmento de planilha da PMR-SP com os registros dos acidentes por quilômetro.	58
Figura 21 - Modelo padrão de cada célula da coluna de dados <i>geocod.</i>	60
Figura 22 - Trecho da tabela de ocorrência de acidentes já preparada para geocodificação.	60
Figura 23 - Fragmento da tabela de correspondência para geocodificação.	61
Figura 24 - Divisão do trecho da rodovia SP-270 em 99 partes iguais.	61
Figura 25 - Parâmetros de conexão com a tabela: “geocodificação” (a) e sensibilidade (b).	62
Figura 26 - Localização de acidentes geocodificados dos trechos das rodovias.	63
Figura 27 - Etapas do método de interpolação espacial de escolha de trechos críticos rodoviários.	65
Figura 28 - Parâmetros para gerar gráfico do vizinho mais próximo no SPRING.	67
Figura 29 - Dados de acidentes rodoviários do trecho da SP-270: Método do vizinho mais próximo.	67
Figura 30 - Parâmetros para gerar gráfico do vizinho mais próximo com simulação no SPRING.	68
Figura 31 - Dados de acidentes rodoviários do trecho (SP-270): método com simulação.	69
Figura 32 - Parâmetros de entrada para aplicar Kernel (valor do raio).	69
Figura 33 - Correspondência entre fator de risco e variável do banco de dados.	70
Figura 34 - Proposta de novos fatores a partir dos dados do banco de dados da PMR-SP.	71
Figura 35 - Densidade de Kernel para os acidentes nos trechos das rodovias.	72
Figura 36 - Variograma modelado (grau de severidade de ocorrência dos acidentes) omnidirecional.	76
Figura 37 - Regiões de probabilidade por KP para os acidentes nos trechos das rodovias.	77
Figura 38 - resultados obtidos com a KP (SP-425).	78
Figura 39 - Regiões de probabilidade por KI (modelo escolhido) para os acidentes rodoviários.	80
Figura 40 - Metodologia para o mapeamento dos fatores contribuintes da via.	84
Figura 41 - Ponto notável 3 coletado e descrito no Memorial Descritivo.	85
Figura 42 - Sistema acoplado no veículo e integrado para o levantamento.	86
Figura 43 - Trecho do relatório do arquivo gerado pelo sistema AIIG (SP-270).	89
Figura 44 - Tríade de imagens geradas pelo sistema: câmera central (acima), esquerda e direita. Segmento de trecho 7 “sem acostamento” em destaque.	90
Figura 45 - Trecho do relatório (SP-294). Destaque para a coluna “característica identificada”.	90
Figura 46 - Correspondência entre os fatores contribuintes.	92

Figura 47 - Fatores contribuintes da via: sinalização.	95
Figura 48 - Fatores contribuintes da via: pavimentação e acostamento.	96
Figura 49 - Fatores contribuintes da via: acesso à rodovia.	97
Figura 50 - Fatores contribuintes da via: presença de objetos na pista.	98
Figura 51 - Fatores contribuintes da via: vegetação.	99
Figura 52 - Fatores contribuintes da via: sinalização.	100
Figura 53 - Fatores contribuintes da via: pavimentação e acostamento.	100
Figura 54 - Fatores contribuintes da via: acesso à rodovia.	101
Figura 55 - Fatores contribuintes da via: presença de objetos na pista.	101
Figura 56 - Fatores contribuintes da via: vegetação.	102
Figura 57 - Fatores contribuintes da via: sinalização.	103
Figura 58 - Fatores contribuintes da via: acesso à rodovia.	104
Figura 59 - Fatores contribuintes da via: acesso à rodovia sem sinalização.	104
Figura 60 - Fatores contribuintes da via: acesso à rodovia.	105
Figura 61 – Relação: fatores contribuintes da via e a severidade do acidente (danos materiais).	108
Figura 62 – Relação: fatores contribuintes da via e a severidade do acidente (sem vítimas fatais). ...	108
Figura 63 – Relação: fatores contribuintes da via e a severidade do acidente (com vítimas fatais). ..	108
Figura 64 – Relação: classes de fatores contribuintes da via e a severidade dos acidentes (danos materiais).	112
Figura 65 – Relação: classes de fatores contribuintes da via e a severidade dos acidentes (sem vítimas fatais).	112
Figura 66 – Relação: classes de fatores contribuintes da via e a severidade dos acidentes (com vítimas fatais).	112
Figura 67 - Proporção de cada classe de fator contribuinte da rodovia por severidade do acidente. ...	114
Figura 68 - Proporção de cada variável do fator contribuinte humano por severidade do acidente.	117
Figura 69 - Proporção da variável do fator contribuinte veículo por severidade do acidente.	118
Figura 70 - Proporção de cada variável do fator contribuinte ambiente por severidade do acidente. ..	119
Figura 71 - Resultados Minitab – Método <i>Backward</i>	121
Figura 72 - Resultados Minitab - Modelo de regressão logística ordinal.	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Erros associados aos valores preditos dos modelos de krigagem indicatriz.	79
Tabela 2 - Número de imagens geradas pelo mapeamento por segmento de trecho crítico rodoviário.	88
Tabela 3 - Combinação de fatores contribuintes predominantes nos acidentes com vítimas fatais.	110
Tabela 4 - Porcentagem das classes de fator contribuinte da via por severidade do acidente.	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Índices de acidentes.	19
Quadro 2 - Indicadores do Brasil e do mundo para o sistema de transportes rodoviário.	21
Quadro 3 - Modelos teóricos de variogramas.	39
Quadro 4 - Possíveis valores do modelo de regressão logística (variável independente dicotômica). .	45
Quadro 5 - Segmentos de trechos críticos das rodovias em estudo.	81
Quadro 6 - Dados do mapeamento dos segmentos de trechos críticos rodoviários.	87
Quadro 7 - Características físicas dos segmentos de trechos críticos rodoviários mapeados.	91
Quadro 8 - Fatores contribuintes da rodovia para os acidentes nos segmentos de trechos críticos.	93
Quadro 9 - Ranking do número de fatores contribuintes da rodovia.	106
Quadro 10 - Modelo de coleta de fatores contribuintes da rodovia - segmentos de trechos críticos. .	107
Quadro 11 - <i>Odds ratio</i> das variáveis independentes do modelo de regressão.	126

LISTA DE SIGLAS

AIIG – Aquisição Integrada de Imagens Georreferenciadas
ASV – Auditoria de Segurança Viária
BD – Banco de Dados
BO – Boletim de Ocorrências
CEFTRU – Centro de Recursos Humanos em Transportes
CF – Caminhamento Fotográfico
CSR – *Complete Spatial Randomness*
CTB – Código de Trânsito Brasileiro
DEINFRA – Departamento de Infraestrutura
DER/SP – Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo
DETRAN/SP – Departamento Estadual de Trânsito do Estado de São Paulo
DFT – *Department of Transport*
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FFR – Fototriangulação por Feixe de Raios
FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
GPS – *Global Positioning System*
GSV – Gestão de Segurança Viária
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDT – FIESP – Índice Comparado de Desempenho da Infraestrutura de Transporte
ISP – Índice de Severidade Proposto
LaMMov – Laboratório de Mapeamento Móvel
MMQ – Método dos Mínimos Quadrados
MQ – Mínimos Quadrados
OMS – Organização Mundial da Saúde
PMR-SP – Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo
PVA – Posição, Velocidade e Atitude
RR – Resseção Fotogramétrica
SAU – Serviços de Atendimento ao Usuário
SE – *Standard Error*
SGBD – Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SIG – Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS 2000 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SMM – Sistema de Mapeamento Móvel
STATS19 – Sistema de Registro de Acidentes do Reino Unido
TCT – Técnicas de análise de Conflito de Tráfego
UMMD – Unidade Móvel de Mapeamento Digital
UPS – Unidade Padrão de Severidade
USDOT – *United States Department of Transportation*
VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado
VMDA – Volume Médio Diário Anual

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 O problema dos acidentes viários no mundo e no Brasil	13
1.2 Motivação do trabalho	15
1.3 Estrutura da tese	16
2. FUNDAMENTOS SOBRE A OCORRÊNCIA DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS	17
2.1 Registro e coleta de dados dos acidentes	17
2.2 Indicadores e índices de acidentes viários	18
2.3 Gerenciamento da segurança viária	22
2.4 Métodos de identificação e análise de trechos críticos rodoviários	23
2.5 Coleta e classificação dos fatores contribuintes dos acidentes viários	26
2.6 O processo de investigação da ocorrência dos acidentes viários	28
3. METODOLOGIA DA PESQUISA	31
3.1 Métodos e técnicas estatísticas	32
3.1.1 Análise exploratória	32
3.1.2 Estatística espacial	32
3.1.3 Geoestatística	36
3.1.4 Regressão logística ordinal	41
3.2 Métodos e técnicas cartográficas	46
3.2.1 Geoinformação e geotecnologia	46
3.2.2 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)	47
3.2.3 Geocodificação de dados	50
3.2.4 Geotecnologia para o mapeamento dos fatores contribuintes	52
4. ESTUDOS E ANÁLISES PRELIMINARES	57
4.1 Área de estudo da pesquisa	57
4.2 A natureza dos dados e os materiais utilizados	58
4.3 Geocodificação dos dados	59
5. PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DE ESCOLHA DE TRECHOS CRÍTICOS DE RODOVIAS	64
5.1 Dados de entrada	66
5.2 Identificação dos segmentos de trechos críticos	66
5.3 Determinação dos segmentos de trechos críticos	73
5.4 Resultados e produto	81
5.5 Considerações sobre o método	82

6. MAPEAMENTO DOS FATORES CONTRIBUINTES DOS ACIDENTES NOS TRECHOS CRÍTICOS	84
6.1 Reconhecimento da área de interesse	84
6.2 Planejamento	85
6.3 Coleta de dados	87
6.4 Processamento dos dados coletados	88
6.5 Estudo dos fatores contribuintes mapeados nas rodovias	95
6.6 Relação dos fatores contribuintes mapeados com a severidade dos acidentes nos segmentos de trechos críticos	107
7. CONSTRUÇÃO DO MODELO DE REGRESSÃO PARA OS FATORES CONTRIBUINTES DOS ACIDENTES DOS TRECHOS CRÍTICOS	115
7.1 Análise da variável dependente	115
7.2 Escolha das variáveis independentes	116
7.3 Construção do modelo de regressão	120
7.4 Interpretação dos resultados e análise da eficiência do modelo	123
8. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	127
REFERÊNCIAS	129
APÊNDICE A – Memorial descritivo dos pontos notáveis	139
ANEXO A – Classes e características físicas da rodovia	145
ANEXO B - Modelo de fatores contribuintes de acidentes de trânsito	147
ANEXO C – Listagem de definições dos fatores contribuintes da via para os acidentes	149

1. INTRODUÇÃO

Os acidentes no trânsito constituem um sério e grave problema no mundo contemporâneo. Essa situação levou a Organização das Nações Unidas (ONU) a proclamar a “Década Mundial da Segurança Viária (2010-2020)” e as nações se comprometerem em adotar novas medidas para prevenir e reduzir o número de mortes em acidentes viários (ONUBR, 2011).

No mais recente relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS), do ano de 2010, o Brasil ocupava o 4º lugar no *ranking* do número de mortes no trânsito no mundo, posicionando-se atrás apenas de China, Índia e Nigéria. A situação é a mesma no trânsito rodoviário, que faz vítimas na proporção de uma epidemia global. Todos os anos, mais de 1,5 milhão de pessoas morrem nas estradas. Particularmente, no Brasil, mais de 40 mil óbitos por acidentes de natureza viária são registrados anualmente. Do total, 5% se concentram no oeste do estado de São Paulo (OESTATÍSTICAS, 2016; ONUBR, 2016).

É sabido que as Ciências Cartográficas podem contribuir como assessora nos levantamentos topográficos, geodésicos, aerofotogramétricos, análise de imagens orbitais e cartografia, na fase de projeto de uma rodovia, por exemplo. Relevante, porém, é a real possibilidade de que a lacuna atualmente existente, entre os métodos de análise textual e espacial, pode ser eliminada por meio da contribuição da informação geográfica proveniente das geotecnologias.

No tocante à Gestão de Segurança Viária (GSV) e às ações para redução de acidentes, vislumbra-se uma parcela de efetiva contribuição da Cartografia e Estatística com a tecnologia de bancos de dados geográficos e mapeamento móvel que, uma vez integradas, podem produzir informações georreferenciadas acerca dos locais ou trechos críticos de acidentes.

O elo entre as Ciências Cartográficas, particularmente a Engenharia Cartográfica, e a Engenharia de Transportes, em especial a área de Segurança Viária, no que tange aos aspectos destacados, vem sendo pesquisado e explicitado desde o segundo semestre de 2011 com o projeto de pesquisa de Iniciação Científica (CHAVES, 2011) e continuada com o desenvolvimento no mestrado (CHAVES, 2014).

As referências consultadas sugerem e em certa medida até clamam por estudos e pesquisas amparadas em múltiplas tecnologias. Assim, acredita-se que a hipótese de estimar ou desvelar os prováveis fatores contribuintes dos acidentes viários com base na integração dos dados textuais referentes aos registros dos acidentes, sobretudo com uso intensivo de

geotecnologias e técnicas de estatística, é um primeiro aspecto de ineditismo e originalidade desta pesquisa.

Um aspecto de grande relevância desta pesquisa é o acesso aos dados de acidentes de trânsito em rodovias, já que essa é uma dificuldade que os pesquisadores nacionais enfrentam. Os dados são ora difíceis de serem obtidos, ora incompletos e desatualizados. Por vezes, chega-se até a limitar o desenvolvimento de estudos sobre segurança rodoviária nacional.

O potencial do estudo sobre os fatores contribuintes nos acidentes em rodovias é evidenciado, por exemplo, nas Auditorias de Segurança Viária com a coleta dos mesmos com base em entrevistas, decisões e pesos atribuídos pelos especialistas da área, tanto nacionais, como internacionais e, também, por policiais rodoviários como uma estratégia na geração de informações complementares nos bancos de dados e Boletins de Ocorrência do acidente (BO).

1.1 O problema dos acidentes viários no mundo e no Brasil

Explicar como se deu um acidente viário é um grande desafio desde que a primeira ocorrência foi registrada, em Londres, no ano de 1909. Nas primeiras abordagens do assunto, o acidente era tratado como uma ocorrência aleatória sobre os quais o ser humano não teria controle algum. Em 1920, durante a Primeira Guerra Mundial, surgiu a teoria da propensão com a ideia de que só ocorreriam acidentes desde que existissem certas tendências iniciais. Na década de 1950, estudos evidenciaram que a prevenção dos acidentes seria possível, que haveria sucesso nessa prevenção, e que, ela só seria alcançada se as causas do provável acidente fossem determinadas (BASTOS, 2011).

Entre 1960 e 1970, popularizou-se a teoria epidemiológica, considerando que, os acidentes seriam resultados de desajustes na interação entre várias partes dos sistemas complexos, modificando os componentes técnicos do sistema de transporte, principalmente aqueles relacionados à engenharia de segurança (ELVIK et al., 2009).

De fato, para a comunidade científica, ainda não há teoria ideal. A abordagem mais tradicional tem base na estatística de frequência de ocorrência e na severidade dos acidentes (HAUER, 2007). Isso porque os especialistas descobriram que os acidentes não são acontecimentos fortuitos, imprevisíveis e dependentes da sorte, mas, ao contrário, eles seguem parâmetros característicos de distribuição, isto é, o acidente é sempre uma consequência (HOFFMANN, 2005).

Em 1965, na França, o *Interdepartmental Highway Safety Board* posicionou-se sobre o assunto, deixando claro que os acidentes de trânsito constituíam um importante problema nacional que não respeitava limites estaduais e municipais e que o Governo Federal deveria

aceitar o desafio para o estabelecimento de políticas arrojadas nessa área. Assim, em 1966, o congresso francês decretou o primeiro *Highway Safety Act* bem como um Comitê Interministerial para a Segurança de Trânsito, com o propósito de coordenar esforços em todos os níveis e promover um programa contínuo para o desenvolvimento e aplicação de medidas corretivas no trânsito (LEHFELD, 1979).

No Brasil, a primeira norma legal sobre o trânsito, de que se tem conhecimento, é o Decreto nº8324 de 27 de outubro de 1910, cuja principal finalidade era disciplinar o serviço de transporte por automóvel. Atualmente, o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), em vigor desde 23 de setembro de 1998, impõe padrões de controle bem mais severos que os anteriores (MOUKARZEL, 1999).

O CTB é instrumento de extrema importância para a sociedade brasileira, uma vez que o sistema de transporte caracteriza-se por ser uma atividade dentro do processo produtivo, de maneira que se posiciona e com relevância no contexto do desenvolvimento socioeconômico, além de proporcionar a integração político-administrativa.

Os recursos tributários e gastos do setor público (cerca de 20%) direcionados pela legislação para o financiamento de rodovias permitiram a construção de grande parte da malha rodoviária brasileira pavimentada na segunda metade do século XX, com sua maior expansão nas décadas de 1960 e 1970 (BROCHADO, 2008).

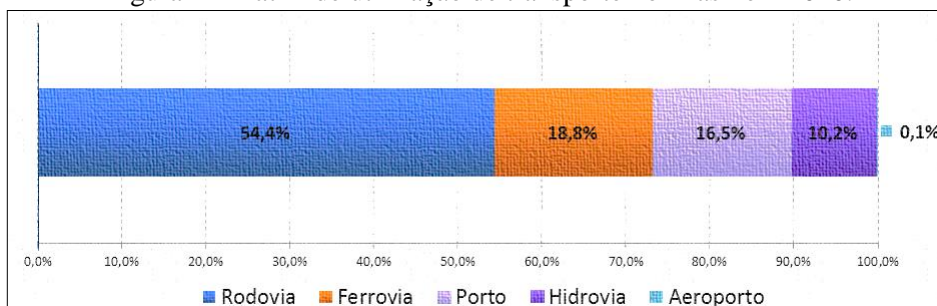
Após o período de expansão, os recursos passaram a ser transferidos para outras finalidades e prioridades de governo, baixando os níveis de investimentos públicos para conservação e expansão do sistema rodoviário. Foi notável a perda na qualidade das rodovias brasileiras, principalmente entre 1979 e 2003 (BASTOS, 2011).

Os principais reflexos econômicos negativos foram (BRASIL, 2005):

- Efeito inibidor do desenvolvimento de atividades econômicas
- Perda de um dos mais importantes patrimônios do país
- Acréscimo do consumo de combustíveis (até 58%)
- Acréscimo no custo operacional dos veículos (até 40%)
- Acréscimo no tempo de viagem (até 100%)
- Acréscimo no custo de frete e de passagens rodoviárias
- Elevação do índice de acidentes (até 50%)

Mesmo assim, conforme a matriz de transporte brasileira, o modo rodoviário ainda prevalece, efetivando mais da metade (54,4%) do transporte nacional, seguido da ferrovia (18,8%), portos (16,5%), hidrovia (10,2%) e aeroporto (0,1%) (Figura 1).

Figura 1 - Matriz de utilização de transporte no Brasil em 2010.



Fonte: São Paulo (2010).

Não por acaso, os organismos nacionais de saúde consideram o número de acidentes viários uma epidemia; aliás, agências internacionais chamam atenção para a situação alarmante comum a muitas outras nações com taxas de desenvolvimento similares à do Brasil (DATASUS, 2015).

1.2 Motivação do trabalho

O objetivo desta seção é esboçar, resumidamente, o problema tratado nesta tese com o desenvolvimento desta pesquisa, a motivação para o trabalho e as dificuldades encontradas durante o caminho.

Como mencionado, o oeste paulista concentra anualmente aproximadamente 5% dos acidentes rodoviários do Brasil. A questão proposta nesta pesquisa é analisar o comportamento dos fatores contribuintes envolvidos nesses acidentes, mais especificamente nos trechos críticos. Muitas pessoas trafegam por essas rodovias todos os dias e algumas situações podem aumentar a exposição ao risco de ocorrência de um acidente e deixar sequelas irreparáveis, como a perda de uma vida. A grande motivação desta pesquisa é poder contribuir com a geração de informação de qualidade para essas pessoas, sobre as rodovias em que trafegam.

Garantir a segurança viária é um assunto multidisciplinar e complexo com o qual interagem simultaneamente quatro classes de fatores contribuintes. Admite-se que o condutor é o causador principal. Entretanto, estudos caminham no sentido de que há fatores contribuintes relevantes da via e outros que são tidos como causadores (CHAGAS, 2011; NODARI, 2003; SCHOPF, 2006).

Deseja-se identificar quais e como esses fatores podem estar associados à ocorrência de um acidente. Com isso, todos os responsáveis por um trânsito seguro, envolvendo inclusive

o condutor do veículo, podem somar esforços para tentar diminuir o número de acidentes nas rodovias por onde passarem.

O objetivo geral dessa pesquisa é proporcionar a integração de dados textuais sobre ocorrência de acidentes rodoviários e dados de cartografia (geotecnologia) e relacionar os trechos críticos de rodovias com os fatores contribuintes de um acidente.

Os objetivos específicos são:

- A busca de um método para encontrar trechos rodoviários avaliados como críticos com base em técnicas de análises estatísticas. Em tese, esses trechos corresponderiam à falta de um ou mais fatores de segurança na rodovia.
- Localizar, identificar e quantificar os fatores contribuintes com auxílio de geotecnologias para mapeá-los e geocodificá-los.
- Explorar a relação entre os fatores contribuintes mapeados em função da regressão estatística dos dados, proporcionando o conhecimento do real impacto de cada fator na ocorrência de um acidente.

Coletar, organizar e analisar os dados envolvidos foram grandes desafios inerentes a esta pesquisa que propõe a integração de técnicas estatísticas e de cartografia como uma solução para garantir a qualidade do trabalho.

1.3 Estrutura da tese

Esta tese esta estruturada em oito capítulos que descrevem a pesquisa desenvolvida. No capítulo 2, o contexto e os fundamentos relevantes do tema envolvido na pesquisa são apresentados. No capítulo 3, tem-se a metodologia de pesquisa, mais especificamente os métodos e técnicas estatísticas e cartográficas utilizadas. Os estudos e análises preliminares estão descritos no capítulo 4. A aplicação e os resultados de um método proposto para a interpolação espacial de escolha de segmentos de trechos críticos de rodovias compõe o capítulo 5. Os produtos do mapeamento terrestre dos trechos críticos encontrados no capítulo 5, aliados ao Sistema de Informações Geográficas, deram continuidade à pesquisa e permitiram a identificação dos fatores contribuintes da via para acidentes dos mesmos trechos, bem como uma proposta de modelo de coleta desses fatores. Esse assunto está descrito no capítulo 6. O capítulo 7 apresenta o tratamento estatístico de regressão estatística dos dados, com o intuito de quantificar o real impacto de cada fator contribuinte na ocorrência de um acidente. O capítulo 8 apresenta as conclusões e recomendações para futuros trabalhos, buscando integrar os pontos relevantes da pesquisa ao longo do trabalho.

2. FUNDAMENTOS SOBRE A OCORRÊNCIA DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS


Neste capítulo, buscou-se apresentar os fundamentos envolvidos nos acidentes rodoviários de forma geral. Partiu-se da descrição do registro e coleta dos dados até finalizar com o processo de investigação das causas dos acidentes.

2.1 Registro e coleta de dados dos acidentes

Quantificar os acidentes viários é contabilizar o número de ocorrências registradas. Cada ocorrência é um registro minucioso de todos os dados de um único acidente. A interpretação destes dados consiste nas informações sobre o evento ocorrido. Existem diferentes características dos dados que identificam os acidentes e aquelas que aparecem em maior frequência são chamadas características críticas.

O registro dos acidentes de trânsito é, geralmente, feito pela polícia; nas rodovias e estradas estaduais do Brasil pela polícia militar rodoviária dos estados. Comumente, a documentação dos acidentes é realizada no local do acidente quando há vítimas ou veículos oficiais envolvidos, através do preenchimento do Boletim de Ocorrência (FERRAZ et al., 2012). Na Figura 2 tem-se um trecho de um BO de acidente de trânsito rodoviário.

Figura 2 - Trecho de um BO de acidente de trânsito rodoviário.

	GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO SECRETARIA DE SEGURANÇA PÚBLICA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO Comando de Policiamento Rodoviário	BOLETIM DE OCORRÊNCIA DE ACIDENTE DE TRÂNSITO RODOVIÁRIO																
		<table border="1"> <tr> <td>Folha</td> <td>De</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>7</td> </tr> </table>	Folha	De	1	7												
Folha	De																	
1	7																	
DADOS GERAIS																		
Número: [REDACTED] Data do Fato: 01/05/2014 Hora do Fato: 19:00 Dia da Semana: QUINTA-FEIRA Atendimento Inicial: 01/05/2014 19:30:00 Atendimento Final: 02/05/2014 02:00:00 Via: RURAL Sentido da Via: OESTE Velocidade Máx. Permitida: 40 Km/h Concessionária: CART Endereço Principal: RODOVIA SP 270 KM: 584,600 Bairro: RURAL Município: PRESIDENTE BERNARDES UF: SP Tipo de Acidente: L08 - ACIDENTE DE TRÂNSITO COM VITIMA OUTROS(AS) COLISÃO FRONTAL - COLISÃO LATERAL - CHOQUE Outras Propriedades Atingidas:																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Número de Veículos Envolvidos</th> <th>Número de Condutores</th> <th>Número de Passageiros</th> <th>Número de Pedestres</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Danificados: 3</td> <td>Mortos: 1</td> <td>Mortos: 1</td> <td>Mortos: 0</td> </tr> <tr> <td>Sem Danos: 0</td> <td>Feridos: 1</td> <td>Feridos: 5</td> <td>Feridos: 0</td> </tr> <tr> <td>Evadidos: 0</td> <td>Ilisos: 1</td> <td>Ilisos: 0</td> <td>Ilisos: 0</td> </tr> </tbody> </table>			Número de Veículos Envolvidos	Número de Condutores	Número de Passageiros	Número de Pedestres	Danificados: 3	Mortos: 1	Mortos: 1	Mortos: 0	Sem Danos: 0	Feridos: 1	Feridos: 5	Feridos: 0	Evadidos: 0	Ilisos: 1	Ilisos: 0	Ilisos: 0
Número de Veículos Envolvidos	Número de Condutores	Número de Passageiros	Número de Pedestres															
Danificados: 3	Mortos: 1	Mortos: 1	Mortos: 0															
Sem Danos: 0	Feridos: 1	Feridos: 5	Feridos: 0															
Evadidos: 0	Ilisos: 1	Ilisos: 0	Ilisos: 0															
CONDIÇÕES DO LOCAL DO ACIDENTE																		
Via com Pista: SIMPLES Faixas de Rolamento: 4 Mão de Direção: DUPLA Traçado da Pista: RETA Relevo da Pista: INCLINADO																		

Fonte: PMR-SP (2014).

Cinco dados são essenciais para a caracterização do evento: localização no espaço e tempo; característica dos veículos, pessoas e vítimas envolvidas; tipo e estado do pavimento e descrição do acidente. No caso das rodovias, é comum identificar o local pelo quilômetro aproximado com precisão de 100 metros (por exemplo, 501 km + 200 m, ou km 501 + 200 m).

Em que pesem os problemas na coleta de dados, deficiências de procedimentos, descontinuidade da informação, duplicidade de dados e falta de uma base digital adequada, os Bancos de Dados (BD), construídos com base nos BO, ainda que imperfeitos, são os únicos registros disponíveis aos gestores para inferir ou desvelar os fatores contribuintes dos acidentes. Apesar da confiabilidade limitada dos registros de acidentes, no Brasil e em vários países, Wisconsin (1990) destaca que o volume crescente de informações concernentes às redes viárias tem exigido sistemas, cada vez mais eficientes, de processamento dos dados, particularmente daqueles que se distribuem espacialmente.

2.2 Indicadores e índices de acidentes viários

A relação entre duas ou mais características intrínsecas, e também extrínsecas aos acidentes, geram os índices e indicadores de informações sobre o ocorrido. Estes permitem avaliar a dimensão da acidentalidade viária em um determinado espaço geográfico de modo a identificar os locais críticos. O estudo destes locais é necessário para definir as ações tomadas no âmbito da Engenharia para combater a acidentalidade viária. O sucesso desta etapa depende do registro e coleta de dados dos acidentes os quais devem ser controlados rigorosamente desde a construção do banco de dados até a sistematização, processamento e análise das informações.

Existem diversos tipos de índices, gerados de diferentes pontos de vista e para pesquisas com diferentes propósitos na área de segurança viária. Os dois índices absolutos mais usados no Brasil são o de frequência e o de severidade do acidente (BRASIL, 2002; IHT, 1996). Os índices relativos foram elaborados porque os índices absolutos não relacionam os acidentes com seus fatores causadores, denominados de variáveis de base (MCSHANE e ROESS, 1990).

As variáveis de base podem ser subdivididas em duas categorias: com base na população ou em medidas de exposição e servem para quantificar e comparar o risco de envolvimento em acidentes para um indivíduo, destacando-se as variáveis população (habitantes), veículos licenciados e motoristas licenciados em uma determinada área.

A comparação entre os índices de diferentes espaços geográficos também resulta em índices relativos e proporciona uma avaliação relativa da segurança viária. Um dos índices relativos mais aplicados é a taxa de acidentes. Outro é a taxa de severidade do acidente que se assemelha à taxa de acidentes, considerando, porém, a Unidade Padrão de Severidade (UPS).

Para evitar pequenos valores, é usual trabalhar com números referentes a 10.000 (dez mil), 100.000 (cem mil), 1.000.000 (um milhão), e também com unidades por habitantes, veículos, quilômetros de via, dentre outros.

Índices como o de acidente, acidentes em um ponto, acidentes em um trecho de via, motorização e acidentes em relação à população já estão consolidados na literatura e são sempre utilizados em levantamento de dados de acidentes viários. Apenas para conhecimento, tem-se alguns desses índices e respectivas expressões matemáticas no Quadro 1.

Quadro 1 - Índices de acidentes.

Índice	Equação matemática
Acidentes e vítimas (I)	$I = \frac{N}{Q} \times 10^4$
Acidentes em um ponto (Tp)	$Tp = \frac{N \times 10^6}{P \times V}$
Acidentes em um trecho de via (Tv)	$Tv = \frac{A \times 10^6}{P \times V \times E}$
Motorização da área geográfica (Im)	$I_m = \frac{F}{Po} \times 10^3$
Acidentes em relação à população (Ip)	$I_p = I_f \times I_m \times 10^4$

Fonte: Ferraz et al. (2012).

Em que, N : número de acidentes ou vítimas no período ou no ponto no período (número de acidentes), Q : população, frota de veículos, volume de tráfego, extensão da via, quantidade de transporte expressa por um veículo por quilômetro ou passageiro por quilômetro no mesmo período, V : volume diário médio anual de veículos (VDM) que passam no ponto, P : período de tempo (dias), A : número de acidentes no trecho no período P (número de acidentes), E : extensão do trecho (km), F : frota (veíc.), Po : população (hab.), I_f : índice de acidentes em relação à frota (acid/veíc), I_m : índice de motorização (veíc/hab).

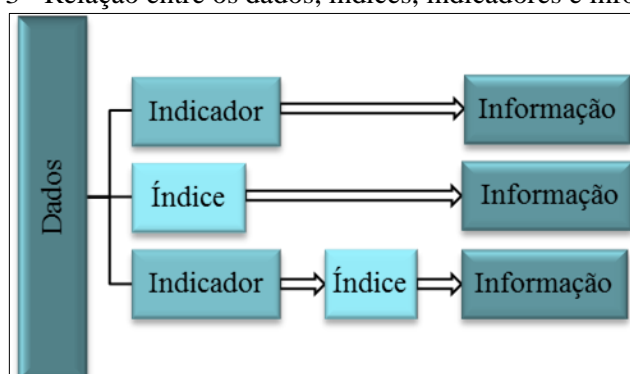
Cada índice é indicado para um objetivo específico. Por exemplo, o índice de mortes por quilômetros percorridos pela frota de veículos (veículos-quilômetros percorridos), ou, conforme o caso, por quilômetro percorrido pelas pessoas (passageiros-quilômetros percorridos), é o que melhor expressa o risco de morte nas viagens pelas rodovias e vias urbanas de um país, estado, município, etc., podendo, inclusive, ser desagregado por modo de

transporte – o que permite avaliar o risco relativo de morte ao viajar por outro tipo de veículo (FERRAZ et al., 2012).

Esses índices específicos são utilizados quando os dados dos acidentes forem de difícil acesso ou quando o objetivo for compará-los e propor novos índices em função da união de dois ou mais. Os índices também podem estar relacionados com indicadores para gerar informações.

Segnestam (2002) relaciona dados, indicadores, índices e informações (Figura 3). Com base nos dados, geram-se indicadores e índices, e, destes indicadores também podem gerar índices, ambos resultando em informação.

Figura 3 - Relação entre os dados, índices, indicadores e informação.



Fonte: O autor.

A principal função de um indicador é identificar as atividades de cada processo e então definir e medir a probabilidade do processamento do sistema sair perfeito, assim, diz respeito à eficácia do desempenho, considerando a integração das atividades logísticas e não somente as funções individuais (BASTOS, 2003).

Como exemplo, a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) organizou um estudo que estabelece um parâmetro de indicadores de desempenho logística do Brasil com líderes do setor no mundo todo. Por ser uma iniciativa da FIESP, por meio de seu Departamento de Infraestrutura (Deinfra), o IDT-FIESP (Índice Comparado de Desempenho da Infraestrutura de Transporte) acompanha o desenvolvimento relativo dos indicadores e, consequentemente, todos os dados geradores destes índices.

Lançado no 8º Encontro de Logística e Transportes, o IDT-FIESP faz análise de 18 indicadores de transportes nas cinco principais famílias modais de transportes e avalia a oferta de transporte nas 50 maiores concentrações populacionais do país (SÃO PAULO, 2013).

Cada setor (rodoviário, ferroviário, hidroviário, porto e aéreo) tem, para cada indicador, uma descrição e fonte de dados que é utilizada. Dos 18 indicadores, o transporte rodoviário é responsável por quatro. O Quadro 2, apresenta essas informações e revela as fontes de dados oficiais para comparações nacionais e internacionais dos indicadores.

Quadro 2 - Indicadores do Brasil e do mundo para o sistema de transportes rodoviário.

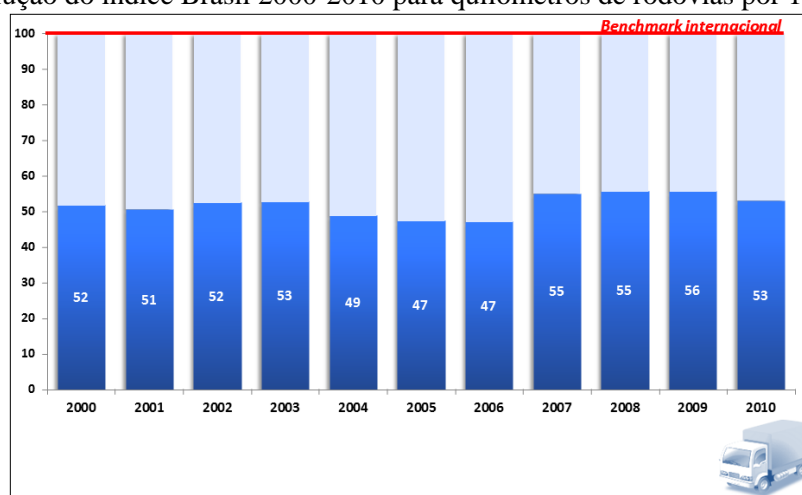
Indicador	Descrição	Fonte nacional	Fonte internacional
1	Km rodovias por 10.000 hab.	DNIT/FGV	US Chamber/Eurostat
2	Numero de óbitos nas rodovias por 10.000 hab.	Ministério da Saúde/IBGE	WHO/OECD/Eurostat
3	Porcentagem de rodovias pavimentadas	DNIT	World Bank
4	Frete rodoviário em US\$ por toneladas km	Sifreca/Esalq/FGV	Eurostat

Fonte: São Paulo (2010).

Um estudo do IDT–FIESP sobre rodovias federais, estaduais e municipais brasileiras foi elaborado com base em mapas disponibilizados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e resultou na indicação da oferta de rodovias por 10.000 habitantes. Em comparação aos índices internacionais, a oferta brasileira totaliza 53% da internacional, equivalendo à somente 2,53 km de rodovia para cada 10.000 habitantes, enquanto a média internacional é de 4,78 km por 10.000 habitantes.

A Figura 4 indica a evolução do índice no país, no período de 2000 a 2010. Apesar de uma pequena evolução nos últimos quatro anos, os valores ainda não chegaram a 60% de quilômetros de rodovias por 10.000 habitantes, sendo 56% a maior porcentagem atingida no ano de 2009.

Figura 4 - Evolução do índice Brasil 2000-2010 para quilômetros de rodovias por 10.000 habitantes.



Fonte: São Paulo (2010).

Para a mesma amostra de habitantes e mesmos tipos de rodovias, foram levantados os números de óbitos e o resultado brasileiro indicou um índice 30% maior que o internacional. Sobre a quantidade de estradas pavimentadas em relação ao total nacional, apenas 19% das estradas estão pavimentadas.

Por fim, o valor final do IDT-FIESP do país foi de 33% para o ano de 2010. Em outras palavras, o Brasil apresentou uma defasagem de 67% em relação aos demais países. Para diminuir essa desvantagem, o valor do índice precisa ao menos dobrar.

2.3 Gerenciamento da segurança viária

Acredita-se que, uma das formas mais eficientes de melhorar essa situação se faz com um programa abrangente de Gerenciamento da Segurança Viária (GSV) (ELVIK et al., 2009; NODARI, 2003).

As ações do GSV são normalmente desenvolvidas e aplicadas na análise e tratamento de um dos fatores contribuintes do acidente, sendo o universo limite de trabalho, a escolha do tipo de ação. Duas são as principais frentes de ação a serem exploradas para gerenciar a segurança viária: através de programas de segurança proativos, ou, através de programas reativos.

Os programas de segurança viária pró-ativo têm sua base no conceito de promover melhorias no sistema viário a fim de aperfeiçoar suas condições de segurança para evitar potenciais acidentes (NODARI, 2003).

Os programas de segurança viária reativos, por sua vez, utilizam informações sobre o histórico de acidentes a fim de identificar os locais críticos do ponto de vista da segurança. Infelizmente, a realidade brasileira sobre a disponibilidade de dados de acidentes é ainda incipiente. Isso limita significativamente a aplicação desse tipo de tratamento da segurança.

Dentre as ações pró-ativas, os métodos mais difundidos são: Auditorias de Segurança Viária, Técnicas de Análise de Conflitos de Tráfego e Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito. O método convencional mais difundido de abordagem reativa é o Método do Ponto Crítico. Segue uma breve descrição conceitual dos principais métodos do GSV.

- *Auditorias de Segurança Viária (ASV)*: exame formal de vias, projetos de circulação ou qualquer esquema de tráfego que lide com usuários das vias, no qual um examinador qualificado e independente avalia o potencial de acidentes de um projeto e o seu desempenho no que se refere à segurança (AU, 1994). As ASV podem ser aplicadas tanto em projetos novos como em vias que estejam já em operação e devem apresentar as medidas necessárias para prevenir possíveis ocorrências de acidentes ou mesmo para reduzir o grau de severidade (NCHRP, 2004).

- *Técnicas de Análise de Conflitos de Tráfego (TCT)*: são estudos baseados na observação direta e análise dos conflitos no trânsito com o objetivo de realizar um diagnóstico e uma avaliação mais precisa e detalhada dos problemas de segurança viária, bem como dos efeitos de alternativas de intervenção. São cinco as principais técnicas disseminadas pelo mundo: a inglesa, a francesa, a americana, a sueca e a canadense (SAMPEDRO, 2010).
- *Modelos de previsão de acidentes de trânsito*: são modelos que buscam encontrar um valor esperado de acidentes (ou taxa de acidentes) com determinadas características, em uma unidade de tempo e em um local específico. São modelos probabilísticos que permitem estimar a frequência e a severidade dos acidentes com base na relação das taxas de acidentes com os diferentes elementos envolvidos na sua ocorrência (CARDOSO, 2006).
- *Pontos críticos*: amplamente referenciado na literatura internacional como *black spots accident* ou *prone locations*, é um método que identifica locais perigosos principalmente através da análise estatística dos acidentes e os trata mediante a implantação de medidas corretivas.

2.4 Métodos de identificação e análise de trechos críticos rodoviários

Os métodos de identificação de locais críticos mais utilizados baseiam-se na hipótese que os acidentes, apesar de sua ampla distribuição espacial, tendem a agregar-se em determinados locais da malha viária. São três os principais métodos: numérico, estatístico e de técnica de conflitos (GÓES, 1983).

O numérico e o estatístico são os mais utilizados em função da simplicidade e praticidade. Neles os locais críticos são identificados com base em indicadores, número e severidade dos acidentes ou taxas de acidentes e de grau de severidade calculados com base na análise estatística de acidentes.

As técnicas de conflito visam quantificar e tipificar os conflitos de tráfego existentes num determinado local, que supostamente guardam estreita relação com os acidentes reais, com o intuito de obter informações para definir as ações a serem implementadas e reduzir a acidentalidade viária (FERRAZ et al., 2012).

A hipótese de considerar o pressuposto da dependência entre os eventos observados tem sido reforçada por pesquisas no Brasil e no exterior (LEVINE et al., 1995; KIM e YAMASHITA, 2002; QUEIROZ, 2003) comprovando que os acidentes de trânsito são geograficamente dependentes, ou autocorrelacionados, exigindo modelos que considerem esta

premissa nos estudos de segurança viária. Ao revisar a literatura estrangeira, foram localizados os estudos de Levine et al., (1995) e Kim, Boski e Yamashita (2002), que aplicaram estas ferramentas para obter caracterizações espaciais de acidentes.

Dentre os primeiros métodos internacionais para identificar os locais concentradores de acidentes está o proposto por Baerwald, em 1976, o qual busca definí-los em função de uma taxa que considera, além do número de acidentes, características da via como volume médio diário e extensão do segmento em estudo. Outras metodologias similares foram descritas em Brasil (2009): Macshane, Roess e Prassas (1990), Pline (1992), Mayora (1996) e por Brasil (1986). Meneses (2001) apresentou propostas parecidas, distinguindo-se por considerar as características funcionais da via, avaliando assim o ambiente em que os acidentes ocorreram.

Também existem abordagens metodológicas associadas com identificação de locais críticos em função de uma combinação de índices. Alguns dos autores que seguem esta linha de pesquisa são (BRASIL, 2009): Brenner (1978), que propôs associações entre o índice de periculosidade, o índice de acidentes e do número de acidentes graves; Fernandez (1993) que apresentou três métodos para verificação do local de surgimento de acidentes: análise estatística, análise por processos verbais, e estudos detalhados dos acidentes e Lippard (1998), que analisou separadamente pontos críticos, eixos críticos e regiões críticas propondo a seleção de áreas críticas com o auxílio de mapas eletrônicos de registro de acidentes, separadamente, para pontos críticos, eixos críticos e regiões críticas.

Outra questão importante foi estudada por Mayora (1996) e refere-se ao fenômeno da migração dos acidentes, que ocorre quando um trecho concentrador de acidentes é submetido às medidas de segurança e os acidentes, que ocorriam no local tratado, passam a ocorrer em locais próximos.

Encontram-se também na literatura, estudos sobre operações de rodovias com modelos microscópicos também. Exemplos de simuladores incluem Autobahn, Fresim, Transims e Integration, Trarr e Twopas (PECKER, 2003).

No entanto, a grande maioria dos modelos não permite tratar de forma adequada as condições vigentes nas rodovias brasileiras, limitando o tratamento de problemas encontrados no solo brasileiro como, por exemplo, o elevado número de caminhões na corrente de tráfego (podendo chegar a alcançar 40%) e as restrições ao desempenho motriz dos veículos (PECKER, 2003).

Passando para os métodos nacionais, o primeiro método de identificação de segmentos críticos de rodovias desenvolvido no Brasil foi o utilizado pelo extinto Departamento

Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) em 1986. Abordagens mais específicas para a identificação dos segmentos críticos foi explorada por Vieira (1999) e Brandão (2006). O primeiro propõe a utilização de taxas de acidentes específicas por tipo de acidente e por seção homogênea de uma dada rodovia. O segundo apresenta um método racional para o tratamento de locais críticos em acidentes de trânsito por excesso de velocidade.

Pientrantonio (1991) propôs o uso de técnicas de análise de conflitos e Didoné (2000) sugere o estudo detalhado do trecho na fase de previsão de dados. Ambas são técnicas que também podem ser utilizadas para identificar os segmentos críticos e diferem das anteriores porque necessitam de saídas à campo para observação de locais, áreas ou elementos carentes da via com relação à segurança.

Destaque também para a metodologia do Programa PARE, desenvolvida pelo Ministério dos Transportes (BRASIL, 2002) que apresenta a vantagem de adaptação à realidade dos municípios brasileiros, tanto para locais com banco de dados manual, como locais com banco de dados informatizado.

O Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes (CEFTRU), da Universidade de Brasília, também desenvolveu seu projeto para identificar e analisar trechos críticos estruturado nos métodos numéricos, nas técnicas da severidade e da taxa de severidade (CEFTRU, 2002).

O modelo que vigora atualmente no Brasil foi desenvolvido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) em 2010. A avaliação das condições de segurança de um trecho rodoviário é realizada por um processo que contempla quatro grandes etapas: Pré-análise, Segmentos críticos, Levantamento de campo e Diagnóstico e proposições de melhorias.

Pontos comuns que se destacam entre os métodos nacionais e internacionais são: o grande volume de dados e a multidisciplinaridade, necessários para a aplicação dos métodos.

Em outras palavras, o uso de banco de dados geográficos em transportes está de alguma forma limitada a um pequeno número de profissionais que possuem condições e formação para agregar conhecimento científico em suas pesquisas (MILLER e SHAW, 2001). Ou seja, para garantir a eficiência é preciso manter um banco de dados sistematicamente organizado e atualizado para que os dados sejam explorados corretamente garantindo a qualidade das informações.

Destaca-se aqui, a existência de poucos bancos de dados de acidentes de trânsito nacionais informatizados, que, exigidos pela municipalização, prevista no Código de Trânsito Brasileiro (CTB), são ainda insuficientes para o GSV em cidades mais estruturadas. Isso

destaca a urgência para o desenvolvimento de mais banco de dados e no aperfeiçoamento de outros registros, que deveriam incluir informações sobre os possíveis determinantes dos acidentes (MANTOVANI, 2004; QUEIROZ, 2003; TRINDADE JUNIOR e BRAGA, 2005).

2.5 Coleta e classificação dos fatores contribuintes dos acidentes viários

As informações sobre os possíveis determinantes dos acidentes podem partir do conhecimento dos fatores contribuintes do acidente. Diferente das informações objetivas do BO como dia da semana e período do dia em que ocorreu o acidente, os fatores contribuintes referem-se às principais ações, falhas ou condições que podem ter contribuído para a ocorrência do acidente. Por isso, exigem um maior discernimento no momento da coleta, dependem da habilidade e experiência do investigador encarregado de reconstruir os eventos que levaram ao acidente e, na maioria das vezes, apresentam algum grau de subjetividade (SANTANNA, 2005; UK, 2004).

Os fatores contribuintes podem ser agrupados nas características de fatores humanos, fatores viários, fatores ambientais e fatores do veículo. Em alguns casos, agrupam-se os fatores viários com fatores ambientais (AU, 1994; NODARI, 2003). Outros, ainda acrescentam mais dois grupos de fatores: os fatores institucionais, relacionados às leis, modo de fiscalização e investimento em transporte e segurança; e aspectos socioeconômicos (BRASIL, 2006; NAING et al., 2007; SANTANNA, 2005).

A relação entre os fatores contribuintes proposta pela AU (Organização Rodoviária Australiana) (1994) é amplamente referenciada e se constitui num esforço de quantificar as influências dos fatores contribuintes nos acidentes viários e suas interações.

“Contudo, deve-se destacar que representa a realidade australiana, não refletindo necessariamente a influência dos fatores contribuintes nos acidentes em vias brasileiras. Adicionalmente, cabe salientar que a soma total das influências resulta em 103%” (SCHOPF, 2006).

A interação entre o usuário e a via é complexa e determinar um fator principal que contribui para um acidente é, a princípio, difícil, já que, diferentes tipos de acidentes podem estar relacionados com a mesma causa (AU, 1994; SECO et al., 2008). Mesmo assim, resultados de estudos com dados do Sistema de Registro de Acidentes do Reino Unido (STATS19) apontaram que as informações sobre os fatores contribuintes são valiosas para decidir as formas de prevenir novos acidentes de mesma natureza (BROUGHTON, 2009).

O STATS19 teve início em 1949 e permite a coleta de até seis fatores contribuintes por acidentes registrados em cena pela polícia. Múltiplos fatores podem ser registrados para

cada indivíduo envolvido no acidente (condutor, motociclista, pedestres, passageiro), ou veículo. Caso o ambiente rodoviário seja um fator contribuinte para o acidente, pode ser registrado e relacionado ao veículo ou indivíduo envolvido. Os fatores registrados podem receber uma observação (muito provável e possível) que representa a confiança do relator na escolha. Na prática, em média, 2,4 fatores contribuintes de acidentes são registrados para cada ocorrência (BROUGHTON, 2009).

Tamanha é a importância desse tipo de dado no BO que a sua ausência interfere até nos resultados de pesquisas, gerando falsos resultados como é o caso dos altos investimentos que são realizados no controle e prevenção ao excesso de velocidade permitida. Os resultados de pesquisas do DFT em 2004 e USDOT em 2008, do Reino Unido e Estados Unidos, respectivamente, levando em consideração os fatores contribuintes, mostraram que somente em 5% do total dos acidentes o excesso de velocidade além do permitido foi relatado como o principal fator contribuinte (UK, 2007).

Por isso, embora as estatísticas indiquem a relevância do fator humano nos acidentes (cerca de 90%), ao abordar os problemas de segurança viária, nem sempre a atuação sobre o componente de maior peso oferece a melhor relação custo – benefício (CARDOSO, 1996). Em muitos casos, a busca por outros fatores é negligenciada. No entanto, esses fatores podem potencializar o acontecimento do desastre e ter papel importante nas suas consequências (MENESES et al. 1999).

Nodari (2003) acrescentou que os estudos envolvendo fatores contribuintes, podem ainda, concentrar esforços no desenvolvimento de métodos quantitativos de avaliação das condições de segurança de veículos e dos motoristas. A análise conjunta desses métodos pode conduzir à estimação dos percentuais de responsabilidade atribuídos a cada um dos componentes do acidente.

No Brasil, infelizmente, estas investigações ainda não fazem parte da rotina do país. De acordo com o Programa PARE (BRASIL, 2006), a experiência no tratamento de acidentes de trânsito, com raras exceções, segue um modelo imediatista. Frequentemente, a solução do problema está associada à execução de práticas tradicionais como o uso da sinalização e correções na geometria viária.

A diversidade cultural do país, a proximidade de determinadas regiões com países limítrofes que geram forte fluxo turístico e as variações no relevo e no clima, que propiciam ambientes operacionais bastante diversos, induzem a supor que a distribuição dos fatores contribuintes dos acidentes e suas interações variem entre as regiões do Brasil (NODARI, 2003).

Levando em conta toda essa diversidade nacional Nodari (2003) identificou 297 características da rodovia que, em determinadas situações, resultariam nos fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes com base no conhecimento e experiência de policiais rodoviários, projetistas rodoviários nacionais, especialistas nacionais e internacionais em segurança viária. Para exemplificar, um trecho da lista final com algumas características encontra-se no ANEXO A.

A Figura 5 exemplifica a ocorrência das seguintes classes de características na pista da rodovia (da esquerda para a direita): objetos nas laterais (a); sinalização (b); superfícies pavimentadas (c) e objetos nas laterais (d).

Figura 5 - Exemplo da ocorrência de fatores contribuintes da rodovia.



Fonte: O autor.

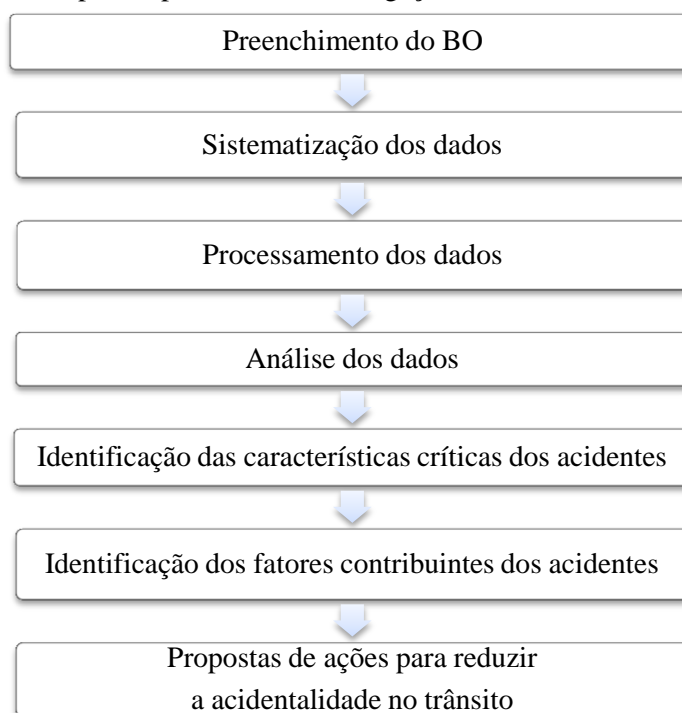
Chagas (2011) organizou e propôs um modelo de lista dos fatores contribuintes de acidente viários brasileiros para facilitar a coleta dos dados durante o preenchimento do BO (ANEXO B). Ainda que não oficiais, a importância da coleta desses dados já deve estar clara.

Numa analogia entre a lista proposta por Nodari (2003) e o modelo de fatores contribuintes de Chagas (2011), as características físicas da rodovia apresentadas na Figura 5, estariam relacionadas, respectivamente, com os seguintes fatores contribuintes: presença de elementos perigosos na lateral da via; marcação inadequada ou apagada; óleo na via, e; desvio temporário.

2.6 O processo de investigação da ocorrência dos acidentes viários

Os estudos e pesquisas apresentados nas seções anteriores desse capítulo ensejaram a concepção preliminar que fundamenta o processo de investigação da ocorrência dos acidentes rodoviários que consta de sete etapas principais (Figura 6):

Figura 6 - Etapas do processo de investigação da ocorrência dos acidentes.



O processo inicia-se com a coleta e registro de todos os dados no BO. Nele, está toda informação sobre o acidente, por isso, é de fundamental importância que seja o mais preciso e próximo de representar a realidade no momento do ocorrido. Nos acidentes sem vítimas e sem envolvimento de veículos oficiais, se necessário, os envolvidos devem comparecer a um posto da Polícia Militar e relatá-lo, neste caso, é feita a observação que o BO foi preenchido com base nas informações dos próprios envolvidos. Muitos acidentes sem vítimas não são, portanto, registrados e também não contêm informações confiáveis, uma vez que são relatados pelos próprios envolvidos (FERRAZ et al., 2012).

Além disso, em situações que envolvem falhas no preenchimento do BO como erro de codificação do acidente, adulteração dos dados, impossibilidade de identificar o local, sub-registros, etc. desconsideram-se todos os dados para evitar distorção da realidade.

Mesmo diante desse cenário desfavorável, os boletins são a principal referência para as etapas seguintes do processo de investigação: sistematizar, processar e analisar os dados. Essas três etapas visam à quantificação da acidentalidade viária (cidade ou rodovia) e também, a identificação das características mais frequentes nos acidentes (características críticas).

A etapa de identificar as características críticas é realizada mediante a totalização de acidentes que apresentam duas ou mais características comuns. Essa metodologia também serve para determinar a natureza dos acidentes (FERRAZ et al., 2012).

A identificação dos fatores contribuintes dos acidentes, antes tida como “identificação da causa de acidentes”, propõe que a ocorrência de um acidente é resultado de vários fatores encadeados. Por isso, é praticamente impossível detectar com exatidão as causas determinantes. Porém, fatores, que, em conjunto, contribuam para a ocorrência do acidente, podem ser associados a uma soma simultânea fornecida por condutor, via, meio ambiente e veículo (SIMÕES, 2001; CASTRILLÓN e CANDIA, 2003; UK, 2004), que pode ser expressa pela equação (1) funcional do tipo “a ocorrência de um acidente (OA) é função (F) do estado do condutor (C_o) somado às condições da via (V_i), do meio ambiente (Ma) e do veículo (Ve)”:

$$OA = F(C_o, V_i, Ma, Ve) \quad (1)$$

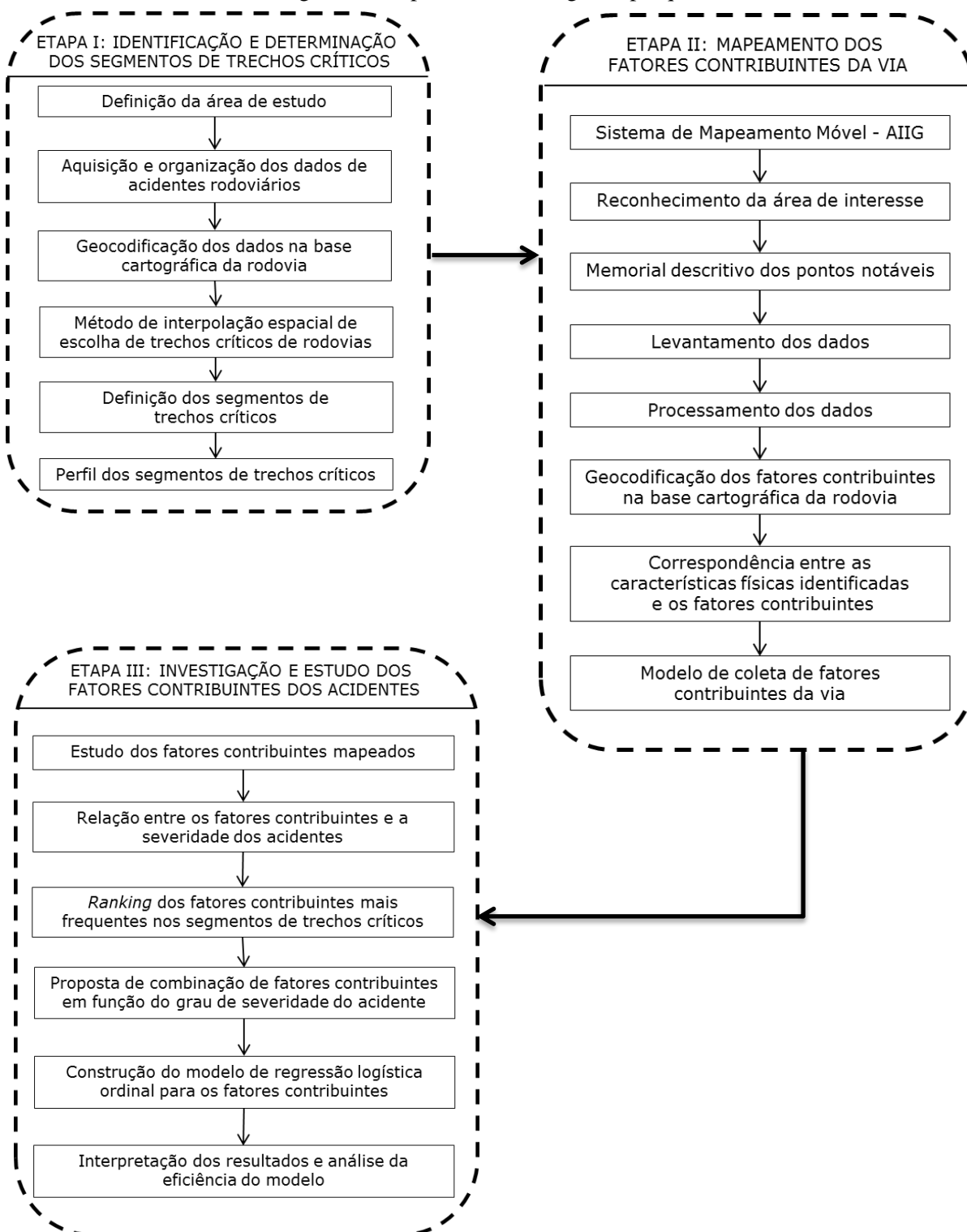
A redução de acidentes em locais com alta concentração requer o reconhecimento dos fatores contribuintes presentes e a eventual relação que pode haver entre eles (SIMÕES, 2001; UK, 2004). Das quatro classes de fatores, a do ser humano é a mais importante nas análises de segurança, pois o condutor é o componente inteligente e decisório, o que comanda ou deveria comandar a ação. Estudos dos anos 1980, citados por Cardoso (1996), identificaram fatores contribuintes para os acidentes relacionados com o condutor em torno de 94% e 34% dos acidentes, respectivamente. São muitas as ações mitigadoras que podem trazer essa maior segurança, as quais podem ocorrer no âmbito político-administrativo, esforço legal, educação e engenharia. Espera-se que o condutor ou o seu proprietário mantenha o veículo sempre em boas condições de segurança e que se atenha à legislação de modo a responder em boas condições aos esforços político-administrativos, legal e educacional. Admitindo-se que as condições ambientais – dia, noite; calor, frio; chuva, neblina, fumaça etc. – tenham uma dinâmica previsível, porém incontrolável (com exceção de eventual incêndio nas vizinhanças da via, que causaria a fumaça), resta na equação funcional admitida como sintetizadora dos fatores contribuintes a parcela referente às condições da via. Esta sem dúvida é de responsabilidade dos profissionais da área.

A classe “via” de fatores contribuintes encerra os elementos desgaste da via, desvio temporário, marcação inadequada, via molhada ou alagada, redutor de velocidade, acostamento em desnível ou ausente, controle de tráfego oculto, obras dentro ou fora da via, sinalização defeituosa ou ausente, presença de óleo, areia, barro, sujeira, cascalho e a geometria, dentre outros. Claro está que são itens de construção, manutenção ou gestão das rodovias.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

Inicia-se este capítulo com a figura do processo metodológico da pesquisa, composto de três etapas (Figura 7). No decorrer do texto, informações mais detalhadas das etapas serão apresentadas. Em seguida as fundamentações teóricas de técnicas e métodos estatísticos e cartográficos utilizadas nas três etapas são apresentadas.

Figura 7 - Etapas da metodologia da pesquisa.



3.1 Métodos e técnicas estatísticas

Nesta seção, pontos importantes da teoria dos métodos e técnicas estatísticas utilizadas durante as etapas da pesquisa serão revisados.

3.1.1 Análise exploratória

A análise estatística exploratória ou descritiva é a primeira análise que se faz após a coleta de dados. É o primeiro perfil que o pesquisador tem da realidade dos dados. Por isso, é tarefa primordial, antes mesmo da organização do banco de dados.

Na estatística descritiva as variáveis são categorizadas como qualitativa (nominal) ou quantitativa (contínua ou discreta). Então, técnicas de organização e representação dos dados podem ser aplicadas. As principais são: tabela de frequências e gráficos, gráfico de barras, gráfico setorial, gráfico de pizza (diagrama circular) e *box plot*.

Com base nessas análises identificam-se os possíveis casos atípicos do conjunto (*outliers*) e as relações entre as variáveis dos dados ficam mais claras. Também podem ser investigadas medidas de resumo de posição (moda, média, mediana, percentis, quartis) e dispersão (amplitude, intervalo-interquartil, variância, desvio-padrão, coeficiente de variação). A finalidade da dispersão é encontrar um valor que resuma a variabilidade de um conjunto de dados.

3.1.2 Estatística espacial

Quando o conjunto de dados envolve pontos com o atributo espacial (sua localização), faz-se necessária também a análise exploratória dos dados espaciais, ou seja, incorporar o espaço nas investigações de interesse.

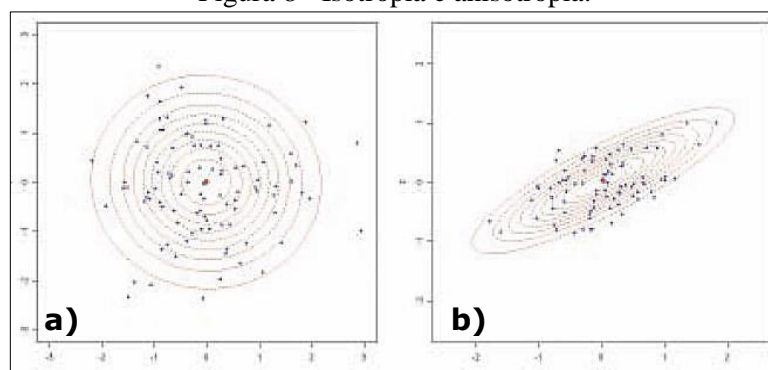
Pode-se afirmar que a maior parte das ocorrências, sejam estas naturais ou sociais, apresentam entre si uma relação que depende da distância (CÂMARA et al., 1996). A autocorrelação espacial é a medida geral de uma estrutura de dependência espacial e seu valor sempre varia de -1 até 1. Quando a correlação for igual a 1 ou -1, a relação entre o valor do atributo de seus objetos e dos vizinhos pode ser perfeita positiva ou negativa, respectivamente. E, valores próximos a zero indicam inexistência de autocorrelação espacial significativa.

A ocorrência espacial pode ser classificada como: aleatória, aglomerada e regular. Espacialmente aleatória é a ocorrência cuja distribuição espacial não mostra qualquer padrão detectável. Os dados que apresentarem aglomeração têm um padrão de similaridade. Por fim, os dados regulares seguem determinado espaçamento regular.

O cálculo da média e variância de um processo espacial determina sua estacionariedade. Quando, tanto a média como a variância são constantes no decorrer do processo, por toda a região, ocorre a estacionariedade. Quando a média e a variância não se mantêm constantes, o processo não apresenta estacionariedade de primeira e nem de segunda ordem. Quando apenas a variância é constante ao longo do processo, tem-se uma não estacionariedade de primeira ordem. Caso contrário, quando a média é constante, tem-se uma não estacionariedade de segunda ordem.

O processo deve ainda ser analisado quanto ao comportamento da sua dependência espacial. Quando a dependência espacial é uniforme em todas as direções (orientações Norte-Sul e Leste-Oeste), o processo é isotrópico (Figura 8a). Quando a dependência apresenta comportamento diferente entre as regiões, o processo é anisotrópico (Figura 8b).

Figura 8 - Isotropia e anisotropia.



Fonte: Carvalho et al. (2007).

Os três tipos de dados considerados no processo de estatística espacial são (BRASIL, 2007):

- Eventos ou padrões pontuais: esse dado identifica ocorrências de determinado fenômeno como pontos no espaço e expressa os fenômenos através dessas ocorrências
- Áreas com contagens e taxas: dado que identifica ocorrências aos indivíduos localizados em pontos específicos do espaço associados com levantamentos populacionais, e, expressa os fenômenos através de unidades de análises, usualmente delimitadas por polígonos fechados, e
- Superfícies contínuas: dado que identifica ocorrências em função de um conjunto de amostras de campo (regularmente ou irregularmente distribuídas) e expressa os fenômenos através de superfícies estimadas desse conjunto de amostras

No caso de análise de padrões de pontos, o objeto de interesse é a própria localização espacial dos eventos em estudo, por meio do estudo da distribuição espacial destes pontos;

ocorrência de fenômenos em função da localização e relacionamento entre a ocorrência de eventos e características do dado.

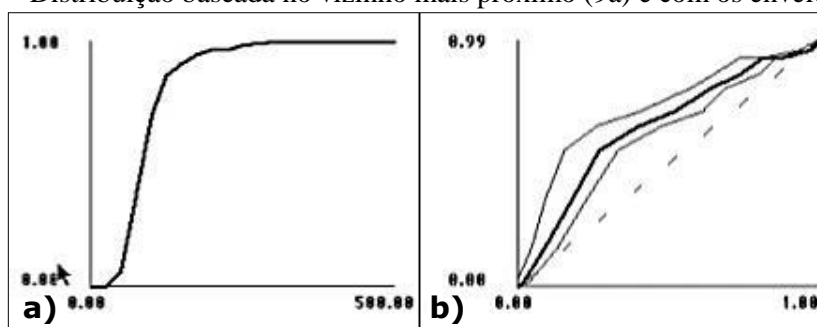
Vizinho mais próximo

O objetivo no processo de análise de padrões de pontos espaciais consiste em verificar se um conjunto de pontos ou eventos exibe algum padrão sistemático, tipo regularidade, agrupamento ou aleatoriedade. A confirmação do padrão norteia a pesquisa, no sentido de, por exemplo, validar ou não a aplicação de técnicas de estatística espacial e geoestatística. Além da exploração de padrões, este processo envolve a exploração da relação entre os dados e a busca de explicações para estes padrões e relacionamentos.

O método da distância ao vizinho mais próximo constitui uma base para o desenvolvimento de métodos formais que checam a significância dos resultados exploratórios, quando comparados com um modelo teórico conhecido. Neste caso, o modelo teórico é conhecido como aleatoriedade espacial completa ("*Complete Spatial Randomness - CSR*"). No método, calcula-se a função de distribuição cumulativa com base nas distâncias entre eventos em uma região de análise, onde o valor normalizado acumulado G para uma distância de entrada w corresponde à soma dos vizinhos mais próximos de cada evento, cuja distância é menor ou igual a w , dividido pelo número de eventos na região. Esta metodologia consiste em criar envelopes de simulação para a distribuição CSR, a fim de se acessar a significância dos desvios (PAIVA et al., 1999).

A plotagem dos resultados desta função de distribuição cumulativa $G(w)$, em relação às distâncias w , pode ser usada como método exploratório para verificar se existe interação entre os eventos (Figura 6a). Além disso, a plotagem da distribuição estimada em relação à distribuição simulada, com a adição dos envelopes inferior e superior, permite observar a significância dos desvios relativos à aleatoriedade (Figura 9b).

Figura 9 - Distribuição baseada no vizinho mais próximo (9a) e com os envelopes (9b).



Fonte: Carvalho et al. (2007).

Se a plotagem da Figura 6 (esq.) apresentar um crescimento rápido para pequenos valores de distância, tem-se uma situação de interação entre os eventos, o que caracteriza agrupamentos nestas escalas. Em contrapartida, se apresentar valores pequenos no seu início e só crescer rapidamente para valores maiores de distância, a distribuição pode ser considerada como mais regular. O valor da distância em que a curva se estabiliza é denominado raio.

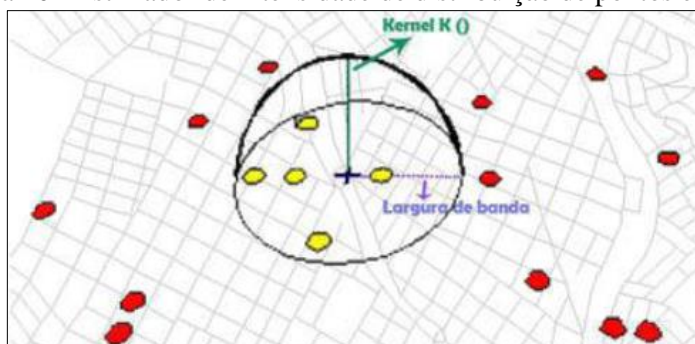
Para interpretar a Figura 6b deve-se assumir CSR e ângulo de 45 graus para a plotagem estimada em relação à simulada. Quando os dados apresentarem os traçados no gráfico acima da linha de 45 graus estes apresentam tendências de agrupamento. Caso contrário, quando as linhas estiverem abaixo da linha de 45 graus, os dados apresentam padrões de regularidade. Portanto, a Figura 6 indica tanto o agrupamento dos dados como das distâncias para esta escala de análise.

Kernel

A técnica de estimação por Kernel estuda o comportamento dos padrões pontuais, em função da estimativa da intensidade de aglomeração de ocorrência limitada fisicamente pela distância de um raio. É uma ferramenta básica e amplamente utilizada para caracterização da distribuição espacial de pontos (SOUZA et al., 2014).

Parte-se da contagem de todos os pontos, dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada um a localização de interesse (CÂMARA e CARVALHO, 2001). Como representado na Figura 10.

Figura 10 - Estimador de intensidade de distribuição de pontos em vias.



Fonte: Matsumoto e Flores (2012).

De acordo com Jácomo et al. (2010), se s é uma localização arbitrária na região R e $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$, são localizações de n eventos observados, então a intensidade, $\lambda(s)$, em s é (2):

$$\lambda(s) = \frac{1}{\delta_\tau(s)} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{s-s_i}{\tau}\right) \quad (2)$$

em que: $\lambda(s)$: intensidade em s ; s : localização arbitrária [km]; τ : raio de influência [km]; k : função densidade de probabilidade bivariada; e $\delta_\tau(s)$: volume sob o Kernel centrado em s .

O raio de influência pode ser determinado automaticamente pela função Kernel do Sistema de Informações Geográficas (SIG) em uso, ou, pela técnica de análise do método do vizinho mais próximo.

Para a suavização do fenômeno, existem vários tipos de funções de interpolação, por exemplo, Kernel Gaussiano ou normal, Kernel Quártico, Kernel Triangular, Kernel Uniforme. Uma das funções mais utilizadas para função k é a de quarta ordem (Quártico), cujo estimador de intensidade pode ser expresso pela equação (3):

$$\hat{\lambda}_\tau(s) = \sum_{h_i \leq \tau} \frac{3}{\pi\tau^2} \left(1 - \frac{h_i^2}{\tau^2}\right)^2 \quad (3)$$

em que h_i : distância entre o ponto s e a localização do evento observado s_i [km].

3.1.3 Geoestatística

A geoestatística trata de caracterizar espacialmente uma variável de interesse por meio do estudo da sua distribuição e variabilidade espacial. Um fenômeno espacial é um conjunto de todos os valores possíveis dessa variável que define a distribuição e a variabilidade espacial dentro de um dado domínio em duas ou três dimensões. Na prática, nada ou muito pouco se sabe sobre o fenômeno espacial a ser estudado. Daí a importância de se aplicar geoestatística nos estudos.

O subconjunto dos valores do fenômeno é a amostra. Se ela for representativa, reproduz tanto a distribuição como a variabilidade espacial em função do tamanho e distribuição dos pontos do conjunto de dados no domínio.

Nos estudos geoestatísticos, com uma amostragem aleatória, a componente aleatória é a coordenada geográfica do evento. Na amostragem aleatória estratificada, a região é subdividida em células de dimensões fixas e na amostragem sistemática, tem-se uma malha regular definida sobre uma de origem arbitrária.

A aplicação de técnicas de geoestatística permite a extração do máximo de informação disponível na amostra coletada por meio da estimativa da probabilidade de ocorrência de um dado evento, com base na informação obtida.

Para reproduzir as características do fenômeno espacial baseado em pontos amostrais, são utilizadas as técnicas de interpolação ou estimação. Como a coleta das amostras pode apresentar pontos distantes, a interpolação sempre é necessária. Quando de fato não há amostras, faz-se um ajuste de funções matemáticas locais ou globais. O resultado da interpolação ou grade resultante infere sobre a distribuição e variabilidade espacial do fenômeno espacial.

A relação espacial z^* entre os valores n conhecidos regularmente distribuídos ou não, é (equação 4):

$$z^* = \sum p_i z_i \quad (4)$$

A diferença entre os métodos estimadores está na escolha do z_i e dos respectivos pesos p_i calculados e aplicados.

De uma forma geral, a metodologia geoestatística procura extrair, de uma aparente aleatoriedade dos dados coletados, as características estruturais probabilísticas do fenômeno regionalizado, ou seja, uma função de correlação entre os valores situados numa determinada vizinhança e direção no espaço amostrado.

Os modelos geoestatísticos enquadram-se nos modelos matemáticos estocásticos, onde os valores coletados são interpretados como provenientes de processos aleatórios e quantificam a incerteza do estimador. Para isto, é fundamental que haja dependência espacial e autocorrelação espacial.

O método de estimativa básico mais utilizado é o da krigagem. Trata-se de um processo de estimativa por médias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço, com base em valores adjacentes, enquanto considerados como interdependentes por uma função denominada variograma (LANDIM e STURARO, 2002).

As expressões em francês “krigeage” e inglês “kriging” originaram o termo krigagem que é o processo geoestatístico de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou tempo. Somente ela apresenta estimativas não tendenciais e a mínima variância associada ao valor estimado (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

Tipos de variogramas

A metodologia geoestatística define e prevê o comportamento espacial de uma variável regionalizada. Portanto, se existem dois pontos, pode ser realizada a inferência da continuidade espacial de uma variável regionalizada.

A função variograma mede a distância entre os pontos separados por uma distância h . Muitas vezes o vetor h apresentando-se infinitamente pequeno, faz com que a variância seja mínima e a covariância máxima. Justamente por buscar fornecer esses resultados, o processo da krigagem torna-se tão interessante.

A função do variograma é dada segundo a equação (5):

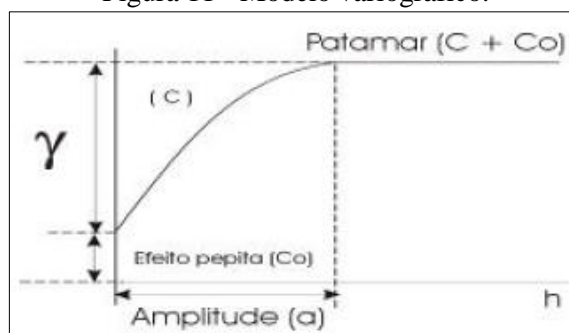
$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (5)$$

Em que n representa o conjunto de pares de pontos, $z(x_i)$ e $z(x_i+h)$ são os valores de pontos localizados, respectivamente, em i e $i+h$. Para construir e calcular os variogramas

experimentais devem-se definir alguns parâmetros, tais como direção, tolerância angular, *Lag*, tolerância do *Lag* e largura máxima, sobretudo para a distribuição irregular dos pontos (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

Do ajuste de um modelo matemático até os valores estimados da semivariância, são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma ou variograma (Figura 11).

Figura 11 - Modelo variográfico.



Fonte: Landim e Stuardo (2002).

A amplitude (a): indica a distância da qual as amostras passam a não possuir correlação espacial e a relação entre elas torna-se aleatória. Toda amostra cuja distância ao ponto a ser estimado for menor ou igual à amplitude, fornece informações sobre o ponto.

O patamar ($C + C_o$): indica o valor segundo o qual, a função estabiliza-se no campo aleatório, correspondente à distância “ a ”. Mostra a variabilidade máxima entre pares de valores, isto é, a variância dos dados e, conseqüentemente, covariância nula.

A continuidade, pela forma do variograma, para h próximo de zero, o semivariograma já apresenta algum valor. Esta situação é conhecida como efeito pepita e é representada por C_o .

O efeito pepita pode ser atribuído a erros de medição, ou, ao fato de que os dados não foram coletados a intervalos suficientemente pequenos, para mostrar o comportamento espacial subjacente do fenômeno em estudo, isto é, não é capturado um fenômeno numa escala maior.

A relação entre o efeito pepita e o patamar é o grau de aleatoriedade dos dados ($E = C_o/C$) e pode ser classificado em três intervalos: pequeno, significativo e muito significativo. No modelo, com efeito, pepita pura, não há correlação entre valores, com isso, a análise semivariográfica não se aplica e deve-se utilizar outro método de interpolação.

Para corrigir a anisotropia, deve-se obter um variograma isotrópico para o modelo de correlação espacial, ou seja, um modelo com parâmetros comuns (efeito pepita, variância amostral, variância espacial e amplitude) em todas as direções, já que no fenômeno isotrópico o comportamento dos gráficos é semelhante em qualquer direção do semivariograma.

Para tanto, é necessário ajustar os pontos do variograma experimental para modelos teóricos. Dos vários modelos teóricos para o ajustamento do variograma, os mais frequentes são: Esférico, Gaussiano e Exponencial, cujas equações estão no Quadro 3.

Quadro 3 - Modelos teóricos de variogramas.

Modelo	Equação
Esférico	$\gamma(h) = C_0 + C \left[1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \text{ para } h < a$ $\gamma(h) = C_0 + C \text{ para } h \geq a$
Exponencial	$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{-\frac{h}{a}} \right]$
Gaussiano	$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{-\left(\frac{h}{a}\right)^2} \right]$
Para C_0 = Efeito pepita; C_1 = Contribuição; h =Lag; a = Amplitude ou Alcance.	

Fonte: Yamamoto e Landim (2013).

Segundo Robinson (1995), o modelo exponencial é similar ao esférico, pois ambos atingem o patamar gradualmente. A diferença está na taxa de que o modelo do patamar é alcançado. Modelo e patamar não convergem.

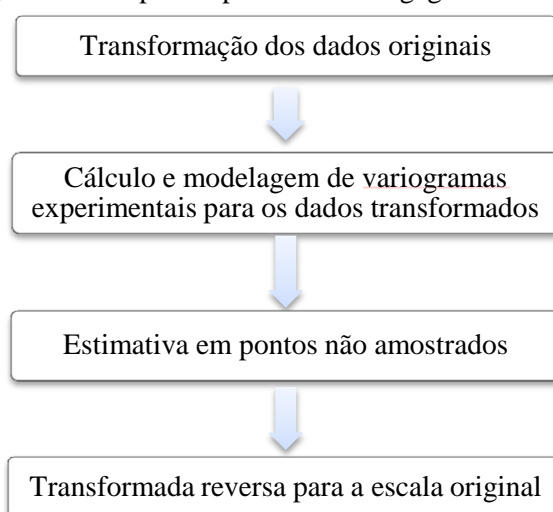
Estimativas geoestatísticas

As principais transformações dos dados para a estimativa geoestatística são:

- Krigagem linear (diretamente dos dados): Simples ou estacionária; Média; Ordinária.
- Krigagem não linear (sobre os dados transformados): Transformação gaussiana; Transformação Logarítmica; Transformação indicadora, também chamada de indicativa/indicatriz.

Os processos para aplicação dos métodos de krigagem não linear devem apresentar a seguinte sequência de etapas (Figura 12):

Figura 12 - Etapas do processo de krigagem não linear.



Na transformada reversa, usa-se a função inversa da transformação não linear. Da mesma maneira que na inferência, esta transformada também não é confiável porque produz resultados enviesados em relação aos dados amostrais.

Krigagem indicatriz

A krigagem indicatriz é um tipo não-paramétrico da krigagem ordinária que define áreas com maior ou menor probabilidade de um evento ocorrer. Em outras palavras, mapeia a probabilidade de resposta de um atributo à ocorrência de um fenômeno (JOURNEL, 1983; OLIVEIRA e ROCHA, 2011).

Para aplicar a técnica da krigagem indicatriz, é preciso definir um indicador e estabelecer um respectivo valor de corte para o qual será gerado o modelo de continuidade espacial do conjunto de dados. Esse valor é arbitrário e depende do objetivo do estudo (MOTOMIYA et al., 2006). Depois, o modelo é submetido às análises geoestatísticas, obtendo-se o semivariograma do indicador e os valores de erros preditos do modelo.

A principal vantagem da krigagem indicatriz é que se desconsidera qualquer informação a priori sobre o tipo de distribuição para determinada variável aleatória (ROCHA e YAMAMOTO, 2003). Outra vantagem, na krigagem indicatriz, os erros são apresentados em termo de probabilidade de que determinado valor seja excedido, o que permite a construção de mapas de zonas homogêneas (VERHAGEN e BOUMA, 1997).

Em contrapartida, a simplificação de um dado ao trocar do valor original por um dado transformado em indicadora, constitui evidente perda de informação (CHILIS e DELFINER, 1999).

3.1.4 Regressão logística ordinal

Segundo David (1996), os métodos de regressão tornam-se componentes integrantes de qualquer análise de dados, cujo interesse seja descrever a relação entre uma variável resposta e um conjunto de variáveis explicativas, e encontrar uma forma funcional, adequada e parcimoniosa, para descrever o relacionamento entre uma variável resposta (dependente) e um conjunto de variáveis independentes (explicativas). O exemplo mais comum de modelagem é de regressão linear simples, onde é assumido que a variável resposta é contínua.

O valor médio da variável resposta dado o valor da variável independente, é a grande chave dos problemas de regressão. Também, chamado de média condicional, o valor é expresso pela esperança de Y , dado um valor x , $E(Y/X=x)$. Na regressão linear, assume-se que esta média possa ser expressa como uma equação linear em x ou alguma transformação de X ou em Y , tal como na equação (6) (HOSMER e LEMESHOW, 1989):

$$E\left(\frac{X}{Y}\right) = \beta_0 + \beta_{1x} \quad (6)$$

No modelo de regressão logística, a variável resposta é discreta: binária ou dicotômica. É comum relacionar esse modelo ao uso de variáveis qualitativas, que são normalmente representadas no banco de dados por “1” ou “0”, “sim” ou “não”. Daí fica fácil de perceber porque se têm grande número de aplicações nas áreas de saúde, economia, criminalística, dentre outras.

Sendo a variável resposta, uma resposta ordinal, que contenha no mínimo três resultados ordenados, a regressão logística passa a ser ordinal. A regressão logística ordinal modela a relação entre um conjunto de preditores e uma resposta ordinal. Um exemplo desse tipo de resposta por ser: baixo, médio e alto.

Assim, quando o vetor da média condicional $E(Y/X)$ assumir qualquer valor, quando X varia entre $-\infty$ e $+\infty$, os parâmetros do modelo podem ser estimados usando-se o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), pois se está ajustando um modelo linear. Porém, quando o vetor da média condicional apresentar a forma de uma distribuição acumulada, como no caso da variável dicotômica, a estimação dos parâmetros da função é dada pela máxima verossimilhança (não linear) que produz valores para os parâmetros desconhecidos e maximizam a probabilidade de obtenção dos conjuntos de dados observados (TSUCHIYA, 2002).

A definição da estimativa de máxima verossimilhança de β , isto é, $\hat{\beta}$, baseada em uma amostra aleatória x_1, \dots, x_n é aquele valor de β que torna máxima $L(x_1, \dots, x_n; \beta)$, considerada como uma função de β para uma dada amostra x_1, \dots, x_n , e onde L é definida pela equação (7).

Essa estimativa é, geralmente, referida como a estimativa de Máxima Verossimilhança (MV). Assim, seja x_1, \dots, x_n uma amostra aleatória de X (valores amostrais). A função de verossimilhança L é definida como a seguinte função da amostra e de β (MEYER, 1978):

$$L(x_1, \dots, x_n; \beta) = f(x_1; \beta)f(x_2; \beta) \dots f(x_n; \beta) \quad (7)$$

O inverso de uma função de distribuição é uma função de ligação. Seu papel é mapear o intervalo (0,1) na linha real, garantindo que a probabilidade predita de um evento produza o número entre 0 e 1. Para gerar o modelo de resposta várias funções distribuições têm sido propostas, porém a função ideal para o caso da variável resposta ser dicotômica é a função logito (*logit*), porque é extremamente flexível, fácil de ser usada e interpretada. Além disso, ela fornece uma estimativa de razão de chances (*odds ratio*) de cada variável preditora do modelo.

A forma do modelo de regressão logística é baseada no modelo *logit* e para dados univariados é dada como (HOSMER e LEMESHOW, 1989), equação (8):

$$\pi(x) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x}} \quad (8)$$

Esta equação (8) é não linear, portanto uma transformação denominada $g(x)$ deve ser aplicada para que sejam alcançadas algumas propriedades do modelo de regressão linear, como: a soma dos valores y^* igual à soma dos valores de y_i ; a soma dos erros igual a zero; a soma das observações multiplicada pelo erro igual a 0 e a reta de Mínimos Quadrados (MQ) passa pelo ponto (x, y) . Com isso, a transformação $g(x)$ torna o modelo *logit* linear em seus parâmetros contínuos e capaz de assumir valores entre $-\infty$ e $+\infty$, em função do limite de x (HOSMER e LEMESHOW, 1989), equação (9):

$$g(x) = \ln \frac{\pi(x)}{1 - \pi(x)} = \beta_0 + \beta_1 x \quad (9)$$

Quando o x for uma variável resposta discreta, o modelo da equação 9 representará as probabilidades $P[X_1=x_1, \dots, x_n]$. Quando a variável for discreta e ordinal, os valores de probabilidade serão em função da ordem de resposta. Quando x for uma variável do tipo contínua, $L(x_1, \dots, x_n; \beta)$, representará a função de densidade de probabilidade conjunta de (x_1, \dots, x_n) que deve ser interpretada como: qual é o valor de β que maximiza a probabilidade do evento ocorrer novamente.

Escolha das variáveis do modelo

Grande parte dos problemas a serem solucionados com a regressão apresentam diversas variáveis independentes e é necessário encontrar um menor conjunto delas, de modo a encontrar um modelo que forneça resultados satisfatórios (com boa estimativa de previsão) com o menor número de variáveis independentes possíveis (segundo o Princípio da

Parcimônia). É importante desenvolver uma estratégia e buscar métodos que simplifiquem a solução deste tipo de situação mais complexa.

Segundo Hosmer e Lemeshow (1989), os dois pontos essenciais para obter o modelo com o menor número de variáveis possível, mas que mantenha a eficiência nos resultados de previsão são:

- Um plano básico de escolha de variáveis independentes iniciais que serão testadas no modelo.
- Um método que auxilie na seleção e adequação dessas variáveis, tanto no âmbito individual de cada variável, como do ponto de vista do ajuste geral do modelo.

Os principais métodos para selecionar as variáveis para o modelo de regressão são: *Backward Elimination Procedure*, *Forward Selection Procedure* e *Stepwise Regression Procedure*. Os três fornecem uma maneira rápida e eficiente de se verificar um grande número de variáveis independentes e, simultaneamente, selecionar a equação mais adequada, dentre uma grande quantidade de equações de modelo de regressão possíveis, segundo critérios estabelecidos (DRAPPER E SMITH, 1966).

No método *Forward*, as variáveis são inseridas uma a uma até que o modelo seja satisfatório. Para definir a ordem de cada variável, utiliza-se o coeficiente de correlação parcial. O método *Backward* parte de um modelo inicial com todas as variáveis independentes e em função do teste do valor de p (p-valor), avalia se uma variável é significativa ou não para o modelo. Desse teste, o critério para permanência ou não da variável é: quanto menor o valor de p, mais estatisticamente significativa é a variável dentro do modelo. No *Stepwise*, são utilizados princípios dos dois métodos anteriores (*Forward* e *Backward*), de maneira que em cada etapa de análise uma variável independente considerada significativa é inserida, e uma variável independente não significativa é retirada do modelo. Os critérios, para inclusão ou exclusão de uma variável independente, pode ser o valor de p, ou o valor de log-verossimilhança.

Coefficientes do modelo

A regressão logística ordinal estima, para a variável resposta, um coeficiente constante e um coeficiente para cada preditor. O coeficiente constante em combinação com os coeficientes dos preditores formam o conjunto de equações de regressão para a variável resposta.

A primeira equação contém o primeiro coeficiente constante e estima a probabilidade de ocorrência do primeiro evento (primeira categoria de resposta). A segunda equação estima a probabilidade de que o primeiro e o segundo evento ocorram, e assim sucessivamente.

Os coeficientes representam o comportamento da probabilidade de um resultado, conforme as variáveis preditoras mudam. A relação entre o coeficiente e a probabilidade de um resultado, depende de diversos aspectos da análise, incluindo a função de ligação, categorias da variável resposta e ordem das categorias de resposta. Um coeficiente estimado próximo de zero indica que o efeito do preditor é pequeno.

O erro padrão (*Standard Error*) do coeficiente (SE) estima a variabilidade entre a estimativa do coeficiente que seria obtida, caso fossem extraídas amostras de mesma população por vezes seguidas. Logo, os menores valores revelam estimativas mais precisas.

Quanto mais longe de zero foi o valor de Z, maior e mais precisa é a estimativa de que o coeficiente tem efeito na variável resposta. De maneira análoga, quanto mais próximo de zero, menor e menos precisa é esse efeito na variável resposta.

Os valores de p são calculados com base nos valores de Z. O p-valor é uma probabilidade que mede a evidência contra a hipótese nula. Por isso, podem ser usados para a tomada de decisão sobre a significância estatística dos termos e do modelo. Caso contrário, não é possível concluir que há essa associação e talvez seja necessário reajustar o modelo, sem a variável independente.

Razão das probabilidades (Odds Ratio)

A razão de chances, ou, razão de probabilidade é uma medida de intensidade de associação entre as chances de uma variável independente ocorrer em determinada condição. Matematicamente, ela é a relação entre as proporções de sucesso de uma variável em dois níveis: do modelo e de referência. É interessante utilizar as informações da razão de probabilidades nas pesquisas que buscam compreender o impacto de cada nível da variável independente no modelo.

Os valores maiores que o valor 1 indicam que o primeiro evento e os mais próximos desse evento são mais prováveis no nível da preditora da tabela da regressão, do que sua referência.

Para ilustrar, Guimarães (2006) propõe o seguinte exemplo. Supõe-se somente uma variável independente x . Com isso, o modelo de regressão logística múltipla assume dois valores possíveis para $\pi(x)$ e para $1-\pi(x)$ (Quadro 4).

Quadro 4 - Possíveis valores do modelo de regressão logística (variável independente dicotômica).

Variável		Independente (x)	
		x=1	x=2
Dependente (y)	y=1	$\pi(1) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1}}$	$\pi(0) = \frac{e^{\beta_0}}{1 + e^{\beta_0}}$
	y=2	$1 - \pi(1) = \frac{1}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1}}$	$1 - \pi(0) = \frac{1}{1 + e^{\beta_0}}$

Fonte: Adaptado de Hosmer e Lemeshow (1989).

Sabe-se, que a probabilidade de sucesso da variável resposta ser igual a 1, nos casos em que a variável independente caracterizar-se por $x = 1$, é dada por: $\frac{\pi(1)}{1-\pi(1)}$ e para $x = 0$, a probabilidade de sucesso da resposta é $\frac{\pi(0)}{1-\pi(0)}$.

Com base na equação (9) da função de *logit*, tem-se que os log das probabilidades são definidos, respectivamente, como:

$$g(1) = \ln \frac{\pi(1)}{1-\pi(1)} \quad \text{e} \quad g(0) = \ln \frac{\pi(0)}{1-\pi(0)}$$

Portanto, denotando a razão de chances, para $x=1$ e $x=0$, tem-se a equação (10):

$$\gamma = \frac{\frac{\pi(1)}{1-\pi(1)}}{\frac{\pi(0)}{1-\pi(0)}} \quad (10)$$

Análise dos resíduos do modelo

O resíduo de um modelo de regressão é a diferença entre o valor esperado (resultado do modelo) e o valor observado (tabela). Analisar os resíduos é quantificar quanto o modelo se ajusta à amostra de dados observados. Lembrando que o modelo de regressão logística fornece a probabilidade de um evento ocorrer e que os dados são binários, o resíduo do modelo será a diferença entre a probabilidade encontrada pelo modelo e o valor observado do evento. Quando os valores dos resíduos são grandes, pode-se concluir que o modelo apresente algum defeito de previsão, ou seja, que a modelagem apresentou problemas.

Hosmer e Lemeshow (1989) descrevem dois dos resíduos de regressão logística (*Pearson Residual* e *Deviance Residual*) e complementam que os cálculos dos testes são aspectos característicos de qualquer pacote de regressão logística. O que torna possível verificar o resultado dos testes com base no p-valor, associado à distribuição qui-quadrado,

Se o p-valor dos testes de qualidade do ajuste for menor que seu nível de significância, as probabilidades preditas se desviam das observadas, de uma maneira que a distribuição multinomial não prediz. Caso o desvio seja significativo, é indicado trocar a função de ligação, ou, mesmo as variáveis independentes (MINITAB, 2016).

3.2 Métodos e técnicas cartográficas

Nessa seção, pontos importantes da teoria dos métodos e técnicas cartográficas utilizadas durante as etapas da pesquisa são revisados.

3.2.1 Geoinformação e geotecnologia

Dados dotados de relevância e propósito são informações (DAVENPORT, 2002). A informação, quando espacializada é a geoinformação. A geoinformação é a união da informação com um atributo geográfico/espacial, ou seja, informação referenciada no espaço geográfico. Por referenciada, entende-se a localização, posição ou orientação de feições – particularmente, ruas e rodovias –, assim como de grandezas derivadas, situadas em relação a um sistema de coordenadas. Estando o sistema de coordenadas fixo a Terra, surge o conceito de georreferência.

A distinção básica entre dado geoespacial e informação geoespacial, reside na capacidade de transformação, pois há relação lógica entre os termos. O acréscimo de significado e contexto para um dado geoespacial, através do processamento e análise destes dados, gera informação geoespacial, que comunicada, interpretada e aplicada para uma determinada finalidade, resulta na construção de conhecimento. Dentre os segmentos que se destacam na produção e uso da geoinformação estão: governo, educação, gestão territorial, planejamento urbano e rural, agricultura, gestão ambiental, mineração, entre outros.

Das formas de organização, manipulação e leitura de informações, os mapas são as melhores, pois localizam os fatos no espaço terrestre, usam linguagens universais e representam tanto dados brutos, como informações complexas (ORTH, 2008).

Os fenômenos naturais e as intervenções culturais, via de regra, são representados nos mapas. Esses migraram, ou, estão migrando para bases de dados geográficos digitais.

Segundo Câmara et al. (1996), trabalhar com geoinformação significa, antes de tudo, utilizar computadores como instrumentos de representação de dados espacialmente referenciados. Para isso, existem os recursos geotecnológicos, ou, geotecnologia (integração de geoinformação e tecnologias). Com essa tecnologia é possível visualizar e analisar os dados de interesse e disponibilizá-los ao usuário com maior eficácia e eficiência, repercutindo positivamente no planejamento, execução e atualização das informações, que cada vez mais, se encontram disponíveis via Internet, em tempo real.

Exemplos de sucesso do emprego da geotecnologia são os sistemas de alertas que avisam municípios sobre riscos de desastres naturais (deslizamentos, enchentes), com dias de antecedência, evitando maiores danos. Hirata et al. (2013) relataram a proposta de um sistema

dinâmico e colaborativo de mapeamento de pontos alagados na cidade de São Paulo. O trabalho também chamou a atenção para a tendência de utilização de dados voluntários e colaborativos de cartografia, em contextos de desastres naturais.

Bravo e Sluter (2015) abordaram o mesmo assunto e discutiram sobre as mudanças que a geoinformação sofreu nas últimas décadas, devido à difusão das tecnologias computacionais e da Internet. A importância do envolvimento da comunidade científica na disseminação das informações geoespaciais da “Era das informações geográficas voluntárias” também foi discutida.

Os sistemas de informação inserem-se na chamada Revolução Tecnológica e apresentam-se como importante geotecnologia para o conjunto de mudanças constantes em que se encontram os setores da nossa sociedade (BARBOSA e ALMEIDA, 2002). Segundo a revista britânica Nature (2004), as geotecnologias estão entre os três mercados emergentes mais importantes da atualidade, juntamente com a nanotecnologia e a biotecnologia.

A existência e o nível de eficiência da geoinformação dependem direta e indiretamente da disponibilidade de dados geoespaciais, que possam gerar a respectiva geoinformação após uma sequência de procedimentos de organização e processamento, com assistência de diferentes meios tecnológicos.

Quanto mais eficiente for a organização de dados geoespaciais e mais aperfeiçoada for a metodologia de interpretação e os meios tecnológicos de processamento, mais confiável, produtiva e eficiente será a geoinformação gerada (KARNAUKHOVA, 2003).

3.2.2 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Os sistemas de informação tradicionais eram fundamentados no cruzamento de relatórios de dados em forma de gráficos, tabelas e mapas, o que muitas vezes tornava o processo ineficaz. Com o advento da tecnologia de equipamentos e sistemas computacionais tornou-se possível a difusão do Sistema de Informações Geográficas (SIG), o que tem levado a sociedade a trabalhar de forma diferente no exercício de suas funcionalidades.

Os SIG, no plural, possuem as ferramentas computacionais fundamentais para o geoprocessamento¹, que permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados.

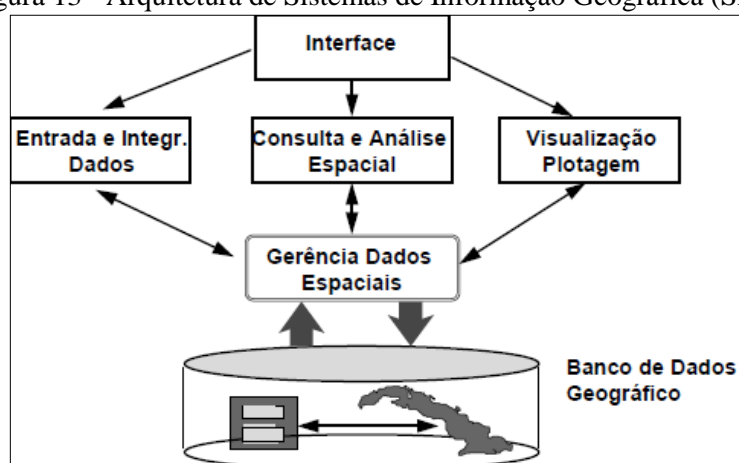
*“Se **onde** é importante para seu negócio, então geoprocessamento é sua ferramenta de trabalho”*. Sempre que o **onde** aparece, dentre as questões e problemas que precisam ser

¹ Denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica (CÂMARA et al., 1996).

resolvidos por um sistema informatizado, haverá uma oportunidade para considerar a adoção de um SIG (CÂMARA et al., 1996).

De acordo com Meneguette (1998), o SIG é um conjunto digital de elementos, de propósito espacial, no qual um sistema de coordenadas espaciais é o meio primário de referência para armazenar e acessar informações, requerendo um dispositivo de entrada dos dados, um sistema de armazenamento e recuperação, um sistema de transformação e análise e um dispositivo de saída. É possível observar na figura 13, que os componentes relacionam-se de forma hierárquica.

Figura 13 - Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).



Fonte: Câmara et al. (1996).

A *interface homem-máquina* define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, o sistema deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (*entrada, edição, análise, visualização e saída*). Internamente ao sistema, um banco de dados geográficos armazena e recupera os dados geoespaciais. Cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades, implementa esses componentes de forma distinta, mas todos os subsistemas citados estão presentes num SIG (CÂMARA et al., 1996).

Segundo Antenucci et al. (1991) um dos primeiros projetos que vinculou os resultados de análises com mapas, de forma a facilitar a sua compreensão (praticamente uma versão preliminar dos atuais SIG), foi desenvolvido em Detroit-USA, em 1955. Uma saída gráfica para o programa de computador, através da qual os fluxos resultantes das análises eram representados por linhas de diferentes espessuras.

Coppock & Rhind (1991) classificam os processos evolutivos pelos quais os SIG passaram no mundo até atingirem o nível de sofisticação existente em quatro fases:

- Primeira fase (1960-1975): Período considerado como “pioneiro”, em que os destaques do desenvolvimento da tecnologia ocorreram por esforços pessoais;
- Segunda fase (1975 até início da década de 1980): Destaque para a regularização das experiências práticas e o surgimento de órgãos oficiais nacionais que se comprometeram com o desenvolvimento da tecnologia;
- Terceira fase (até o final da década de 1980): Caracterizada pela competição no setor comercial, reforçando a dinamização do desenvolvimento da tecnologia, e;
- Quarta fase (década de 1990): Usuários começaram a ter conhecimento do potencial dos SIG, surgindo uma competição entre as empresas desenvolvedoras e fornecedoras de *software*. Outro fato que marcou esse período foi a necessidade de padronização no formato dos dados para que diferentes *softwares* fossem capazes de ler dados de diferentes fontes e formatos. Também é importante citar que houveram melhorias consideráveis na capacitação técnica dos usuários e dos equipamentos computacionais.

É possível afirmar a existência de uma quinta fase após o ano 2000, em função do armazenamento de dados em bancos de dados espaciais/geográficos – destaque para PostgreSQL + PostGIS (*software* livre) e Oracle Spatial (*software* proprietário) – com o armazenamento de dados em servidores, aumentando segurança, e a execução de novos tipos de consultas, relacionamento e integração de bancos de dados (SILVA, 2009).

Um banco de dados é um conjunto de dados persistentes que servem de base para uma aplicação. O termo “persistente” define que estes dados são mantidos em certo repositório para estarem à disposição do usuário da aplicação a qualquer tempo (DATE, 2000). Um banco de dados é manipulado pelo gerenciamento de seus dados de maneira que ele suporta constante transformação em suas estruturas, hierarquia, relacionamentos, conectividade, etc.

Esses sistemas podem ser considerados sistemas de gerenciamento de informações capazes de: coletar, armazenar e recuperar informações baseadas nas suas localizações espaciais; identificar locais dentro de um ambiente que tenha sido selecionado, com base em determinados critérios; explorar relações entre os dados de um determinado ambiente; analisar os dados espaciais para subsidiar os critérios de formulação de decisões; facilitar a exportação de modelos analíticos capazes de avaliar alternativas de impactos no meio ambiente; exibir e selecionar áreas, tanto graficamente como numericamente, antes e/ou depois de análises.

Os SIG vêm sendo utilizados pelos mais diversos tipos de usuários, com destaque para as empresas públicas e privadas, centros educacionais, controle de trânsito, segurança pública, saúde, dentre outros. A alimentação dos SIG pode advir de levantamentos topográficos e

geodésicos, plantas, cartas e mapas existentes, fotos aéreas, imagens de satélites, dados estatísticos e tabulares, entre outros (SILVA, 2009).

Do ponto de vista da aplicação, utilizar um SIG implica em escolher as representações computacionais mais adequadas para capturar a semântica de seu domínio de aplicação. Do ponto de vista da tecnologia, desenvolver um SIG significa oferecer o conjunto mais amplo possível de estruturas de dados e algoritmos capazes de representar a grande diversidade de concepções do espaço (CÂMARA et al., 1996).

Para atender às expectativas dos usuários e às demandas da sociedade, os SIG se apoiam na utilização de ciências tecnológicas, tais como: Ciências da Computação, Gerenciamento de Informações, Cartografia de Base e Cartografia Temática, Geodésia, Fotogrametria, Topografia, Processamento Digital de Imagens, Geografia, Cadastro, Engenharia Civil, Estudos Matemáticos de variação espacial, Ciências do Solo, Geomática, Planejamento Urbano e Rural, Redes de Serviços Utilitários, entre outros (SILVA, 2009).

A estreita relação entre o SIG e a Cartografia tem o propósito de evidenciar as funções comuns de armazenamento e comunicação de informações geográficas. Porém, deve ser enfatizado que, de uma maneira geral, espera-se que um SIG possa oferecer ferramentas para análise e manipulação de dados, bem como oferecer possibilidade de visualização em monitores, tornando os SIG muito mais versáteis que quaisquer métodos tradicionais cartográficos (SEGANTINE, 2001).

A apresentação correta dos dados de um SIG produz informações de maneira eficiente e eficaz, facilitando a análise do universo em estudo. Não que um SIG vá, por si só, assegurar que as análises serão de melhor qualidade, mas pode permitir um acompanhamento gradual dos passos dessas análises, através de recursos gráficos que facilitam bastante à compreensão, ajudando a manter a correção dos processos (SILVA, 1998).

3.2.3 Geocodificação de dados

A geocodificação é o processo de conversão da localização de elementos em coordenadas geográficas digitais (GOLDBERG, 2011). O endereço ou outro identificador (por exemplo, código postal) é transformado em feições de mapa, como coordenadas geográficas, por meio da correspondência entre eles.

A correspondência pode ser feita através de um SIG que contenha a ferramenta de geocodificação. Além de endereços, também se pode geocodificar dados por cruzamento de vias, número de propriedades, etc. Além disso, as análises e a compreensão dos dados terão

mais qualidade porque será possível encontrar correlações entre variáveis no tempo e no espaço (Rodriguez et al., 2013).

De acordo com o IBGE/DGC (SCOFANO, 2013), o termo geocódigo designa o “código utilizado pelo IBGE para identificar as unidades Político Administrativas da Divisão Territorial Brasileira, compondo a chave única das unidades de coleta, apuração e disseminação de dados estatísticos e territoriais”.

À presente pesquisa, cabe definir que o geocódigo oferece identificação inequívoca a um elemento, de maneira a localizá-lo espacialmente em feições de mapa, como coordenadas geográficas, por meio do processo de geocodificação.

A geocodificação reporta bons resultados em situações nas quais os dados pontuais precisam ser tratados espacialmente. Contudo suas coordenadas geográficas não estão disponíveis, mas apenas os endereços. A principal vantagem, neste caso, é a possibilidade de analisar os dados diretamente sobre mapas.

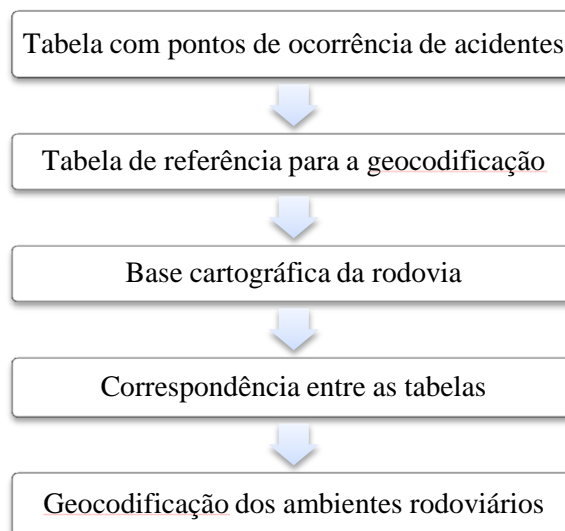
Para tanto, é necessário um conjunto de dados espaciais organizados em uma tabela com os endereços a serem geocodificados e uma base cartográfica com a mesma extensão geográfica. Também, é necessário um arquivo, como um localizador de endereços contendo, os eixos das vias com as informações de segmentos de linhas representados por intervalos.

De todos os dados do BO, o principal para o processo da geocodificação de acidentes rodoviários é a localização das ocorrências. Para as rodovias, é comum identificar o local pelo quilômetro aproximado com precisão de 100 metros (por exemplo, km 501 + 200 m) e representá-lo por um ponto.

A qualidade do registro é, sem dúvida, um tema crucial e é preciso considerar que, apesar de existirem imperfeições nos BO (desatualizados e incompletos, por exemplo) elas não prejudicam a solução da análise proposta, isto é, a metodologia. É evidente que o resultado da análise estará eivado de erros, mas isso é assunto para outro tipo de modelagem, por exemplo, propagação de erros, a qual não é considerada no momento.

O processo da geocodificação envolve as etapas contidas na Figura 14 (BATISTÃO, FLORES e SILVA, 2017):

Figura 14 - Etapas do processo de geocodificação.



Duas tabelas de dados estão envolvidas. A primeira deve conter a localização da ocorrência e os demais atributos. A segunda tabela relaciona as coordenadas das ocorrências (que serão geocodificadas) com os segmentos do trecho da rodovia, que deve ser representada por uma linha em uma base cartográfica.

O método consiste em localizar o quilômetro da rodovia em que ocorreu o acidente (primeira tabela) em função do endereço de correspondência (segunda tabela), através de interpolação linear.

É necessário que a primeira tabela contenha uma coluna, aqui denominada *geocod*, e que cada linha identifique o quilômetro da ocorrência do acidente, o código (ID) e a identificação da rodovia. A segunda tabela deve conter quatro colunas: *ObjectID* como a primeira coluna correspondendo à segmentação do trecho da rodovia em quilômetros, as colunas seguintes, denominadas *FL* e *TL*, respectivamente *fromleft* e *toleft* delimitando o quilômetro de cada *ID*, e, a coluna *Nome* de correspondência entre as tabelas e de referência para a geocodificação.

Justamente por ser um processo de correspondência, pode apresentar falhas como endereços não correspondidos ou duplicados. Por isso, todo cuidado foi tomado no preparo das tabelas e da base cartográfica, antes do início do processo. O resultado é a visualização da base com a localização dos dados, em relação ao endereço de correspondência.

3.2.4 Geotecnologia para o mapeamento dos fatores contribuintes

O Sistema de Mapeamento Móvel (SMM) é um método de aquisição de imagens georreferenciáveis que utiliza uma plataforma móvel, na qual são embarcados os sensores e

demais equipamentos que compõem o aparato tecnológico. Construído para mapear rodovias, os SMM estenderam-se para as vias urbanas, ferrovias, hidrovias, áreas ambientais, e recentemente, adentraram edifícios. Requerem processamento e análise de distintos tipos de dados de: tempo, fase, força, variação angular e distância, dos quais resultam Posição, Velocidade e Atitude (PVA) de um ou mais sensores (câmeras e LIDAR), com os quais se produzem as imagens georreferenciadas (SILVA et al., 2012).

Esta tecnologia também está presente em veículos aéreos, com a finalidade de se determinar a plena orientação espacial dos sensores de luz (câmeras e LIDAR), método conhecido por georreferenciamento direto (GRD). Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) e os robôs terrestres são expressões tecnológicas da integração dos diferentes tipos de sensores, para fins de mapeamento e outras tantas aplicações (SILVA et al., 2012).

Nos levantamentos terrestres ou de campo, as operações são efetuadas diretamente no terreno para obter medidas de interesse (GUERRA, 2007). O SMM é um método de aquisição de imagens georreferenciáveis terrestre que utiliza uma plataforma móvel, na qual são embarcados os sensores e demais equipamentos que compõem o aparato tecnológico. O pioneiro na atividade de mapeamento móvel de vias terrestres de locomoção foi o sistema *GPSVan*, desenvolvido na Universidade Estadual de *Ohio*, em *Colombos-OH*, nos Estados Unidos, composto por um par de câmaras digitais, um receptor *GPS* e um sistema de armazenamento de imagens (OLIVEIRA, 2003).

Em 1999, na Universidade Estadual Paulista – UNESP, em Presidente Prudente-SP, foi desenvolvido o protótipo denominado Unidade Móvel de Mapeamento Digital (UMMD), integrante do sistema que conta com o Laboratório de Mapeamento Móvel (LaMMov). A UMMD era composta por duas câmaras de vídeos digitais (*Sony DSR2001*), receptores GPS e um sistema de edição e processamento dos dados coletados (Figura 15).

Figura 15 - UMMD: Vista geral.



Fonte: Adaptado de Oliveira (2003).

Nos estudos de planejamento de transportes, o uso dos recursos de geotecnologias para a coleta de dados para estudos de planejamento de transportes vem se tornando gradualmente mais comum no mundo todo, sendo recomendado para um grande número de situações (HANNON e SULBARAN, 2008).

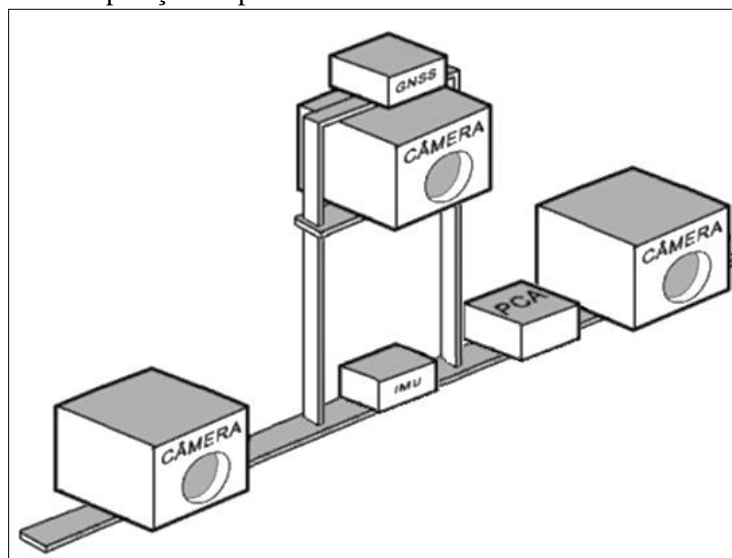
Outro destaque para o método é sobre a organização e armazenamento de dados, o que contribui com o monitoramento da segurança da via. Ao longo do tempo, no futuro, como se trata de um sistema dinâmico, sua eficiência dependerá da manutenção e atualização dos dados, no caso, acidentes rodoviários. Mas, a concretização desta pesquisa resultará em uma contribuição e em uma exploração inicial das características da rodovia que podem vir a se tornar fatores contribuintes, proporcionando conclusões sobre o acidente sustentadas por informações corretas e georreferenciadas.

Ainda que testes com carros automáticos sejam cada vez mais populares, esta é uma realidade longe dos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil.

Pensando na integração do SMM com o *Global Positioning System* (GPS) para uma aplicação na área de segurança viária e com a intenção de dar continuidade aos estudos e pesquisas com a UMMD, propôs-se, em 2012, gerar um banco de dados denominado WebSIG/SV, com aplicação de geoinformação via Internet, para segurança viária. A ideia da concepção do WebSIG/SV foi fundamentada no contexto em que é previsível o crescimento da população e da produção de bens duráveis, como os veículos, e conseqüentemente o aumento do risco de acidentes viários. Considerando-se os altos números de acidentes rodoviários no Brasil, esta aplicação tecnológica tende a ter expressivo benefício social e pedagógico (SILVA et al., 2012). Mais detalhes sobre o projeto são encontrados em Chaves (2014).

Para a extensão do modelo apresentado por Silva et al. (1999), foram desenvolvidos aprimoramentos pelo Grupo de Estudos e Pesquisa em Mapeamento Móvel (GEP/MM) no LaMMov. Foi acrescentada uma terceira câmera à plataforma móvel que compõe o sistema de Aquisição Integrada de Imagens Georreferenciadas (AIIG) e que, originalmente, utilizava um par estereoscópico. Já existem vários sistemas móveis em uso, porém a um custo financeiro e operacional demasiado alto (TAO et al., 2007), tal que a relação custo/benefício é desfavorável na maioria dos casos. Uma alternativa foi a construção de sistemas de baixo custo, que viabilizam o método em mapeamento de acidentes rodoviários, por exemplo. A Figura 16 ilustra a composição da plataforma móvel do sistema AIIG.

Figura 16 - Croqui da composição da plataforma móvel do sistema AIIG com três câmeras.



Fonte: Masiero (2017).

A montagem de um conjunto de sensores (câmeras, GNSS/GPS, IMU/MEMS) com a plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto Arduino (PCA) forma o sistema AIIG. Ela pode ser usada como uma plataforma multissensorial, que se adequa às necessidades de integrar diferentes sensores: câmeras digitais, receptores GNSS/GPS e sensores inerciais IMU/MEMS (*Micro Electro-Mechanical System*) com bússola digital. O sincronismo dos sinais é fundamental para o processamento dos dados (imagens, posicionamento e atitude) e deve ser programado na PCA (MASIERO, 2017).

Os materiais da plataforma móvel (arranjo triangular) do sistema AIIG são (Figura 17): (MASIERO, 2017).

- 3 Câmeras fotográficas de alta definição Canon EOS T3i;
- 1 GPS Ublox NEO-M8N;
- 1 IMU/MEMS SparkFun 9 DoF (giroscópio 3 eixos, acelerômetro 3 eixos 13 bits de resolução, magnetômetro digital 3 eixos);
- 1 Arduino Uno (PCA);
- 1 placa de relê 4 Canais 5v 10a;
- 1 módulo regulador de tensão DC-DC 5a;
- 1 módulo de cartão SD Card.

4. ESTUDOS E ANÁLISES PRELIMINARES

4.1 Área de estudo da pesquisa

A área objeto de estudo desta pesquisa (Figura 19) foi definida em conjunto com a Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo (PMR-SP) e corresponde aos quatro trechos rodoviários estaduais detentores das maiores concentrações de acidentes do oeste paulista no ano de 2014 (LEMES, 2011). Porém, esse não foi o único aspecto que motivou a escolha. Também, foram levadas em consideração as diferenças entre os trechos rodoviários, por exemplo, pistas simples e dupla, trecho urbano, passagem por reserva florestal, e a característica principal dos acidentes em cada trecho. Assim, o primeiro compreende ao trecho da rodovia Raposo Tavares (SP-270) localizado entre Rancharia-SP e Presidente Bernardes-SP que apresenta o maior número de acidentes do tipo grave da região do oeste paulista. O segundo trecho é da Rodovia Comandante João Ribeiro de Barros (SP-294) de Parapuã-SP até Dracena-SP, local com maior número de colisões frontais. O terceiro, da Rodovia Arlindo Bettio (SP-613) entre Teodoro Sampaio-SP e Rosana-SP, marcado pelo maior número de animais envolvidos nos acidentes e o quarto, da Rodovia Assis Chateaubriand (SP-425) de Pirapozinho-SP até Parapuã-SP que soma o maior número de vítimas fatais (26), enquanto nos demais trechos têm-se 11 (SP-270), 19 (SP-294) e 4 (SP-613).

Figura 19 - Localização dos trechos das rodovias utilizadas na pesquisa.



Fonte: Mapa adaptado de Google Maps.

O primeiro trecho (SP-270) de 90,8 km corresponde a 13,8% da extensão total da rodovia. O segundo trecho (SP-294) de 82,7 km, corresponde a 17,4%. O terceiro, (SP-613) têm 80,9 km, corresponde a 17,7% da extensão total da rodovia e o quarto, (SP-425) com 97,4 km, corresponde a 19,5% do total da rodovia.

Uma breve análise sobre as extensões das rodovias que foram estudadas reforçam a teoria de Picado (2005), que os trechos críticos das rodovias se concentram em apenas 5% a 25% de toda a sua extensão.

4.2 A natureza dos dados e os materiais utilizados

As tabelas disponibilizadas pela PMR-SP contêm dados sobre a data da ocorrência do acidente (dia, dia da semana e mês), horário, município, divisa entre quais municípios, circunscrição, codificação da rodovia, quilômetro, sentido da rodovia (crescente ou decrescente), tipo de pista (simples ou dupla), acidente (com vítima ou sem vítima), gravidade da vítima (leve, grave ou fatal), número de veículos envolvidos por tipo (automóvel, caminhonete/camioneta, caminhão, trator, ônibus/micro-ônibus, motocicleta, bicicleta, outros), tipo da colisão (traseira, frontal, lateral, transversal, choque, atropelamento, tombamento, capotamento, engavetamento, outros), condições do tempo (bom, chuva ou nublado), superfície da pista (seca, molhada), deficiente físico, acidente com produto perigoso, embriaguez, acidente rural, número de condutores envolvidos no acidente submetidos ao etilômetro, condutores submetidos ao etilômetro (ativo, passivo), número de condutores embriagados envolvidos no acidente, condutores que se recusaram ao teste do etilômetro, condutores impossibilitados a fazerem o teste do etilômetro. Os registros são alfanuméricos e estão organizados em formulários e planilhas (Figura 20).

Figura 20 - Fragmento de planilha da PMR-SP com os registros dos acidentes por quilômetro

km	com_vitima	sem_vitima	total_vitima	leve	grave	fatal	colis_traseira
493		2	2				
494		4	4				1
495	1	1	2		2	2	
496	1	2	3	2			
497		2	2				1
498		3	3				
499	1	13	14	1			1
500	2	8	10	2			1
501	1	9	10	1			1
502	1	2	3	1			1
503		5	5				
504	2	5	7	2			
505	2	1	3	2	1		1
506	1	3	4	1			1
507	1	1	2	1			1
508	1	2	3	2			
509		1	1				
510	1	2	3	1			1
511		11	11				1

Fonte: Batistão, Tachibana e Silva (2016).

Há esforços para tornar o registro o mais fiel possível, em relação ao fato real. Na questão geográfica, as anotações conferem um dado aproximado, em geral, ao quilômetro cheio, ou, no máximo, em décimos do quilômetro, portanto da ordem de centenas de metros. Tais registros carecem de visualização espacial e permanecem invisíveis em modo alfanumérico, quantitativos e qualitativos, ditos textuais ou estatísticos, sobre a ocorrência dos acidentes.

Os dados originais podem e foram representados em bases cartográficas. Além da visualização cartográfica e dados estatísticos, dados sobre as características físicas da rodovia que correspondem aos fatores contribuintes dos acidentes de imagens georreferenciadas e vídeos, tomados por um sistema de mapeamento móvel, também vão incorporar o processo, de modo a ampliar os estudos e aprofundar as análises dos fatores contribuintes dos segmentos de trechos críticos.

Os recursos materiais utilizados incluem um computador, *software* SPRING para a análise exploratória espacial dos dados, *software* ArcGISDesktop para a análise estatística espacial, geostatística e geocodificação dos dados, SMM para mapeamento dos fatores contribuintes e *software* Minitab para análise de regressão dos fatores contribuintes. Todos esses materiais estão disponíveis no LaMMov, ou, são de acesso gratuito pela Internet.

4.3 Geocodificação dos dados

Todos os locais dos acidentes foram geocodificados. Para a geocodificação por correspondência dos endereços, foram necessários: a tabela de dados a serem geocodificados, a tabela de correspondência (descrito na subseção 3.2.3) e a base cartográfica do trecho da rodovia, do Ministério do Meio Ambiente (MMA) *downloads de dados geográficos* (em SIRGAS 2000 - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas/ano de referência 2000).

Para a organização dos dados e tabelas, foi usado o aplicativo da Microsoft Excel. Para a geocodificação e análise espacial, o SIG ArcGISDesktop.

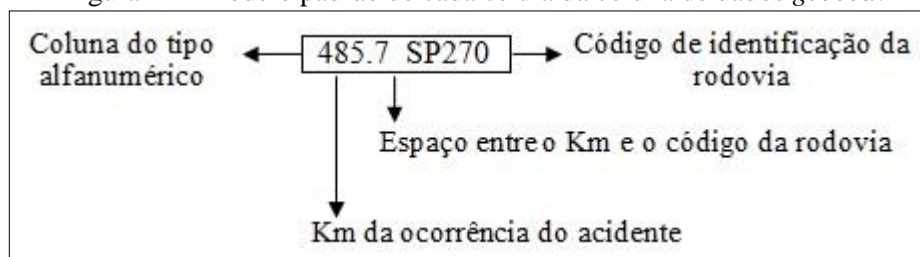
Iniciou-se filtrando os dados da tabela e seguindo as etapas do processo conforme segue.

I. Preparo da tabela com os endereços a serem geocodificados

Todos os valores da tabela disponibilizada pela PMR-SP (Figura 15) foram formatados como tipo numérico, e foram retirados acentos dos nomes das variáveis de cada coluna da tabela.

Posteriormente, uma nova coluna, com a localização das ocorrências de acidentes rodoviários, foi criada e seguiu o padrão mostrado na Figura 21:

Figura 21 - Modelo padrão de cada célula da coluna de dados *geocod*.



Fonte: O autor.

Na Figura 22, há uma ilustração de um trecho da tabela modificada e preparada, pronta para ser utilizada na geocodificação dos dados. Em destaque, tem-se a coluna (*geocod*) gerada com base no padrão predefinido. A correspondência com a tabela (Figura 22) se dá pelo código de identificação da rodovia presente na coluna *geocod*.

Figura 22 - Trecho da tabela de ocorrência de acidentes já preparada para geocodificação.

dia	mes	horario	dia	noite	municipio	circunscricao	codificacao	sp	km	geocod
04	04	8:45	X		PRESIDENTE PRUDENTE	CART	SP	270	561.8	56180 SP270
01	01	8:00	X		MARTINOPOLIS	CART	SP	270	532.000	53200 SP270
01	01	15:00	X		RANCHARIA	CART	SP	270	518.000	51800 SP270
01	01	17:45	X		ALVARES MACHADO	CART	SP	270	579.000	57900 SP270
02	01	8:10		X	MARTINOPOLIS	CART	SP	270	525.5	52550 SP270
07	01	3:15		X	ALVARES MACHADO	CART	SP	270	572.4	57240 SP270
09	01	12:10	X		PRESIDENTE BERNARDES	CART	SP	270	584.8	58480 SP270
10	01	0:30		X	PRESIDENTE PRUDENTE	CART	SP	270	564.4	56440 SP270
10	01	2:25		X	PRESIDENTE PRUDENTE	CART	SP	270	559.9	55990 SP270
12	01	6:50	X		ÁLVARES MACHADO	CART	SP	270	576	57600 SP270
15	01	2:15		X	REGENTE FEIJO	CART	SP	270	556.1	55610 SP270
15	01	2:17		X	RANCHARIA	CART	SP	270	496.6	49660 SP270
19	01	10:25	X		PRESIDENTE PRUDENTE	CART	SP	270	564	56400 SP270
19	01	22:20		X	PRESIDENTE PRUDENTE	CART	SP	270	568.9	56890 SP270
21	01	11:55	X		PRESIDENTE PRUDENTE	CART	SP	270	567.5	56750 SP270
22	01	6:15	X		PRESIDENTE PRUDENTE	CART	SP	270	569.5	56950 SP270
25	01	7:35	X		PRESIDENTE PRUDENTE	CART	SP	270	562.8	56280 SP270
26	01	22:45		X	RANCHARIA	CART	SP	270	505.1	50510 SP270

Fonte: O autor.

II. Preparo da tabela que contém os endereços das vias para realizar a correspondência

O trecho da tabela (Figura 23) foi construído de modo que cada ID (coluna 1) corresponde a um trecho de 1000 metros da rodovia. As colunas FL e TL, respectivamente, *from left* e *to left*, delimitam o quilômetro correspondente a cada ID. A coluna Nome é a coluna de correspondência entre a tabela de dados (Figura 22) e a tabela de geocodificação (Figura 23).

Figura 23 - Fragmento da tabela de correspondência para geocodificação.

ObjectID	FL	TL	Nome
0,00	493,00	494,00	SP270
1,00	494,01	495,00	SP270
2,00	495,01	496,00	SP270
3,00	496,01	497,00	SP270
4,00	497,01	498,00	SP270
5,00	498,01	499,00	SP270
6,00	499,01	500,00	SP270
7,00	500,01	501,00	SP270
8,00	501,01	502,00	SP270

Fonte: O autor.

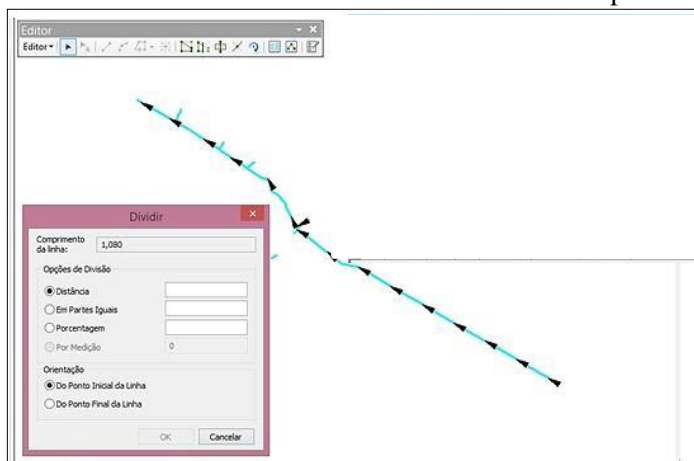
Nos casos em que os acidentes são geocodificados na cidade ainda é necessário identificar o lado da quadra onde se deu a ocorrência. Para trabalhar com a rodovia foi feita uma adaptação e adotou-se o sentido crescente (de quilometragem) da rodovia como parâmetro.

III. Aquisição da base cartográfica para a visualização da geocodificação

Foram utilizadas duas bases cartográficas para cada rodovia, (ambas em SIRGAS 2000): a primeira, contendo o limite do estado de São Paulo e dos municípios, retirada da página do IBGE – *downloads* e, a segunda, do trecho da rodovia, retirada da página do MMA – *downloads de dados geográficos*.

A base do trecho foi subdividida em 100 partes iguais – para posterior correspondência com a tabela de geocodificação – com início no menor quilômetro correspondendo ao primeiro segmento até o final do trecho (Figura 24). Com isso, foi possível visualizar em uma única base, os limites municipais do estado de São Paulo e o trecho segmentado de cada rodovia, ambos já preparados para o processo de geocodificação.

Figura 24 - Divisão do trecho da rodovia SP-270 em 99 partes iguais.



Fonte: O autor.

IV. Correspondência dos endereços e geocodificação

Para gerar a correspondência, dos dados foram necessárias:

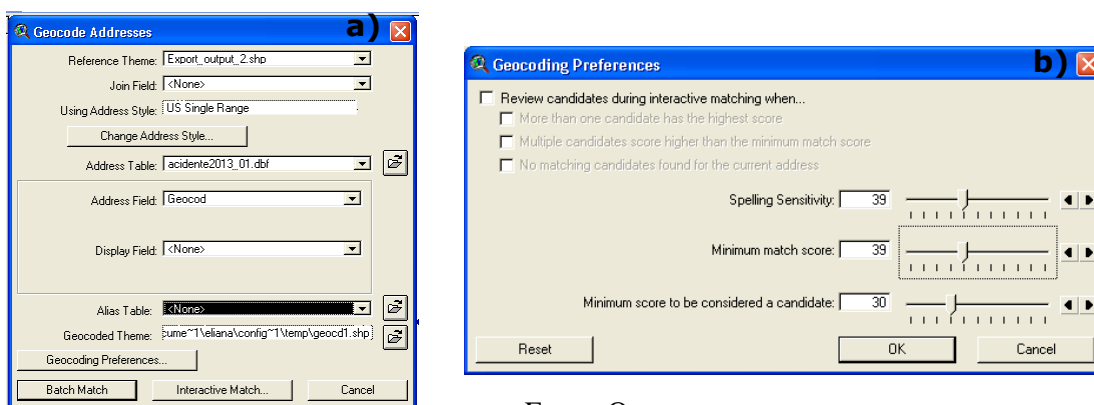
1. As tabelas de dados a serem geocodificados
2. A tabela de correspondência para a geocodificação contendo os segmentos da via
3. Base cartográfica do trecho da rodovia

Um novo tema deve ser criado dentro da classe “geocodificação”. Os parâmetros de entrada desse tema são:

- Nome
- *From-To*: parâmetros de orientação de início e término da via. Eles devem ser conectados com as respectivas colunas da tabela de correspondência;
- Tipo de via em questão (rural)
- Conexão com a tabela de dados a serem geocodificados

Posteriormente, com a ferramenta “Endereços Geocodificados” (Figura 25a) foram confirmados os parâmetros definidos anteriormente e a conexão com a coluna da tabela dos dados (Figura 25b). Assim, foram configuradas a sensibilidade na identificação dos pontos e na pontuação dos *scores*. Quanto maior o valor da sensibilidade, mais rigorosa é a busca dos pontos de correspondência entre a tabela dos dados e a tabela de correspondência para geocodificação. O menor *score* indica o mínimo de correspondência para gerar a geocodificação dos pontos bem como o valor mínimo para que eles sejam considerados candidatos à correspondentes entre as tabelas.

Figura 25 - Parâmetros de conexão com a tabela: “geocodificação” (a) e sensibilidade (b).



Fonte: O autor.

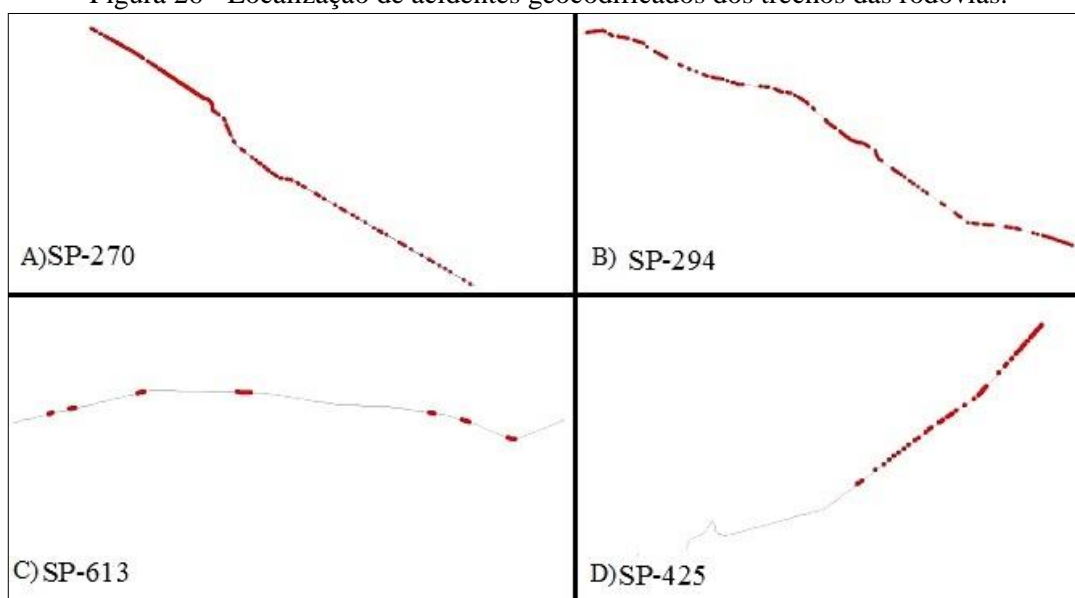
Esses parâmetros são empíricos. Utilizaram-se, respectivamente, os valores 39, 39 e 30. Para valores maiores que 60 de sensibilidade, o número de correspondência entre os pontos foi muito baixo e quando o valor do *score* mínimo para considerar os candidatos foi menor que 15, vários pontos que estavam fora da rodovia apareceram na geocodificação.

Depois de realizar a correspondência, todos os pontos que ficaram de fora do processo de correspondência foram conferidos (conforme descrito na subseção 3.2.3).

Os acidentes que antes eram localizados dentro do trecho do quilômetro cheio encontram-se agora, geocodificados. Além de aperfeiçoar a consulta à informação de cada ocorrência, a precisão da localização passou de quilômetro para metro.

Na Figura 26, tem-se o produto do processo. Em cinza, a base de cada rodovia e em vermelho os acidentes rodoviários geocodificados ao longo dos trechos. No total, foram geocodificados 1.593 acidentes, sendo 683 da SP-270, 400 da SP-294, 102 na SP-613 e 408 acidentes na SP-425.

Figura 26 - Localização de acidentes geocodificados dos trechos das rodovias.



Fonte: O autor.

5. PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DE ESCOLHA DE TRECHOS CRÍTICOS DE RODOVIAS

A linha de investigação desta pesquisa de doutorado iniciou-se em 2011, com a Iniciação Científica sobre a concepção preliminar de um banco de dados geoespaciais (WebSIG/SV) e, nos dois anos seguintes, com o Mestrado, especificando e desenvolvendo o sistema em questão (CHAVES, SILVA e SHIMABUKURO, 2013; CHAVES, 2014). Sempre houve mais atenção voltada (direta e indiretamente) para o estudo de trechos críticos de rodovias, com a intenção de contribuir de forma efetiva para as pesquisas de segurança viária, em especial, nesses trechos. Durante esses sete anos de trabalho, a revisão teórica sobre os métodos dos pontos críticos foi consolidando-se e fortalecendo-se para propor novas soluções, amparadas por tecnologias e incorporadas na PMR-SP, e programas de computador, capazes de realizar análises geoestatísticas robustas.

O método descrito em Brasil (2010), em vigor no país, para identificação de trechos críticos é do tipo numérico, tem como base a segmentação da rodovia em trechos de um quilômetro de extensão e com a identificação dos locais críticos, em função do cálculo de índices. Os trechos que apresentarem valores maiores que o valor previamente estabelecido pela equipe técnica, devem ser considerados como críticos. Além desse valor, também é necessário o estudo geométrico da via, ou seja, este método é inviável sem a colaboração de profissionais da área de transportes.

Diante da necessidade de se determinar tais segmentos de trechos considerados críticos e dar continuidade à pesquisa, verificou-se que, de fato, as soluções estariam sempre vinculadas a uma equipe especializada, o que demandaria tempo e custos elevados. Com isso, surgiu a ideia de propor um método reativo (com base no histórico das ocorrências de acidentes) de segurança viária para determinar os segmentos de trechos críticos de rodovia.

O método proposto será abordado neste capítulo. Ao propô-lo, o objetivo foi trabalhar com a premissa da dependência geográfica dos acidentes rodoviários, identificando e determinando os segmentos de trechos críticos de rodovias.

De início, o foco seria a “identificação dos trechos críticos”. Porém, o desenvolvimento da pesquisa com enfoque de tratamento espacial nos dados, possibilitou ir além da identificação e determinação dos trechos críticos.

Identificar é determinar a identidade. Tornar idêntico, igual (FERREIRA, 1995).

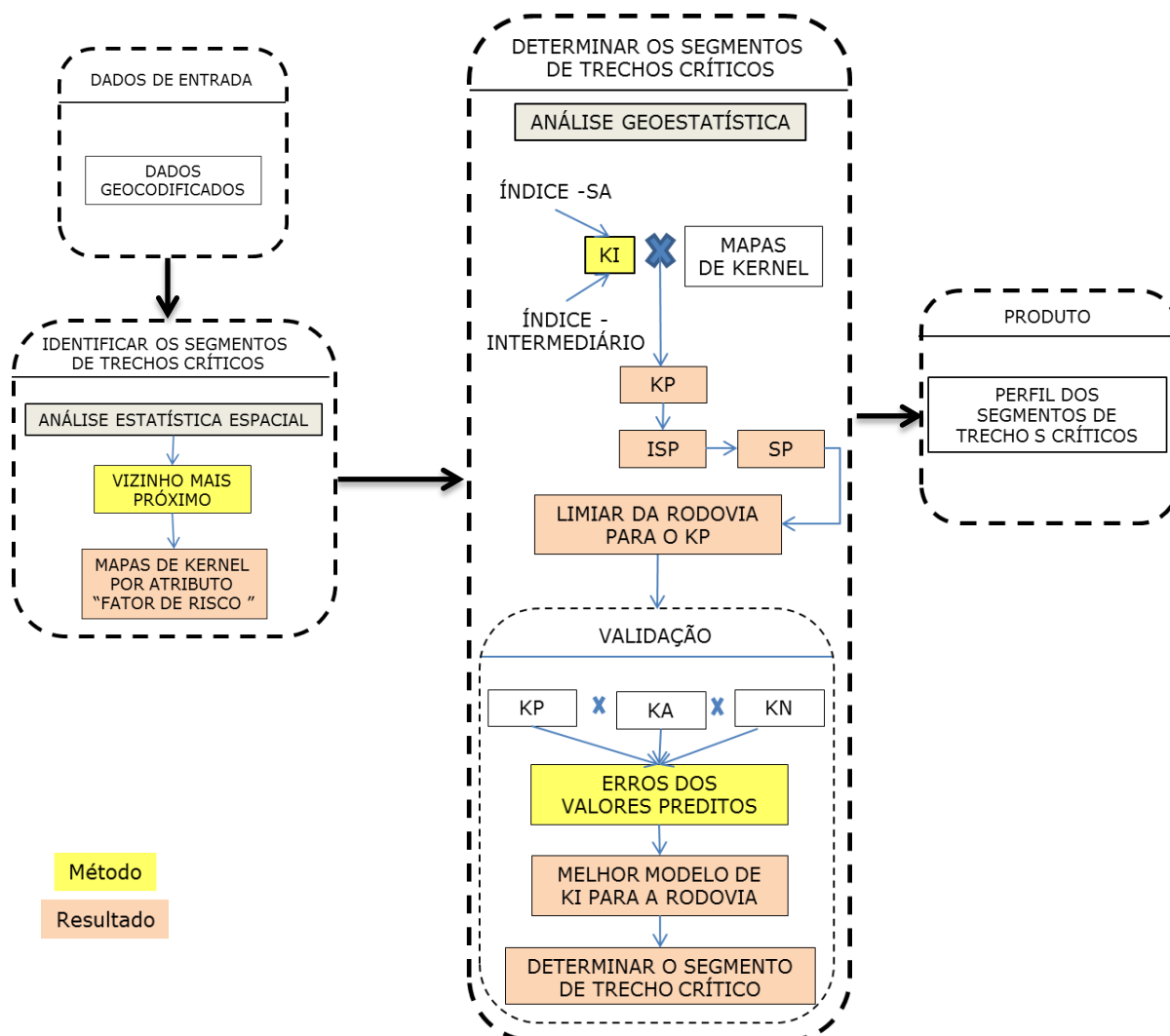
Determinar é indicar com precisão; definir, precisar. Decidir, resolver. Distinguir; discriminar; especificar (FERREIRA, 1995).

Logo, conclui-se que determinar seria mais preciso que identificar e, também, mais adequado se considerar a premissa do método. Neste caso, identificar é um meio para determinar o que se deseja. Assim, com base na identificação de trechos e na possibilidade de estabelecer as características que os tornam semelhantes, seria possível determinar com precisão os trechos da rodovia, inicial e final, em quilômetros, considerados como trechos críticos, aqui denominados, segmentos de trechos críticos.

Portanto, uma nova solução para o problema da definição dos trechos críticos seria possível com base na “localização do acidente”, para fins de interpolar os valores e gerar as regiões de probabilidade de “alta concentração” de ocorrência de acidentes, identificando os segmentos de trechos críticos procurados.

A análise de agrupamento possibilita classificar as variáveis através da distribuição de observações em grupos, de tal modo que cada grupo seja mais ou menos homogêneo e distinto de outros (DAVIS, 2002). A seguir, ilustra-se o método proposto conforme o Figura 27.

Figura 27 - Etapas do método de interpolação espacial de escolha de trechos críticos rodoviários.



O método foi desenvolvido no *software* SPRING e *software* ArcGISDesktop 9.3, para manter os mesmos SIG utilizados durante toda a pesquisa. Mas, não há impossibilidades de aplicar cada etapa do método em diferentes *softwares*, de acordo com a necessidade e disponibilidade de recursos. A seguir, será detalhado como o método foi aplicado nos trechos rodoviários da área de estudo.

5.1 Dados de entrada

Por considerar a dependência geográfica dos acidentes rodoviários, o dado de entrada do método proposto é a localização da ocorrência do acidente na rodovia em estudo.

Os trechos das rodovias utilizadas foram definidos na seção 4.1 e a natureza dos dados envolvidos foi descrita na seção 4.2. Todos os dados geocodificados apresentados na seção 4.3 foram dados de entrada do método proposto.

5.2 Identificação dos segmentos de trechos críticos

Para identificar os segmentos de trechos da rodovia considerados críticos, realizou-se uma análise de estatística espacial nos dados de entrada do método proposto. Essa análise identifica se há correlação espacial entre os dados, com base no método do vizinho mais próximo. Existindo correlação e quantificando-a (nesse caso em quilômetros), os mapas de concentração de Kernel por interpolação dos dados são produzidos. Esses mapas proporcionam a espacialização da concentração dos acidentes no decorrer do trecho da rodovia.

Caso a análise estatística espacial não aponte a correlação espacial entre os dados de entrada, o método não é indicado para o conjunto em estudo e alternativas (numérica, estatística ou técnicas de conflitos) podem ser adotadas para determinar os trechos críticos.

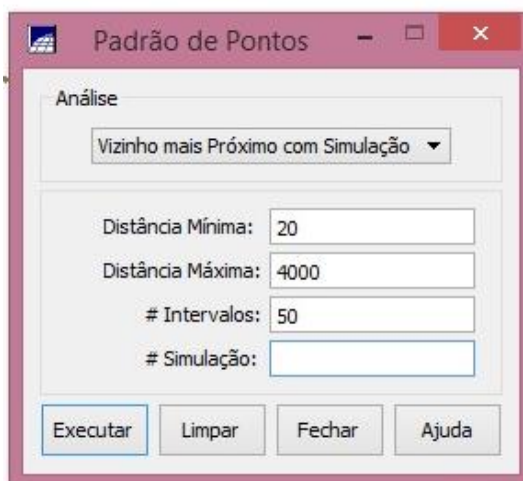
Boas estimativas de interpolação espacial dependem, principalmente, da estrutura espacial da variável que será interpolada. Para avaliar tal estrutura, utiliza-se a ferramenta exploratória para análise espacial de pontos univariados do *software* SPRING, o vizinho mais próximo, que representou a distribuição das probabilidades de acontecer um acidente em função da sua severidade. Os parâmetros em questão foram: o intervalo de distância a ser considerado (contendo as distâncias mínima e máxima), o número de intervalos em que a faixa de distância será dividida e o número de simulações desejadas.

Vale lembrar que por se tratar da análise de pontos univariados vizinho mais próximo, a distância euclidiana entre os pontos vizinhos, é calculada. Ressalta-se que, apesar do caso estudado estar num espaço bidirecional, a diferença entre a distância calculada e a distância

real pode ser desprezada, pois os acidentes são referenciados ao longo da rodovia, ou seja, eles mantêm a mesma direção, em um dos eixos.

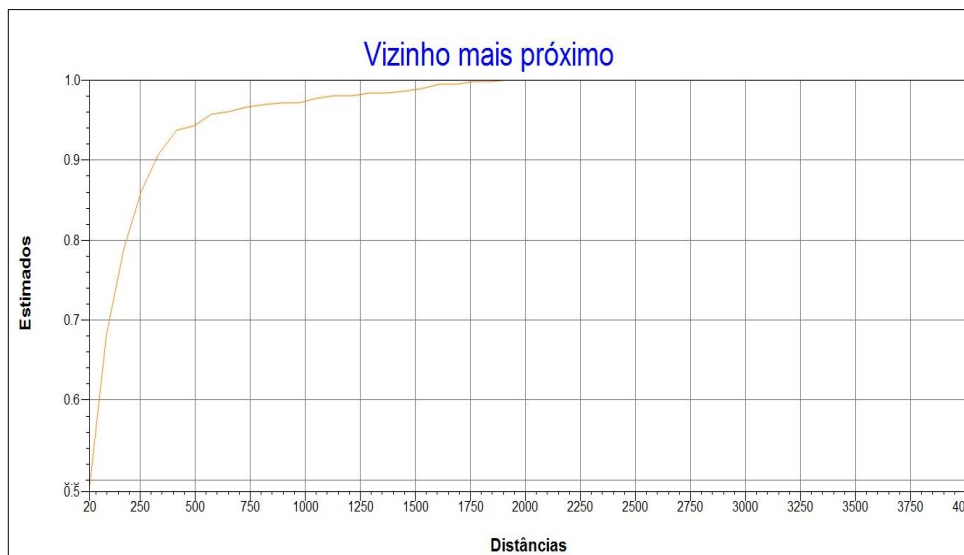
Para cada rodovia, foi definida a distância mínima, de acordo com a sua função acumulada. Como exemplo, seguem as figuras da interface dos parâmetros (Figura 28) e a função acumulada (Figura 29) para o trecho da SP-270.

Figura 28 - Parâmetros para gerar gráfico do vizinho mais próximo no SPRING.



Fonte: O autor.

Figura 29 - Dados de acidentes rodoviários do trecho da SP-270: Método do vizinho mais próximo.



Fonte: O autor.

A distância mínima utilizada foi de 20 metros e percebeu-se um rápido crescimento da curva para valores pequenos de distância, mais especificadamente até 1,75 quilômetros. Depois, a curva se estabilizou, caracterizando o agrupamento dos dados nesta faixa de

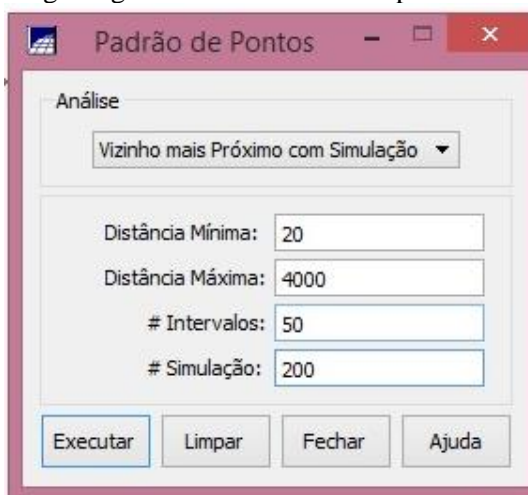
distância. Ou seja, existem agrupamentos significativos de acidentes com intervalos de aproximadamente dois quilômetros de distância no trecho dessa rodovia. Esse valor, chamado de raio, foi utilizado, posteriormente, como dado de entrada para gerar os mapas de intensidade de Kernel.

As outras três rodovias também apresentaram agrupamentos significativos. Os valores dos raios encontrados foram:

- SP-270: 1,7137 quilômetros
- SP-294: 1,0695 quilômetros
- SP-425: 1,6383 quilômetros
- SP-613: 2,2500 quilômetros

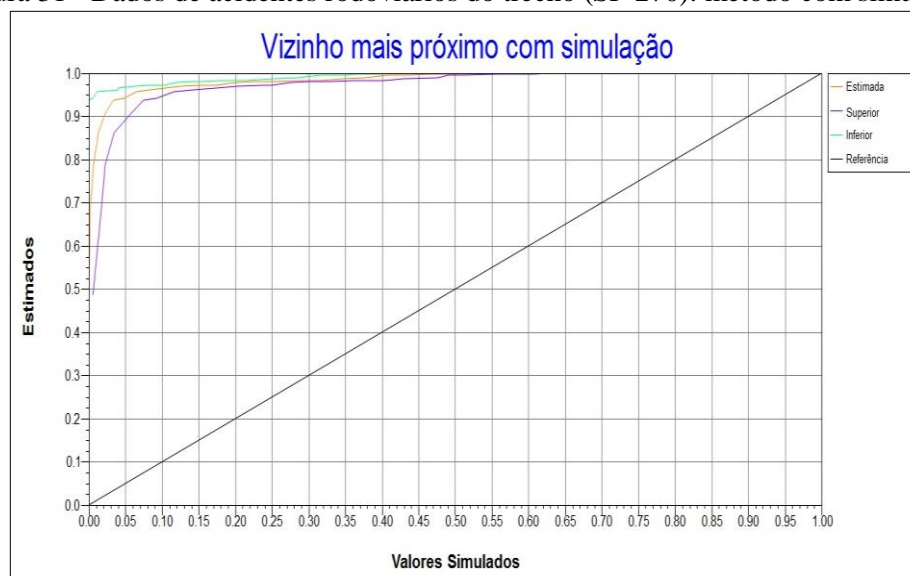
A Figura 30 ilustra os parâmetros utilizados para aplicar a técnica do vizinho mais próximo, com base na simulação. A Figura 31 apresenta o gráfico do posicionamento da distribuição e dos envelopes, com relação à linha de 45 graus, para os dados de ocorrência de acidentes. Conclui-se que não há aleatoriedade nos dados, pois as posições tanto dos envelopes como da distribuição se encontram acima da linha de 45 graus, evidenciando um agrupamento em função das distâncias.

Figura 30 - Parâmetros para gerar gráfico do vizinho mais próximo com simulação no SPRING.



Fonte: O autor.

Figura 31 - Dados de acidentes rodoviários do trecho (SP-270): método com simulação.

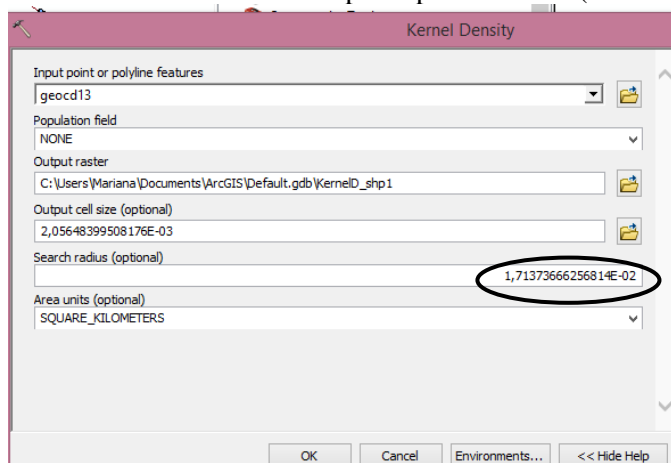


Fonte: O autor.

O resultado desta análise comprovou o pressuposto da dependência entre os eventos observados, reforçando pesquisas no Brasil e no exterior (LEVINE et al., 1995; KIM e YAMASHITA, 2002; QUEIROZ, 2003) que propõem tal dependência geográfica entre os acidentes de trânsito, ou autocorrelação, exigindo modelos que considerem a dependência espacial nos estudos de segurança viária.

Depois da dependência comprovada, os mapas da representação espacial das ocorrências por intensidade de Kernel Quártico foram gerados no *software* ArcGIS. Na Figura 32 são mostrados os parâmetros de entrada do processo. Para cada rodovia utiliza-se o valor do raio encontrado pelo método do vizinho mais próximo. Em destaque (circulado), encontra-se o valor do raio para o trecho da SP-270.

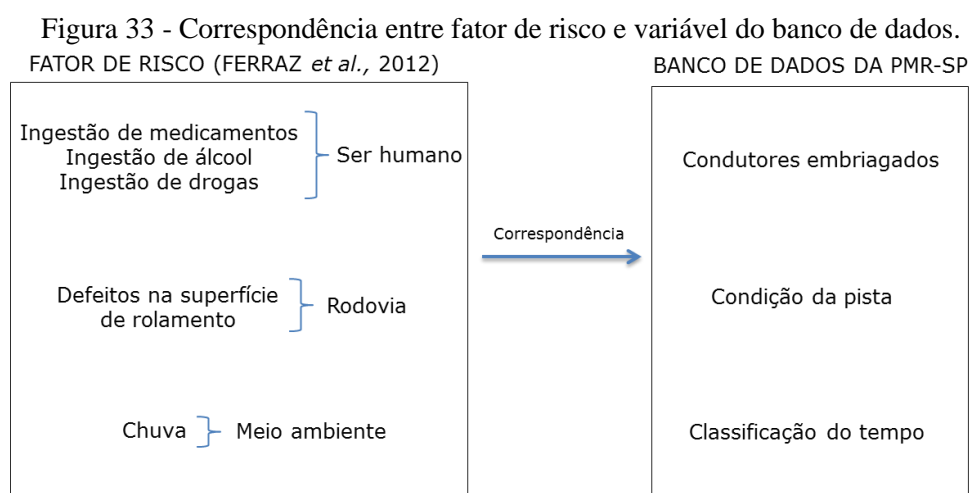
Figura 32 - Parâmetros de entrada para aplicar Kernel (valor do raio).



Fonte: O autor.

O atributo levado em consideração para gerar os mapas foi o “fator de risco” de cada acidente.

Foi criada uma coluna de dados denominada “*classificação*”, a qual recebeu a pontuação final de cada acidente, em função da presença ou não de um ou mais fatores de risco propostos em Ferraz et al. (2012). As variáveis do banco de dados da PMR-SP não denominavam igualmente os fatores de risco, por isso, foram necessárias as correspondências entre as variáveis e os fatores (Figura 33).



Fonte: O autor.

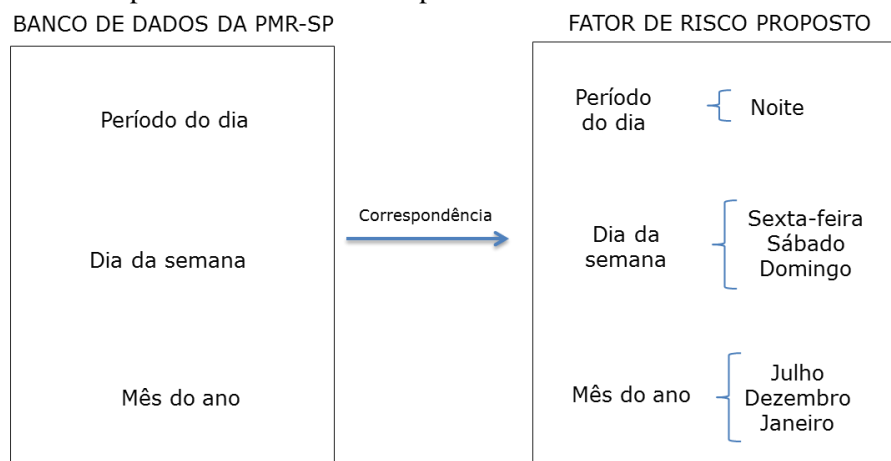
- Fator de risco associado ao ser humano: ingestão de álcool, drogas e medicamentos. No banco de dados correspondeu à variável: “número de condutores embriagados”.
- Fator de risco associado à rodovia: defeitos na superfície de rolamento. No banco de dados correspondeu à variável: “condição da pista”.
- Fator de risco associado ao meio ambiente: chuva. No banco de dados correspondeu à variável “classificação do tempo”.

Ferraz et al. (2012) também propuseram o fator de risco associado aos veículos. Não foi encontrada variável do banco de dados que pudesse corresponder a esse fator, apenas nos BO das ocorrências. Então, realizaram-se novas solicitações de dados. Os dados sobre os veículos foram disponibilizados no último ano da pesquisa (2017) e foram inseridos apenas no modelo de regressão de acidentes (Capítulo 7).

Demais variáveis foram identificadas no banco de dados, por isso, também foram propostas novas correspondências como fatores de risco: período do dia, dia da semana e mês do ano (Figura 34). Para elaborar a proposta associada a esta pesquisa, tomaram-se como base

as estatísticas descritivas das variáveis apresentadas em Chaves (2014), para as mesmas rodovias investigadas.

Figura 34 - Proposta de novos fatores a partir dos dados do banco de dados da PMR-SP.



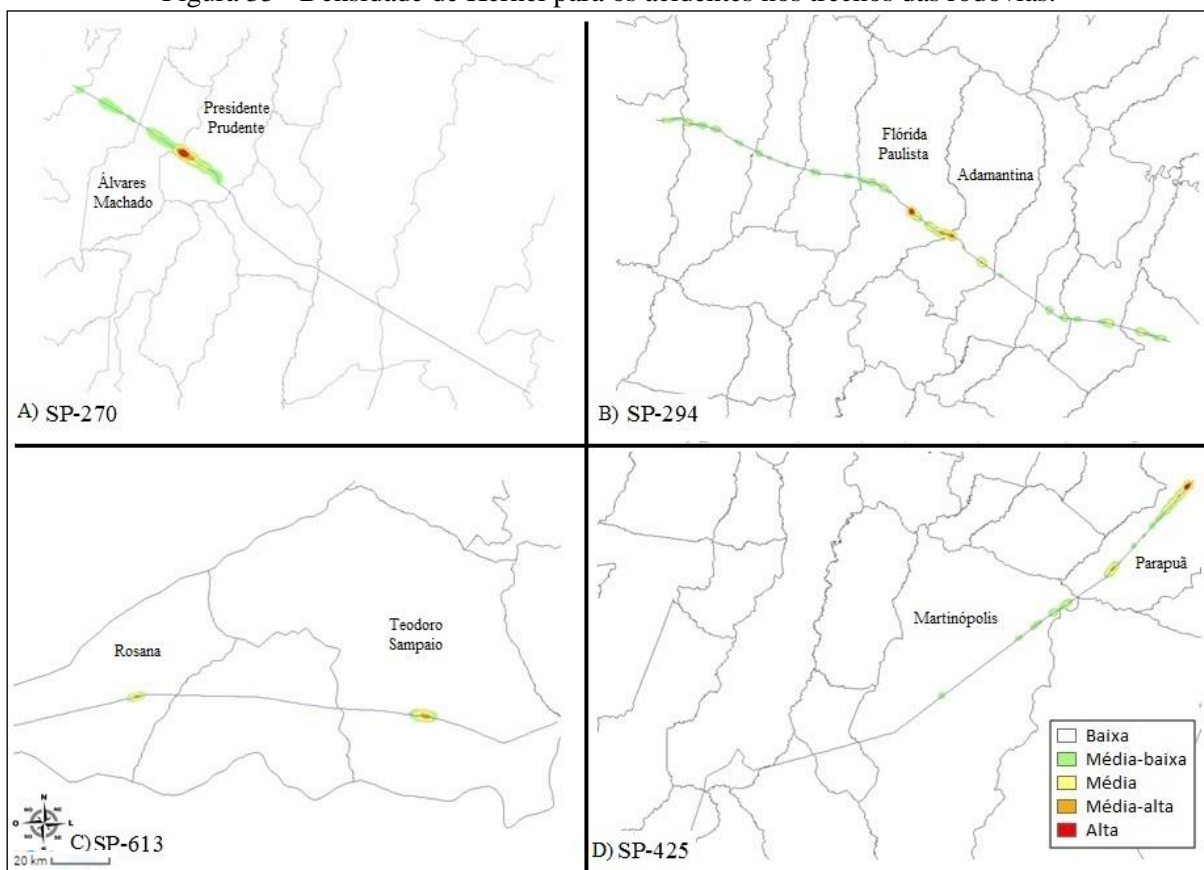
Fonte: O autor.

Com isso, foram gerados os mapas de densidade de Kernel de cada rodovia. Nas densidades, as maiores intensidades são representadas pelas cores mais quentes (laranja e vermelho). Em contrapartida, as cores frias (azul) expressam valores menores, próximos de zero (ausência de aglomeração de ocorrências de acidentes). Sabe-se que a intensidade, neste caso, é dada pela localização agrupada, levando em consideração o atributo referente ao fator de risco do acidente.

Nos primeiros produtos de densidade, foram geradas nove classes de intensidade de aglomeração de ocorrências. Para facilitar a interpretação e visualização destas classes, foi adotada uma classificação com cinco classes de cores: branco (baixa aglomeração), verde (média-baixa), amarelo (média), laranja (média-alta) e vermelho (alta). Além disso, foram adicionadas as bases cartográficas com os limites de municípios por onde passam os trechos das rodovias.

Em uma primeira análise, é possível identificar os municípios que apresentaram altas concentrações de aglomeração de acidentes. No mapa do trecho da rodovia SP-270 (Figura 35A), o segmento com altas concentrações está localizado próximo ao limite de municípios de Álvares Machado e Presidente Prudente. No caso do trecho da SP-294 (Figura 35B), o segmento se encontra entre os municípios de Adamantina e Flórida Paulista. No trecho da SP-613 (Figura 35C), os segmentos estão nos municípios de Teodoro Sampaio e Rosana. Por fim, para o trecho da SP-425 (Figura 35D), os segmentos que apresentam altas concentrações de aglomeração aparecem nos municípios de Martinópolis e Parapuã.

Figura 35 - Densidade de Kernel para os acidentes nos trechos das rodovias.



Fonte: O autor.

O segmento da SP-613, no município de Teodoro Sampaio-SP, está localizado no parque da Reserva Estadual Morro do Diabo. No ano de 2011, o Capitão João Carlos Lemes da Polícia Rodoviária já havia alertado para este trecho, que concentrara grande número de acidentes por atropelamento de animais da reserva. Esta concentração foi comprovada e geolocalizada no mapa.

A vegetação da Reserva Estadual do Morro do Diabo é a maior e melhor amostra que restou do ecossistema predominante no Planalto Ocidental Paulista, a Floresta Tropical e Estacional Semidecidual, ou, Mata Atlântica do Interior (SILVA e SANTOS, 2009). O fato de o segmento atravessar a reserva justifica a necessidade de ações de segurança viária no local, dada à importância nacional da reserva. A identificação do trecho como de alto índice de ocorrência de acidentes confirma a preocupação da PMR-SP e deve servir de alerta para todos que trafegarem na região.

5.3 Determinação dos segmentos de trechos críticos

Os segmentos de trechos com as maiores concentrações de acidentes foram identificados, mas nem a extensão, nem os quilômetros, inicial e final, dos trechos ainda podem ser confirmados. Para refinar essa identificação, determinando os limites e extensão de cada segmento de trecho crítico, realiza-se uma análise geoestatística do conjunto dos dados.

Se um estudioso deseja conhecer os locais com as maiores concentrações espaciais de determinado atributo, teoricamente, qualquer método de interpolação na estimativa geoestatística poderia ser usado. O resultado seria basicamente o mesmo, apenas com áreas mais suavizadas, ou, com um maior detalhamento local. Mas, se existe um desejo de uma análise precisa, com um maior embasamento estatístico da seleção do modelo final, deve-se, “na prática” fazer uma análise dos erros dos valores preditos (JAKOB e YOUNG, 2006).

A krigagem é a técnica geoestatística de estimativa que permite que se faça uma validação cruzada para checagem dos dados, ou pelo menos uma comparação entre os erros. Sendo, portanto, a técnica escolhida para compor a etapa da determinação.

Como o objetivo é obter “regiões de probabilidade”, optou-se por utilizar a Krigagem Indicatriz (KI) que é um estimador em função de valor de corte um índice. Portanto, para viabilizar o método, um índice e o seu respectivo valor de corte também devem ser escolhidos.

Lembrando que os programas de segurança viária nacional para diagnóstico e tratamento de locais com ocorrências significativas de acidentes de trânsito consideram suas tipologias e graus de severidade para identificar e priorizar os locais críticos com maiores concentrações de acidentes (BRASIL, 2002; IHT, 1996), o índice de severidade foi o escolhido. Logicamente, quanto maior o número de acidentes com alta severidade (com vítima(s) do tipo fatal), mais crítico seria o segmento de trecho.

Um argumento adicional para a escolha desse índice diz respeito aos outros índices de acidente, que normalmente generalizam as características dos acidentes. Assim, por exemplo, quando se faz a equivalência da gravidade de um acidente, considera-se com a mesma importância, os acidentes com vítimas, vítimas graves, fatais e sem vítimas (FERRAZ et al., 2012). Com o índice de severidade, é possível ponderar essa equivalência, daí sua vantagem.

O índice de severidade (S) pondera a ocorrência de um acidente de acordo com sua gravidade, conforme a equação (11) (FERRAZ et al., 2012):

$$S = 1 \times D + P_V \times V + P_F \times F \quad (11)$$

em que D, V e F são, respectivamente, o número de acidentes com apenas danos materiais, o número de acidentes com vítimas não fatais e o número de acidentes com vítimas fatais. P_V e

P_F são os pesos atribuídos aos acidentes com vítimas não fatais e vítimas fatais, respectivamente.

A gravidade dos acidentes e os custos relativos a cada variável compõem o custo dos acidentes (C), conforme a seguinte equação (12):

$$C = C_D \times D + C_V \times V + C_F \times F \quad (12)$$

em que: C_D , C_V e C_F são, respectivamente, o custo médio dos acidentes sem vítimas, o custo médio dos acidentes com vítimas não fatais e o custo médio dos com vítimas fatais. No Brasil, podem ser utilizados os custos unitários obtidos nos estudos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (valores atualizados para o ano de 2012):

Cidades: $C_D = R\$4.275,00$; $C_V = R\$22.882,00$ e $C_F = R\$188.902,00$

Rodovias: $C_D = R\$18.733,00$; $C_V = R\$95.705,00$ e $C_F = R\$465.377,00$

Os valores unitários dos custos associados aos diversos tipos de acidentes podem ser utilizados como referência na determinação dos pesos para o cálculo do índice de severidade. Para isso, basta proceder ao cálculo das relações entre os custos unitários relativos aos acidentes com vítimas não fatais e com vítimas fatais e referentes aos acidentes sem vítimas. Utilizando os valores dos custos unitários obtidos nos estudos do IPEA, têm-se (FERRAZ et al., 2012):

Para cidades: $P_V=5$; e $P_F=44$, ou seja, $S = 1 \times D + 5 \times V + 44 \times F$

Para rodovias: $P_V=5$; e $P_F=25$, ou seja, $S = 1 \times D + 5 \times V + 25 \times F$

O cálculo destes índices é pragmático, mas também arbitrário, pois não há base para definir os pesos empregados. De acordo com Brasil (1987), o peso para o acidente fatal deve ser de 13 e, nos casos em que acidentes com pedestres são relevantes, deve-se acrescentar na equação o peso igual a 6 e o tipo de vítima pedestre.

Para utilizar o índice de severidade no método, os custos unitários foram atualizados para o ano de 2015 (IPEA, 2015):

Rodovias: $C_D = R\$23.498,77$; $C_V = R\$96.747,79$ e $C_F = R\$664.821,46$.

Assim, a equação (11), do índice nas rodovias, resulta na equação (13) atualizada:

$$SA = 1 \times D + 4 \times V + 28 \times F \quad (13)$$

Em que, $P_V=4$; e $P_F=28$

O desafio, neste caso, foi determinar o valor do corte para o índice de severidade. Não há um número nacional oficial de corte. Numa pesquisa, foram encontradas apenas metas que concessionárias responsáveis pelas rodovias deveriam atingir e número médio anual de ocorrências. Os valores das metas foram solicitados, mas não foram disponibilizados até o término da pesquisa. A solução proposta consiste em modificar os pesos dos parâmetros do

índice e gerar mapas intermediários de estimativa de dados pela KI, até encontrar o resultado (visual) mais próximo da densidade de Kernel (mapa de referência).

A vantagem dessa solução para encontrar o valor de corte é particularizar o caso da rodovia e, além disso, proporcionar a comparação entre os valores de corte de cada uma, o que garante, indiretamente, viabilidade nacional para o método.

Quando não houver mais diferenças significativas entre a densidade de Kernel e a krigagem indicatriz intermediária, a última krigagem é denominada Krigagem Proposta (KP). Então, os pesos dos parâmetros da Krigagem Proposta passam a compor o Índice de Severidade Proposta (ISP) para a rodovia.

Entre a equação do SA e a nova equação, proposta (SP), foram realizados, em média nove testes empíricos de mudança de peso e limiar, para cada rodovia. A equação de ISP é a equação (14):

$$ISP = 2 \times D + 7 \times V + 6 \times F \quad (14)$$

Em que: D, V e F, são respectivamente, o número de acidentes com apenas danos materiais, com vítimas graves e com vítimas fatais.

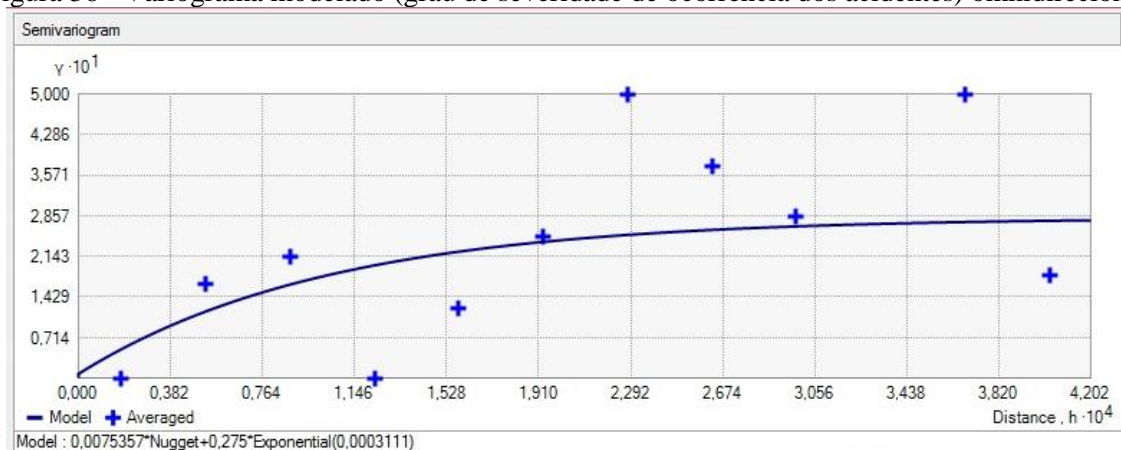
Com isso, os valores de corte (em acidentes) para cada equação de ISP das rodovias foram encontrados, os quais são: limiar SP-270= 30; limiar SP-425= 12; limiar SP-294=8; limiar SP-613=4. Deve ficar claro que esses limiares são em função do número e severidade de acidentes para cada trecho das rodovias no ano de 2014.

Portanto, como cada ponto da região de probabilidade por krigagem indicatriz recebe um valor do respectivo ISP, os locais que apresentarem pontuação maior que os limiares passam a serem interpretados como áreas de maior probabilidade de ocorrência de acidentes, e por consequência, segmentos de trechos críticos.

Após a visualização espacial e modificações nos pesos dos parâmetros do índice (SA), concluiu-se que a variável grau de severidade de ocorrência dos acidentes não possuía uma direção principal de variabilidade. Por isso, optou-se por modelar a variável com o ângulo máximo de abertura (90°-variograma omnidirecional).

A modelagem é um processo que envolve várias tentativas e no qual a experiência pesa muito. Ela é necessária para ajustar uma função matemática que descreva continuamente a variabilidade ou correlação espacial existente nos dados (YAMAMOTO e LANDIM, 2013). No total foram gerados quatro variogramas para a amostragem das variáveis. A SP-613 apresentou, no geral, os melhores resultados (valor de coeficiente de determinação- R^2 e a menor Soma de Quadrados dos Resíduos (SQR)). O variograma ajustado da SP-613 está ilustrado na Figura 36.

Figura 36 - Variograma modelado (grau de severidade de ocorrência dos acidentes) omnidirecional.



Fonte: O autor.

Na modelagem do variograma, os seguintes parâmetros foram determinados: modelo teórico de ajuste do variograma, *Lag*, efeito pepita (C_0), variância espacial (C), patamar ($C+C_0$), amplitude (a).

- Modelo teórico de ajuste: Exponencial
- Equação: $\gamma(h) = 0,0075 + 0,275 \left[1 - e^{-\frac{h}{0,000305}} \right] = 0,2825 \left[1 - e^{-\frac{h}{0,000305}} \right]$
- Número de *Lag*: 12
- Efeito pepita (C_0): 0,0075
- Patamar: 2,825 ($sill+nugget= 0,0075+0,275$)
- Amplitude: 305 m e o *range* 0,000305

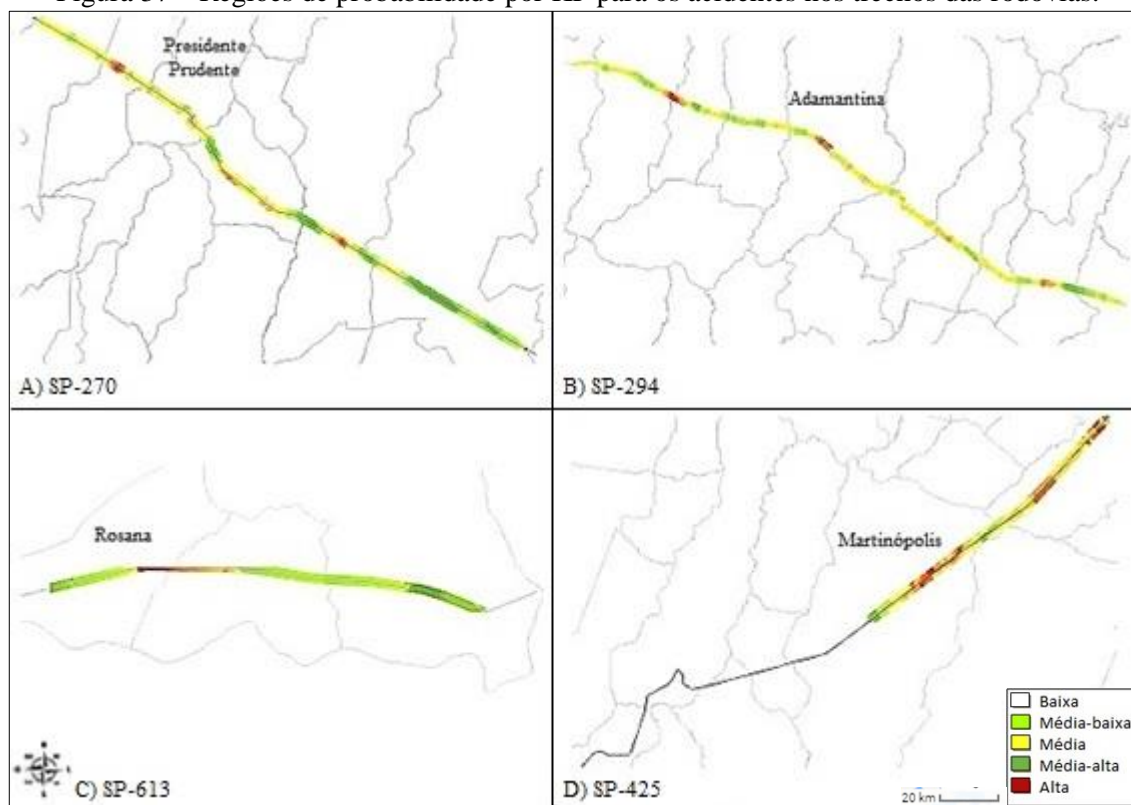
Pode-se ainda, determinar o grau de aleatoriedade (E) presente no conjunto de dados (BRASIL, 1988):

$$E = \frac{C_0}{C} = \frac{0,0075}{0,275} = 0,27$$

De acordo com Brasil (1988), o grau de aleatoriedade $0,15 \leq E \leq 0,30$ tem uma componente aleatória *significativa*. Assim, há correlação entre os valores dos dados e a análise variográfica pode ser aplicada como método de interpolação.

Com os modelos de variograma ajustados para cada rodovia, os as regiões de probabilidade por KP foram gerados (Figura 37).

Figura 37 – Regiões de probabilidade por KP para os acidentes nos trechos das rodovias.



Fonte: O autor.

Ao analisar regiões de probabilidade, observa-se uma distribuição regular das áreas de maior probabilidade de resposta ao atributo, sendo as de alta concentração nos municípios de Rancharia e Álvares Machado (SP-270), Flórida Paulista, Adamantina e Junqueirópolis (SP-294), Teodoro Sampaio e Rosana (SP-613) e Martinópolis e Parapuã (SP-425). Percebeu-se que mesmo utilizando os mapas de kernel como referência, os resultados de duas rodovias foram diferentes.

Com a análise da KP (SP-270) a alta concentração não foi mais identificada no Município de Presidente Prudente e o município de Rancharia se destacou. No caso da KP (SP-294) um terceiro município, Junqueirópolis apareceu com alta concentração de acidentes. Portanto, é possível definir as regiões de excesso de ocorrência e concluir que o método de krigagem indicatriz pode ser utilizado como ferramenta para mapear a probabilidade de resposta à severidade dos acidentes.

Para garantir que ele é realmente válido, propôs-se a análise nos erros dos valores preditos entre três modelos de krigagem indicatriz: KP, krigagem com índice de severidade atualizado (KA) e krigagem com índice de severidade de acidentes proposta por Nicholas e Lester (2009) (KN). A equação (15) proposta por Nicholas e Lester (2009) é:

$$SN = 1 \times D + 3 \times L + 4,5 \times G + 12 \times F \quad (15)$$

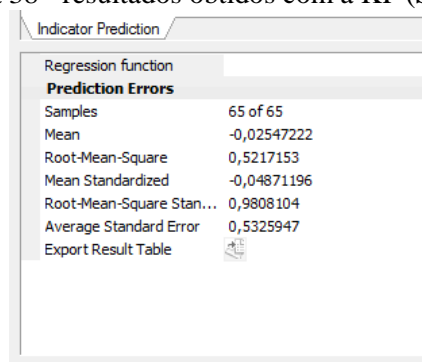
Em que: D, L, G e F, são respectivamente, o número de acidentes com apenas danos materiais, com vítimas leves, com vítimas graves e com vítimas fatais.


Como os índices SA e SN não tinham os limiares definidos, foram utilizadas as funções de “otimização” para gerar o modelo do variograma e as respectivas estimativas por krigagem.

O melhor modelo, dentre os três, deve ser aquele que apresentar um Erro Médio Padronizado (*Mean Standardized*) dos valores preditos próximo de “0”, um Erro Quadrático Médio (*Root-Mean-Square*) o mais baixo possível, um erro padrão médio (*Average Standard Error*) próximo do erro quadrático médio, e um erro quadrático médio padronizado (*Root-Mean-Square Standardized*) próximo de “1”. No caso dos demais interpoladores determinísticos, que somente fornecem o erro quadrático médio, este tem de ser o mais baixo possível. Este critério foi definido como de desempate entre os modelos, caso fosse necessário.

Segue um exemplo dos resultados obtidos para a SP-425 do modelo de KP com o índice de severidade proposto (ISP) (Figura 38).

Figura 38 - resultados obtidos com a KP (SP-425).



Indicator Prediction	
Regression function	
Prediction Errors	
Samples	65 of 65
Mean	-0,02547222
Root-Mean-Square	0,5217153
Mean Standardized	-0,04871196
Root-Mean-Square Stan...	0,9808104
Average Standard Error	0,5325947
Export Result Table	

Fonte: O autor.

A Tabela 1 traz os erros associados aos valores preditos dos três modelos de krigagem (KP, KA e KN).

Tabela 1 - Erros associados aos valores preditos dos modelos de krigagem indicatriz.

Erros	SP270			SP613			SP425			SP294		
	Sa	Sn	Sp	Sa	Sn	Sp	Sa	Sn	Sp	Sa	Sn	Sp
MS	-0,00067	-0,00055	-0,00920	-0,00814	-0,00802	-0,00802	-0,06310	0,01250	-0,04871	-0,12407	-0,00223	0,00825
RMS	0,15743	0,15744	0,14918	0,47716	0,48486	0,14918	0,98784	0,52402	0,52172	0,52904	0,54688	0,51712
ASE	0,14860	0,14840	0,13270	0,48373	0,49064	0,14570	0,49064	0,53551	0,53259	0,53750	0,54313	0,53753
RMS	0,98810	0,98910	1,11740	0,98592	0,98784	1,11740	0,98784	0,97986	0,98081	0,98350	1,00770	0,96342
Pontuação	0	3	1	0	1	4	0	1	3	1	2	1

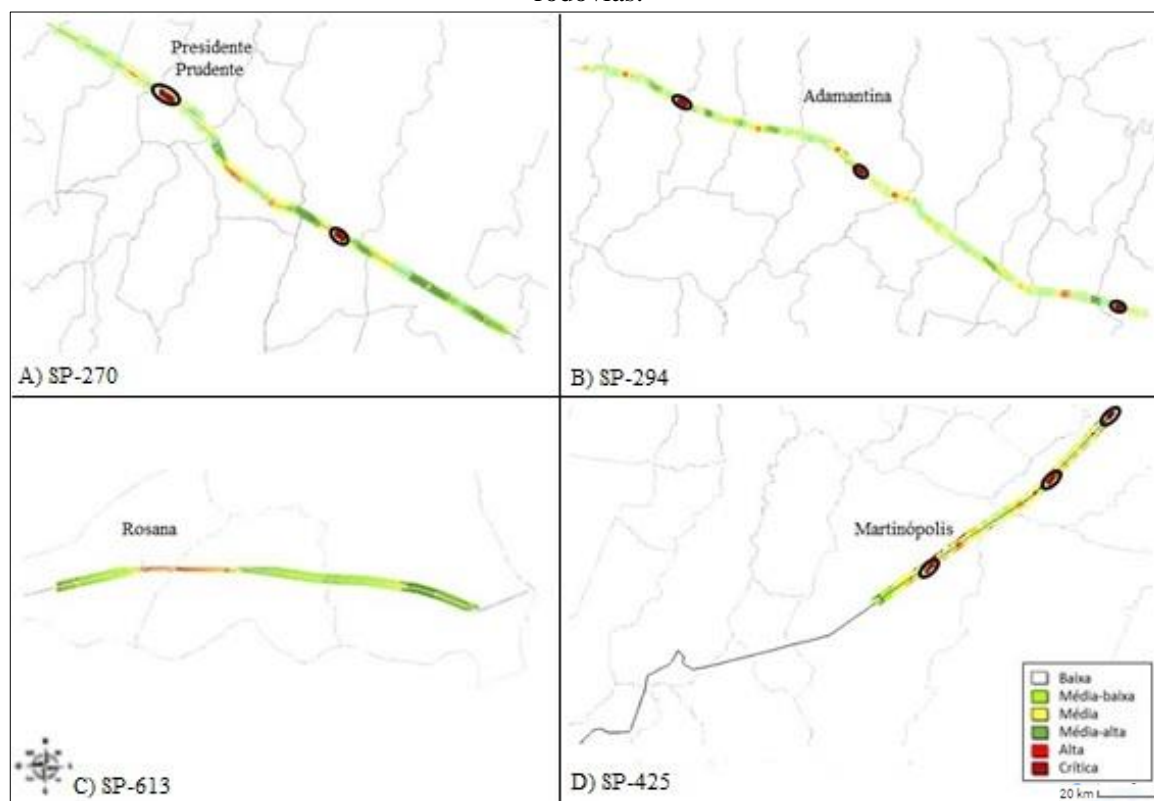
A última linha da tabela indica a pontuação de cada modelo. Os três modelos foram comparados em função de cada erro e aquele que obteve o melhor resultado (valores em negrito) recebeu um ponto. A pontuação final foi a soma desses pontos. Não houve empate e os resultados definiram os melhores modelos de krigagem indicatriz a serem adotados para cada rodovia. Foram eles: KN para as rodovias SP-270 e SP-294 e KP para as rodovias SP-613 e SP-425. Os resultados do modelo com o ISP para a rodovia SP-245 foram os melhores.

Definido e validado os modelos para cada rodovia, os respectivos mapas finais foram gerados.

Como resultados dessa etapa, além da fórmula do ISP, desenvolvida em função desse método, dos valores de corte, das densidades de Kernel por atributo e dos melhores modelos de krigagem por rodovia, os limites e extensão dos segmentos de trechos também puderam ser encontrados.

Para cada produto final gerado, foi adotada a classificação para a probabilidade de aglomeração em seis classes, nas cores branco (baixa aglomeração), verde (média-baixa), amarelo (média), laranja (média-alta), vermelho (alta) e vermelho escuro (crítico). No total, foram identificados oito segmentos de trechos críticos (Figura 39).

Figura 39 – Regiões de probabilidade por KI (modelo escolhido) para os acidentes nos trechos das rodovias.



Fonte: O autor.

Como foram encontrados os valores limites para cada rodovia, as regiões de interpolação pela krigagem indicatriz representam as probabilidades de se exceder o limite definido.

O trecho da SP-613 corresponde àquele com o menor número de acidentes e único que não apresentou nenhum segmento classificado como “crítico”. Concluiu-se que, apesar do número de acidentes nesse trecho deva ser minimizado daqui para frente ele não será o foco desta pesquisa.

Neste caso, fica a recomendação de aplicar a estratégia de um estudo de caso, uma vez que, ao considerar o fenômeno dentro de seu contexto de vida real, investiga-o em profundidade, o que permite um conhecimento amplo e detalhado sobre o mesmo (GOODE e HATT, 1979). Nele, fatores que escaparam ao controle rigoroso da pesquisa experimental podem ser considerados e analisados.

Feita essa consideração e com os trechos identificados e determinados, foi possível consultar a extensão e os quilômetros limítrofes de cada segmento de trecho (Quadro 5).

Quadro 5 - Segmentos de trechos críticos das rodovias em estudo.

Rodovia	Segmento de trecho	Limites (km inicial até km final)	Extensão (km)	Segmento em relação ao trecho (%)
SP-270	1	527 até 530	4	16,40
	2	569,3 até 579,2	10,9	
SP-294	3	585,5 até 587,7	3,2	9,31
	4	605,3 até 606,05	1,75	
	5	644,05 até 645,8	2,75	
SP-425	6	375,70 até 379,95	5,25	16,17
	7	387,9 até 391,7	4,8	
	8	415,0 até 419,7	5,7	

Da SP-270, os segmentos de trechos críticos somam 16,4% da extensão do trecho estudado. Da SP-294, a soma é de 9,31%. Na SP-425, os valores dos segmentos de trechos críticos somam 16,17% da extensão do trecho da rodovia. Reafirmando, novamente, a teoria apresentada por Picado (2005), onde os segmentos de trechos críticos das rodovias se concentram em 5% a 25% de toda a sua extensão.

5.4 Resultados e produto

Em resumo, os resultados que o método proporciona são:

1. Encontrar uma estimativa por KI (KP), cujo resultado seja similar ao de densidade Kernel.
2. Obter novos pesos para o índice de severidade da rodovia (ISP).
3. Uma nova equação para o índice (ISP).
4. Um limiar para o KP.
5. Da comparação entre KP, KA e KN, verifica-se o melhor modelo de KI para a rodovia.
6. Com base no modelo, determina-se o segmento de trecho crítico.

Com isso, gera-se o produto final do método, que é o perfil desse segmento de trecho identificado. Sobre o perfil dos segmentos de trechos críticos de cada rodovia, as características predominantes nos acidentes dos segmentos de trecho da SP-270 são: ocorrências nos meses de julho e dezembro a março (64,13%), pista simples (73%), sem a presença de chuva (95%) e durante o período do dia (57,5%).

Assim, pode-se afirmar que nos trechos críticos da SP-270 é maior a exposição ao risco, caso o usuário trafegue durante os meses de julho, dezembro a março, em pista simples e em condições de tempo limpo. Como a porcentagem de acidentes durante o período da noite

se aproxima de 50%, neste caso, não pode se afirmar que o período da noite é um fator de risco.

Para os segmentos de trechos críticos da SP-425, as ocorrências dos acidentes concentraram-se nos meses de julho, dezembro e janeiro (60%), todos em pista dupla, apesar dos segmentos de trecho alternar entre pistas simples e duplas, sem a presença de chuva (100%) e durante o período do dia (80%).

Fazendo a mesma analogia do trecho anterior, o condutor deve redobrar a atenção ao trafegar durante os meses de julho, dezembro e janeiro, em pista dupla em condições de tempo limpo e durante o dia.

Quanto aos acidentes dos segmentos de trechos críticos da SP-294, apenas 15,78% ocorreram em julho, dezembro e janeiro, 7,89% em pista simples, sem presença de chuva (86,84%) e durante o período do dia (52,64%).

Por fim, o perfil dos segmentos de trecho crítico da SP-294 revela que maior atenção deve ser dada nos meses de fevereiro a junho, agosto a novembro, em pista dupla e em condições de tempo limpo. Novamente, o período do dia não pode ser afirmado como fator de risco.

Apesar das particularidades de cada rodovia, sempre se deve chamar a atenção para os condutores que trafegarem em quaisquer dessas rodovias do oeste paulista, durante os meses de julho, dezembro e janeiro e em condições de tempo limpo.

5.5 Considerações sobre o método

O método proposto pode ser uma alternativa às abordagens tradicionais, tanto na modelagem não-espacial, especialmente para o caso de falta de dados de pesquisa, como em modelagem espacial, permitindo estimar valores.

Os mapas resultantes, obtidos da krigagem indicatriz permitiram determinar os segmentos de trecho onde existem tendências à ocorrência de acidentes severos, e em que direção elas diminuem, para cada rodovia. Em outras palavras, os resultados (mapas) gerados permitem determinar as incertezas e a influência de valores do atributo em locais não amostrados.

Por ser um método que utiliza variáveis naturais (diretamente coletadas), ele sofre a influência de diferentes erros provenientes desses dados. Além disso, os valores dos limiares desconhecidos foram desafios a serem contornados.

No entanto, apresenta-se como inovador. O método é reativo e oferece soluções para determinar os segmentos de trechos críticos com base em técnicas incomuns na análise de

determinação dos trechos. Os resultados mostram sucesso nessa combinação, que permitiu uma avaliação das particularidades espaciais dos trechos das rodovias, enfatizando a necessidade de um conjunto de dados espaciais. Ter um índice próprio para cada rodovia, poder determinar os trechos críticos e o perfil de cada uma. Isto é muito vantajoso. Principalmente no Brasil, em que muitas rodovias enfrentam diferentes realidades.

A ideia de determinar os segmentos de trechos críticos com base em dados de acidentes geocodificados, sem necessariamente fazer coletas de dados no campo, economizando tempo e gastos, também é uma vantagem do método. Além disso, o objetivo foi fazer valer-se dos métodos e tecnologias novas. Talvez, conhecer o estado do veículo envolvido no acidente, poderia gerar novos resultados. Fica aqui uma proposta para adicioná-lo ao banco de dados, além dos BO.

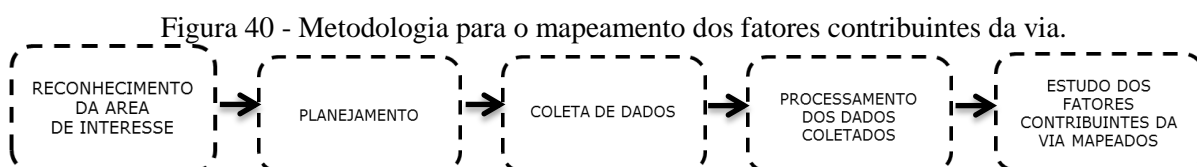
6. MAPEAMENTO DOS FATORES CONTRIBUINTES DOS ACIDENTES NOS TRECHOS CRÍTICOS

Este capítulo apresenta a contribuição das Ciências Cartográficas nos estudos sobre Segurança Viária.

Desta proposta metodológica, tem-se: a análise espacial pode revelar, com precisão, segmentos de trechos críticos. Em tese, tais trechos corresponderiam à falta de um, ou, mais fatores de segurança na rodovia, sugerindo que a rodovia, ou, um trecho dela, poderia realmente ser um fator contribuinte dos acidentes.

Os BO e o banco de dados da PMR-SP apresentam dados que correspondem às classes de fatores contribuintes: humano, veículo e ambiente enquanto da via, tem-se apenas a variável “estado geral”.

A carência de dados sobre a classe via chamou a atenção. Com isso, veio a ideia de realizar o mapeamento dos fatores contribuintes da via, nos segmentos de trechos críticos, e estudar o comportamento desses fatores, principalmente a relação entre a severidade de um acidente e os segmentos de trechos críticos. A metodologia proposta para a sequência de estudos é apresentada na Figura 40:



6.1 Reconhecimento da área de interesse

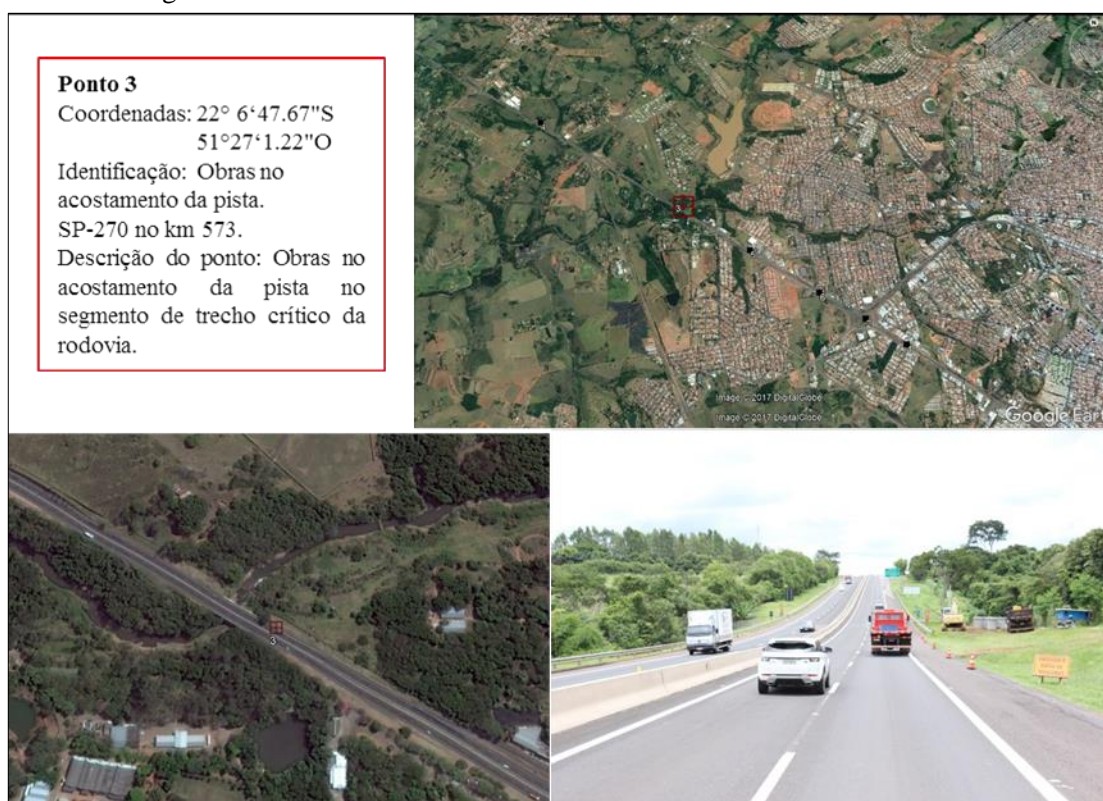
Ficou estabelecido que a área de interesse correspondesse aos oito segmentos de trechos críticos definidos no capítulo 5. Antes do levantamento dos dados, realizou-se o reconhecimento da área a ser mapeada. Até então, apenas o BO e o BD da PMR-SP haviam sido explorados na pesquisa. Assim, foram identificados os seguintes pontos:

- Postos de Polícia Militar Rodoviária,
- Serviços de Atendimento ao Usuário (SAU) da via,
- Postos de combustível em funcionamento,
- Praças de pedágio,
- Radares de fiscalização da velocidade dos veículos,
- Trechos em obras, e
- Passarelas para pedestres.

Todos esses dados foram organizados em forma de Memorial Descritivo de pontos notáveis. No memorial, encontram-se as informações de cada ponto, como identificação, localização e fotografia (do próprio mapeamento). A principal função do memorial é viabilizar o monitoramento da situação dos pontos notáveis nos segmentos de trechos críticos das rodovias e facilitar as atualizações acerca de futuras modificações.

Um exemplo de um ponto notável “Obras no acostamento” é ilustrado na Figura 41. O Memorial Descritivo pode ser consultado no APÊNDICE A.

Figura 41 - Ponto notável 3 coletado e descrito no Memorial Descritivo.



Fonte: O autor.

6.2 Planejamento

Nessa etapa, são descritos os métodos e equipamentos utilizados no mapeamento.

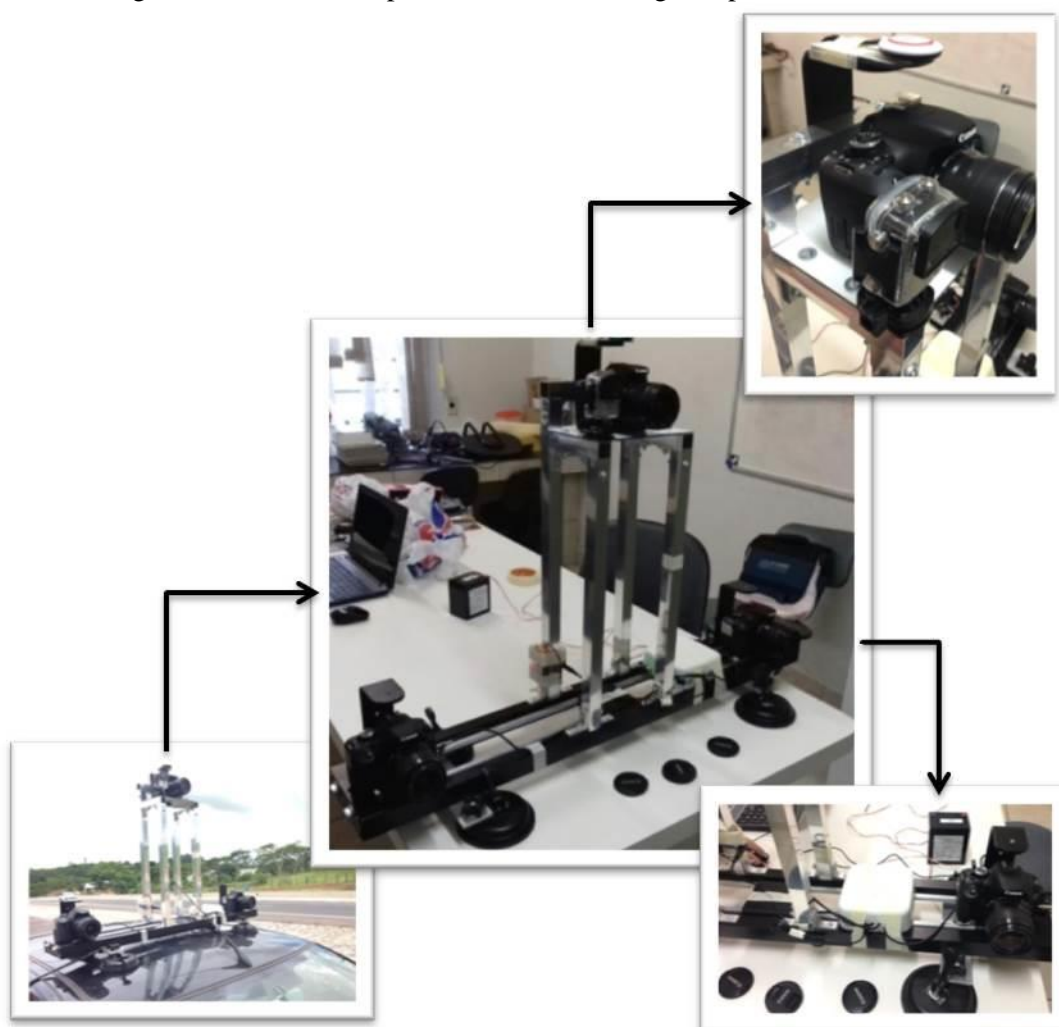
A plataforma móvel atualmente disponível na FCT/UNESP e utilizada nesta pesquisa contém dois segmentos, o fixo (LaMMov) e o móvel (correspondente à UMMD), com algumas particularidades que serão abordadas a seguir.

O mapeamento se faz com o trio de imagens digitais georreferenciadas. Os dados das imagens podem ser extraídos um a um, visual e manualmente, ou, também podem ser utilizadas técnicas de visão computacional, para automatizá-los. Essa pesquisa explora a aplicação deste sistema; por isso, a extração de pontos ocorre no pós-processamento de dados

e a automatização da extração de pontos característicos, cujas coordenadas serão correspondidas na imagem, é assunto para dar continuidade à pesquisa.

O sistema AIIG foi utilizado. A plataforma do sistema foi fixada no teto de um veículo. Detalhes do sistema são mostrados na Figura 42.

Figura 42 - Sistema acoplado no veículo e integrado para o levantamento.



Fonte: O autor.

Observa-se na Figura 42 que há três câmeras formando um arranjo triangular, além dos módulos constituídos dos sensores: GNSS/GPS (acima da câmera central), IMU/MEMS (na base, abaixo da câmera central) e o módulo controlador PCA (próximo à câmera da esquerda do ponto de vista frontal) com o módulo de relês. Essa PCA controladora, juntamente com os relês, é responsável por sincronizar os disparos das câmeras em uma distância determinada para cada ponto de captura (estimada por velocidade de deslocamento do veículo), e, também sincronizar as requisições dos dados das leituras dos sensores

GNSS/GPS e IMU/MEMS, bem como armazenar esses dados em um cartão SD Card (MASIERO, 2017).

Realizaram-se testes, nos dias anteriores, para evitar problemas durante a coleta. O planejamento levou em consideração a previsão do tempo e o horário a ser realizado o levantamento, para evitar a formação de sombra nos vídeos e imagens do mapeamento.

A coleta de dados foi planejada para ocorrer em dois dias. O primeiro dia destinou-se ao percurso dos segmentos de trechos da SP-270, rodovia mais próxima do ponto de saída para realizar o mapeamento (FCT-Unesp de Presidente Prudente-SP). No dia seguinte, dedicou-se ao mapeamento dos trechos das outras duas rodovias (SP-294 e SP-425).

6.3 Coleta de dados

No Quadro 6 têm-se os quilômetros inicial e final de cada segmento de trecho mapeado, a data e o horário da coleta.

Quadro 6 - Dados do mapeamento dos segmentos de trechos críticos rodoviários.

Trecho (SP)	17.01.2017			18.01.2017				
	1 (SP270)	2 (SP270)	3 (SP425)	4 (SP425)	5 (SP425)	6 (SP294)	7 (SP294)	8 (SP294)
Ida (km)	568 até 580	531 até 527	419 até 415	391 até 387	378 até 375	585 até 588	605 até 607	643 até 646
Início	13:25/13:40	14:42/14:45	10:17/10:24	10:52/10:55	11:14/11:17	12:01/12:06	12:28/12:32	13:13/13:16
Volta (km)	580 até 568	527 até 530	415 até 419	388 até 391	375 até 378	588 até 585	608 até 605	646 até 644
Término	13:56/14:12	14:49/14:51	10:25/10:27	10:56/10:59	11:19/11:22	12:07/12:10	12:33/12:35	13:17/13:18

O sistema AIIG foi utilizado para mapear o percurso. O veículo no qual o sistema foi acoplado trafegou numa velocidade média de 72 km/h, para registrar 1 imagem a cada 20 metros. Adotou-se a sistemática de acionar o sistema no quilômetro anterior ao inicial e desligar no quilômetro posterior ao final, em ambos os sentidos da rodovia.

Durante a coleta de dados, foram vivenciadas algumas das dificuldades relacionadas ao campo, conforme destacado por Nodari (2003):

- A existência de grande variação nas condições das características físicas da rodovia, as quais podem resultar em fatores contribuintes para os acidentes;
- A própria atividade impõe perigo;
- A carência de placas de identificação do quilômetro na rodovia.

Outras dificuldades listadas por Nodari (2003) puderam ser evitadas, em função do sistema de mapeamento escolhido e do planejamento para a coleta: “[...] as paradas sucessivas ao longo da rodovia em avaliação, para o registro das notas das características. Com frequência, os pontos onde foi necessário parar, não apresentaram boas condições”. E,

também: “A inserção da obrigatoriedade de inspeção em dias de chuva da formação de espelhos d’água [...]” (NODARI, 2003).

Sobre a primeira dificuldade, o sistema AIIG de mapeamento proporcionou o registro por imagem e vídeo de todo o segmento de trecho, sendo viável toda a análise das características, após a coleta de dados. Não houve a necessidade de parar em cada ponto. Esta é uma das principais vantagens desse método de mapeamento.

Sobre as condições de formação de espelho d’água, o levantamento foi realizado no dia seguinte de uma madrugada chuvosa. Por isso, foi possível registrar a formação de espelhos d’água.

A grande dificuldade evidenciada pelo sistema utilizado nesta pesquisa relaciona-se com a distância temporal entre os dados disponibilizados pela PMR-SP e a coleta em campo referentes aos anos de 2014 e 2017, respectivamente, uma vez que os dados da PMR-SP são disponibilizados apenas no final do ano corrente.

Por isso, desde 2014, as informações de obras e mudanças foram acompanhadas. Apenas o segmento de trecho 1 passou por mudanças, nesse período de três anos. Foram instaladas duas passarelas de pedestre, sendo uma no ano de 2014 e outra em 2016.

Para contornar esta situação, algumas alterações no método já podem ser apontadas:

- Atualizar, sempre que autorizado pela PMR-SP o banco de dados de acidentes.
- Propor inspeções de acompanhamento e monitoramento, na tentativa de diminuir o tempo entre a data das ocorrências e mudanças nas características da rodovia.

6.4 Processamento dos dados coletados

Da etapa anterior, foram obtidas as imagens - das câmeras esquerda, direita e central – e os vídeos. O mapeamento dos oito segmentos de trechos produziu um montante de 14.229 imagens e 10 vídeos. Na Tabela 2 tem-se o número de imagens por câmera e por segmento de trecho.

Tabela 2 - Número de imagens geradas pelo mapeamento por segmento de trecho crítico rodoviário.

Trecho N. imagens	1 (SP270)	2 (SP270)	3 (SP425)	4 (SP425)	5 (SP425)	6 (SP294)	7 (SP294)	8 (SP294)
Por câmera	1421	487	525	508	532	459	245	566
Total	4263	1461	1575	1524	1596	1377	735	1698

Os arquivos gerados pelo sistema AIIG são relatórios que contêm as coordenadas geodésicas (latitude e longitude) das imagens geradas, a data e o horário do levantamento, velocidade (km/h) do veículo e o número de satélites rastreados durante o mapeamento. Cada segmento de trecho tem seu relatório. A Figura 43 ilustra um trecho como exemplo.

Figura 43 - Trecho do relatório do arquivo gerado pelo sistema AIIG (SP-270).

Latitude	Longitude	Data	Hora	Altitude (metros)	Curso (graus)	Velocidade (km/h)	Satellites	Yaw	Pit	
-22.137342	-51.413631	17/1/2017	15:31:50	448.20	301.22	3.32	12	308.16	1.38	11.43
-22.137339	-51.413639	17/1/2017	15:31:51	448.20	298.33	4.15	12	308.77	2.83	10.77
-22.137331	-51.413654	17/1/2017	15:31:52	448.60	298.33	4.15	12	304.94	4.43	7.81
-22.137320	-51.413677	17/1/2017	15:31:53	448.60	297.22	10.22	12	306.33	2.32	4.47
-22.137306	-51.413704	17/1/2017	15:31:54	448.30	297.22	10.22	12	307.88	7.53	2.24
-22.137289	-51.413738	17/1/2017	15:31:55	448.20	299.49	16.02	12	306.57	7.53	4.95
-22.137266	-51.413780	17/1/2017	15:31:56	448.20	299.72	20.93	12	306.05	7.57	5.58
-22.137236	-51.413837	17/1/2017	15:31:57	448.00	299.72	20.93	12	309.32	0.13	3.75
-22.137201	-51.413898	17/1/2017	15:31:58	448.00	301.92	26.74	12	310.92	4.96	4.33
-22.137163	-51.413963	17/1/2017	15:31:59	447.40	301.92	26.74	12	309.81	5.08	3.54
-22.137119	-51.414040	17/1/2017	15:32:00	447.40	303.01	34.56	12	311.35	5.61	1.86
-22.137068	-51.414124	17/1/2017	15:32:01	447.40	303.19	37.95	12	313.47	359.96	1.62
-22.137014	-51.414207	17/1/2017	15:32:02	446.20	305.10	38.89	12	315.82	3.83	2.36
-22.136955	-51.414299	17/1/2017	15:32:03	446.20	306.48	41.36	12	313.66	3.80	3.08
-22.136890	-51.414394	17/1/2017	15:32:04	444.20	306.48	41.36	12	313.36	4.50	1.70
-22.136822	-51.414501	17/1/2017	15:32:05	444.20	305.43	48.95	12	314.28	3.24	4.07
-22.136749	-51.414612	17/1/2017	15:32:06	444.20	305.22	51.80	12	313.54	2.97	2.15
-22.136673	-51.414730	17/1/2017	15:32:07	442.80	305.17	53.86	12	313.86	0.83	3.58
-22.136593	-51.414852	17/1/2017	15:32:08	442.80	305.32	55.60	12	316.10	2.32	4.97
-22.136511	-51.414978	17/1/2017	15:32:09	442.00	305.32	55.60	12	313.62	1.87	4.27
-22.136425	-51.415108	17/1/2017	15:32:10	442.00	304.94	59.32	12	314.74	0.51	5.62
-22.136339	-51.415237	17/1/2017	15:32:11	442.00	304.75	60.80	12	315.25	1.30	1.49
-22.136251	-51.415375	17/1/2017	15:32:12	441.30	305.26	62.12	12	315.59	0.74	2.30
-22.136162	-51.415516	17/1/2017	15:32:13	441.30	305.28	63.17	12	316.89	2.09	2.56
-22.136068	-51.415657	17/1/2017	15:32:14	440.50	305.28	63.17	12	317.49	1.33	3.87
-22.135975	-51.415798	17/1/2017	15:32:15	440.50	305.37	65.25	12	315.92	0.90	4.40
-22.135880	-51.415943	17/1/2017	15:32:16	440.50	305.34	66.13	12	315.74	0.82	3.76
-22.135782	-51.416092	17/1/2017	15:32:17	440.10	305.41	67.04	12	314.80	2.37	3.53
-22.135683	-51.416241	17/1/2017	15:32:18	440.10	305.28	68.34	12	315.97	3.14	3.90
-22.135582	-51.416393	17/1/2017	15:32:19	439.90	305.28	68.34	12	315.78	358.94	3.90
-22.135483	-51.416546	17/1/2017	15:32:20	439.90	305.32	69.41	12	317.03	358.68	3.14
-22.135382	-51.416698	17/1/2017	15:32:21	439.90	305.45	69.80	12	317.20	1.66	1.60
-22.135279	-51.416855	17/1/2017	15:32:22	438.90	305.46	70.89	12	315.84	356.10	5.35
-22.135178	-51.417007	17/1/2017	15:32:23	438.90	305.18	69.71	12	318.47	357.34	4.20

Fonte: O autor.

Com todos os dados do mapeamento coletados e organizados, passou-se para a identificação das características físicas da rodovia. Nessa etapa, cada tríade de imagens foi observada e as características foram anotadas em uma lista (Lista 1). Concomitantemente, a mesma característica era anotada no relatório do levantamento, na nova coluna “*característica identificada*”, para posterior geocodificação. Segue um exemplo da tríade de imagens do segmento de trecho 7 que contem a característica “trecho sem acostamento” na rodovia SP-294 (Figura 44) e das anotações no relatório do levantamento (Figura 45).

Figura 44 - Tríade de imagens geradas pelo sistema: câmera central (acima), esquerda e direita. Segmento de trecho 7 “sem acostamento” em destaque.



Fonte: O autor.

Figura 45 - Trecho do relatório (SP-294). Destaque para a coluna "característica identificada".

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda								Característica identificada
ude (metros),	Curso (graus),	Velocidade (km/h),	Satellites,	Yaw,	Pitch,	Roll,						
31:37,	446.40,	0.00,	0.02,	12,	314.01,	358.05,	13.24					Trecho sem acostamento
31:38,	446.40,	170117.00,	0.04,	12,	313.57,	358.07,	13.73					Trecho sem acostamento
31:39,	446.80,	170117.00,	0.04,	12,	313.66,	357.61,	13.36					Trecho sem acostamento
31:40,	447.00,	170117.00,	0.02,	12,	315.47,	358.95,	14.82					Trecho sem acostamento
31:41,	447.00,	170117.00,	0.06,	12,	314.44,	358.20,	13.10					Trecho sem acostamento
31:42,	447.40,	170117.00,	0.06,	12,	313.08,	357.88,	13.86					
31:43,	447.40,	170117.00,	0.06,	12,	313.59,	358.28,	13.46					Sinalização vertical mal conservada
31:44,	447.80,	170117.00,	0.06,	12,	313.80,	357.87,	13.18					
31:45,	447.90,	170117.00,	0.04,	12,	313.34,	358.23,	14.53					
31:46,	447.90,	170117.00,	0.02,	12,	314.77,	358.64,	13.38					Asfalto da pista desgastado
31:47,	448.10,	170117.00,	0.02,	12,	313.44,	358.09,	13.44					
31:48,	448.10,	170117.00,	0.37,	12,	312.56,	0.30,	13.60					

Fonte: O autor.

Para elaborar a Lista 1 (Quadro 7), tomaram-se como referência as 297 características propostas por Nodari (2003). Do total, foram identificadas 75 características.

Quadro 7 - Características físicas dos segmentos de trechos críticos rodoviários mapeados.

ID	Característica		
		38	Quantidade adequada de placas de sinalização
1	Asfalto da pista desgastado	39	Uso de painéis de mensagem variável
2	Acostamento não pavimentado	40	Uso de balizadores
3	Placas verticais diversas	41	Legibilidade e conspicuidade da sinalização vertical
4	Borracha na pista	42	Travessias para pedestres
5	Mato no acostamento	43	Entrada/saída de veículos longos
6	Buraco na pista	44	Resistência à derrapagem
7	Entrada e saída da rodovia	45	Acessos a propriedade e comércio lindeiro
8	Transição entre ambientes rural/urbano	46	Pedestre na pista
9	Cones no acostamento	47	Formação de espelhos d'água
10	Pintura da pista desgastada	48	Sinalização horizontal desgastada
11	Sem pintura na pista	49	Presença de elementos perigosos na lateral da via
12	Trânsito de veículos longos	50	Entrada e saída de máquinas
13	Veg. no acostamento cobrindo placa de sinalização vertical	51	Iluminação artificial nas interseções
14	Sem acostamento	52	Buraco no acostamento
15	Objeto no acostamento	53	Tráfego de ciclistas/pedestres
16	Placas verticais de sinalização	54	Passagem de animais
17	Desnível entre pistas	55	Formação de espelhos d'água no acostamento
18	Sem pintura entre pista e acostamento	56	Oleo na pista
19	Ponto de ônibus	57	Desnível entre pista e acostamento
20	Placa de sinalização vertical: proibida ultrapassagem	58	Máquinas no acostamento
21	Cone no acostamento	59	Sem sinalização para entrada e saída da rodovia
22	Asfalto do acostamento desgastado	60	Objeto no acostamento
23	Pintura entre pista e acostamento desgastada	61	Areia na pista
24	Areia no acostamento	62	Terra na pista
25	Desnível entre pista e acostamento	63	Piche no acostamento
26	Placas diversas de sinalização	64	Vegetação na estrada
27	Placa vertical mal conservada	65	Sinalização faixa adicional
28	Saída da rodovia	66	Vegetação no acostamento
29	Entrada na rodovia	67	Borracha no acostamento
30	Placa vertical de proibida conversão à esquerda	68	Ponte
31	Passagem em nível	69	Sinalização horizontal de passagem desgastada
32	Entrada e saída de veículos longos	70	Sinalização horizontal desgastada
33	Terra no acostamento	71	Barreira de proteção no acostamento
34	Asfalto afundado	72	Viatura de polícia
35	Asfalto entre pista e acostamento desgastados	73	Placa de sinalização vertical encoberta pela vegetação
36	Pista desgastada	74	Marcas de feio na pista
37	Objeto estranho na pista	75	Pedras no acostamento

Feito isso, uma segunda lista, foi tomada como referência: a lista com 12 fatores contribuintes da via para acidentes proposta por Chagas (2011). Com ela em mãos, cada uma das características levantadas foi associada ao respectivo fator contribuinte. Novos fatores contribuintes foram propostos, por exemplo, acesso ao transporte público cuja característica física é ponto de ônibus. Alguns não foram utilizados, por exemplo, vegetação cobrindo sinalização horizontal e tráfego de animais na pista, e no total, 30 foram considerados (Figura 46).

**CARACTERÍSTICA FÍSICA DA
RODOVIA IDENTIFICADA**

ID	Característica	ID	Quantidade adequada de placas de sinalização
1	Asfalto da pista desgastado	38	Quantidade adequada de placas de sinalização
2	Acostamento não pavimentado	39	Uso de painéis de mensagem variável
3	Placas verticais diversas	40	Uso de balizadores
4	Borracha na pista	41	Legibilidade e conspicuidade da sinalização vertical
5	Mato no acostamento	42	Travessias para pedestres
6	Buraco na pista	43	Entrada/saída de veículos longos
7	Entrada e saída da rodovia	44	Resistência à derrapagem
8	Transição entre ambientes rural/urbano	45	Acesso a propriedade e comércio lndeiro
9	Cones no acostamento	46	Pedestre na pista
10	Pintura da pista desgastada	47	Formação de espelhos d'água
11	Sem pintura na pista	48	Sinalização horizontal desgastada
12	Tráfego de veículos longos	49	Presença de elementos perigosos na lateral da via
13	Vag. no acostamento cobrindo placa de sinalização v.	50	Entrada e saída de máquinas
14	Sem acostamento	51	Iluminação artificial nas interseções
15	Objeto no acostamento	52	Buraco no acostamento
16	Placas verticais de sinalização	53	Tráfego de ciclistas/pedestres
17	Desnível entre pistas	54	Passagem de animais
18	Sem pintura entre pista e acostamento	55	Formação de espelhos d'água no acostamento
19	Ponto de ônibus	56	Óleo na pista
20	Placa de sinalização vertical: proibida ultrapassagem	57	Desnível entre pista e acostamento
21	Cone no acostamento	58	Máquinas no acostamento
22	Asfalto do acostamento desgastado	59	Sem sinalização para entrada e saída da rodovia
23	Pintura entre pista e acostamento desgastada	60	Objeto no acostamento
24	Área no acostamento	61	Área na pista
25	Desnível entre pista e acostamento	62	Terra na pista
26	Placas diversas de sinalização	63	Piche no acostamento
27	Placa vertical mal conservada	64	Vegetação na estrada
28	Saída da rodovia	65	Sinalização faixa adicional
29	Entrada na rodovia	66	Vegetação no acostamento
30	Placa vertical de proibida conversão à esquerda	67	Borracha no acostamento
31	Passagem em nível	68	Ponte
32	Entrada e saída de veículos longos	69	Sinalização horizontal de passagem desgastada
33	Terra no acostamento	70	Sinalização horizontal desgastada
34	Asfalto afundado	71	Barreira de proteção no acostamento
35	Asfalto entre pista e acostamento desgastados	72	Viatura de polícia
36	Pista desgastada	73	Placa de sinalização vertical em obra pela veget
37	Objeto estranho na pista	74	Markas de feio na pista
		75	Pedras no acostamento

**FATOR CONTRIBUINTE
(CHAGAS, 2011)**

1	Desvio temporário
2	Marcação inadequada ou apagada
3	Obras na via ou fora da via
4	Sinalização com defeito ou faltando
5	Superfície da via desgastada, escorregadia
6	Via molhada ou alagada
7	Redutor de velocidade
8	Acostamento em desnível ou faltando
9	Traçado da via
10	Animal ou objeto na via
11	Areia, barro, sujeira, cascalho
12	Óleo na pista

**FATOR CONTRIBUINTE
(Adaptado de CHAGAS, 2011)**

ID	Fator contribuinte
1	Vegetação na rodovia
2	Vegetação cobrindo sinalização vertical da rodovia
3	Vegetação cobrindo sinalização horizontal da rodovia
4	Uso de painéis/placas de mensagem variável
5	Marcações e pintura da rodovia desgastada
6	Marcações e pintura da rodovia apagada
7	Sinalização vertical mal conservada
8	Sinalização horizontal mal conservada
9	Iluminação artificial nas interseções
10	Desvio temporário
11	Sinalização de obras na rodovia ou fora da rodovia
12	Barreira de proteção no acostamento
13	Pavimento da rodovia desgastado e em desnível
14	Acostamento não pavimentado
15	Sem acostamento
16	Pavimento da rodovia com buracos
17	Resistência à deppapagem
18	Pavimento com formação de espelhos d'água
19	Acesso à rodovia/transição entre ambientes rural/urbano
20	Transição de veículos longos
21	Passagem/Cruzamento em nível
22	Falta de sinalização de acesso à rodovia
23	Acesso à propriedades e comércio lndeiro
24	Tráfego de ciclistas e pedestres
25	Tráfego/Passagem de animais
26	Ponte
27	Ponto de ônibus
28	Areia, terra, borracha, pedras na rodovia
29	Óleo na rodovia
30	Obras no acostamento da rodovia

Fonte: contribuintes propostos por Chagas (2011) e adaptados do mapeamento.

1 - Associação
2 - Proposta

Figura 46 - Correspondência entre os fatores contribuintes.

Os 30 fatores propostos foram agrupados em cinco classes: vegetação, sinalização, pavimentação, acesso e objetos na pista, o que originou a Lista 2 (Quadro 8).

Acredita-se que a Lista 2 represente um universo de possíveis fatores contribuintes de acidentes nos segmentos de trechos críticos rodoviários e, por isso, propõe-se que ela seja um modelo de coleta de fatores contribuintes da rodovia para o auxílio no momento do acidente.

Quadro 8 - Fatores contribuintes da rodovia para os acidentes nos segmentos de trechos críticos.

ID	Fator contribuinte	Classe de fator contribuinte
1	Vegetação na rodovia	Vegetação
2	Vegetação cobrindo sinalização vertical da rodovia	
3	Vegetação cobrindo sinalização horizontal da rodovia	
4	Uso de painéis/placas de mensagem variável	Sinalização
5	Marcações e pintura da rodovia desgastada	
6	Marcações e pintura da rodovia apagada	
7	Sinalização vertical mal conservada	
8	Sinalização horizontal mal conservada	
9	Iluminação artificial nas interseções	
10	Desvio temporário	
11	Sinalização de obras na rodovia ou fora da rodovia	
12	Barreira de proteção no acostamento	
13	Pavimento da rodovia desgastado e em desnível	Pavimentação
14	Acostamento não pavimentado	
15	Sem acostamento	
16	Pavimento da rodovia com buracos	
17	Resistência à derrapagem	
18	Pavimento com formação de espelhos d'água	
19	Acesso à rodovia/transição entre ambientes rural/urbano	Acesso
20	Transição de veículos longos	
21	Passagem/Cruzamento em nível	
22	Falta de sinalização de acesso à rodovia	
23	Acesso à propriedades e comércio lindeiro	
24	Tráfego de ciclistas e pedestres	
25	Tráfego/Passagem de animais	
26	Ponte	Objetos na pista
27	Ponto de ônibus	
28	Areia, terra, borracha, pedras na rodovia	
29	Óleo na rodovia	
30	Obras no acostamento da rodovia	

Para finalizar o processamento dos dados, os fatores contribuintes foram geocodificados juntamente com os acidentes, nos respectivos segmentos de trechos críticos.

Mesmo que o sistema viário seja complexo, dinâmico, que o tempo entre as ocorrências e o mapeamento dos fatores contribuintes fosse de três anos e que esse fosse, sem dúvidas, o problema a ser contornado durante a pesquisa (acompanhando ano a ano as possíveis mudanças), a geolocalização dos fatores contribuintes foi essencial.

Sem a espacialização não seria possível confirmar a presença dos fatores contribuintes da via nos segmentos de trechos críticos.

Em outras palavras, a espacialização dos dados fundamentou a resposta das seguintes perguntas envolvidas na hipótese da tese:

1. Qual é a relação entre os fatores contribuintes da via e o grau de severidade de um acidente ocorrido no segmento de trecho crítico?
2. Qual é o impacto de cada fator contribuinte (humano, veículo, via, ambiente) no grau de severidade de um acidente que tenha ocorrido no segmento de trecho crítico?

A construção da resposta para a primeira pergunta será descrita na seção 6.5. A resposta da segunda pergunta será abordada no Capítulo 7.

Mas, antes, são apresentadas as considerações sobre o mapeamento dos fatores contribuintes, as quais seguem. De início, foi apresentado o sistema AIIG, sistema de baixo custo e que integra geotecnologia nas aplicações. A contribuição da aplicação, para esta pesquisa, foi a possibilidade de mapear os fatores contribuintes da rodovia, organizá-los e apresentá-los na forma de um modelo de coleta de fatores contribuintes nos segmentos de trechos críticos de uma rodovia.

Os resultados demonstram que o tempo de coleta de dados com o AIIG é uma vantagem, se comparado com outros métodos, por exemplo, o proposto por Nodari (2003) que demandou mais tempo em campo. Além disso, as imagens e vídeos confirmam a viabilidade do monitoramento e atualização do mapeamento. Ambos, também, contribuem para complementar e dar veracidade às informações coletadas e, posteriormente divulgadas, tanto no meio acadêmico, como para a população que faz uso das rodovias. Os relatórios dos dados são registros que podem ser utilizados por estudos em diferentes pesquisas, posteriormente.

Portanto, as contribuições sociais do sistema são intrínsecas à sua aplicação, na medida em que a população, conhecendo as características da rodovia, e possíveis riscos que pode vir a se expor, passe por uma conscientização e trafegue com mais responsabilidade. Claro está que todo esse empenho deve somar esforços com órgãos oficiais responsáveis.

Mesmo assim, a segurança viária é um tema muito delicado de ser pesquisado e tem suas complexidades. Principalmente, por ser um sistema de ocorrências dinâmicas e multidisciplinar. A natureza dos dados exige um sistema de monitoramento dinâmico e um interesse por parte dos responsáveis (principalmente o custo envolvido nos acidentes), demandando melhorias nos aspectos de implementação e disponibilização de dados.

Contudo, o mapeamento dos fatores contribuintes da rodovia, nos segmentos de trechos críticos atendeu as expectativas dos princípios teóricos propostos e pôde ser avaliado e

pode ser aprimorado, proporcionando aos profissionais da área maiores conhecimentos sobre os fatores contribuintes de acidentes nos segmentos de trechos críticos. Estudos preliminares dessa linha de pesquisa foram desenvolvidos e serão abordados a seguir.

6.5 Estudo dos fatores contribuintes mapeados nas rodovias

Nesta primeira análise, os dados coletados foram interpretados com base na frequência de ocorrência do fator por rodovia. Para conhecer esse comportamento, a análise estatística descritiva dos fatores contribuintes foi realizada. Serão apresentadas, a seguir, as análises das rodovias SP-270, SP-425 e SP-294.

Para facilitar, os 30 fatores contribuintes do tipo “via” (Quadro 8) foram analisados em função das seguintes classes de fatores:

- Vegetação: fatores 1 ao 3
- Sinalização na rodovia: fatores 4 ao 12
- Pavimentação e acostamento: fatores 13 ao 18
- Acesso à rodovia: fatores 19 ao 26
- Objetos na pista: fatores 27 ao 30.

Os fatores 1 a 3 são referentes à vegetação. Nos segmentos de trechos críticos da SP-270, não foram identificados pontos de vegetação na rodovia, nem mesmo vegetação encobrendo sinalização horizontal e vertical.

Os fatores 4 a 12 referem-se à presença de sinalização na rodovia. Os fatores 4 e 11 foram identificados sete vezes, durante o percurso. O fator 4 (Figura 47a) é uso de painel/placas de mensagem variável e o fator 11 (Figura 47b) é sinalização de obras na rodovia.

Figura 47 - Fatores contribuintes da via: sinalização.



Fonte: O autor.

Os fatores 13 ao 18 referem-se à pavimentação e acostamento. Dos seis fatores, o fator 13 (Pavimento em desnível-Figura 48a), 16 (Presença de buraco na rodovia- Figura 48b) e 18 (Formação de espelhos d'água-Figura 48c) foram identificados, cada um, sete vezes nos trechos da SP-270. O fator 17 (Presença de resistência à derrapagem – Figura 48d) foi identificado duas vezes.

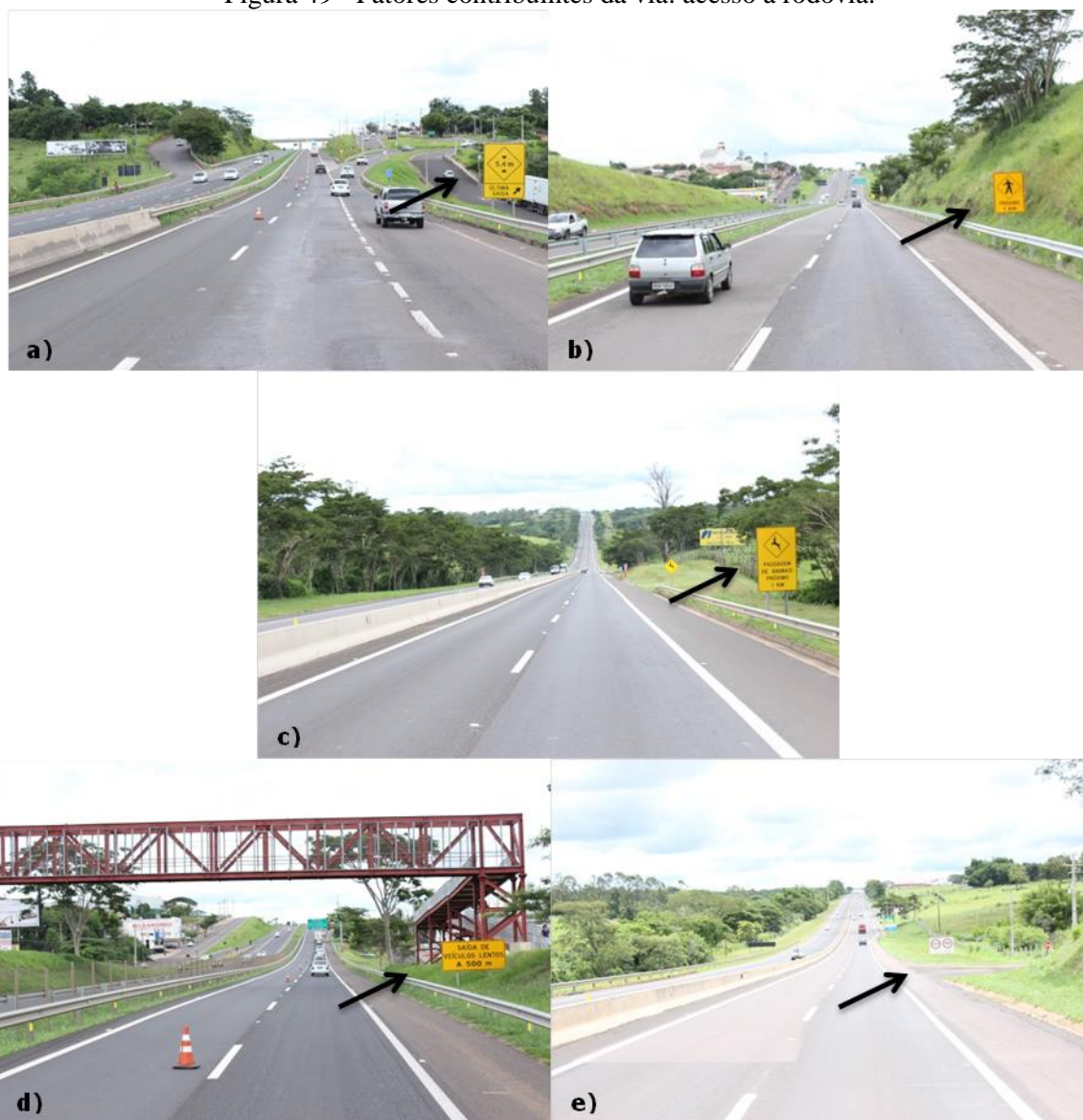
Figura 48 - Fatores contribuintes da via: pavimentação e acostamento.



Fonte: O autor.

Os fatores 19 a 26 são fatores que envolvem todo o acesso à rodovia (tanto dos veículos, como pedestres e ciclistas) e passagem, ou, cruzamento em nível. Os fatores 19 (Acesso à rodovia-Figura 49a), 24 (Tráfego de ciclistas e pedestres- Figura 49b) e 25 (Tráfego/passagem de animais-Figura 49c) apareceram sete vezes, cada um. Os fatores 20 (Transição de veículos lentos- Figura 49d) e 23 (Acesso às propriedades e comércio próximos- Figura 49e) somaram 5 aparições. O fator 22 (Falta de sinalização de acesso à rodovia) apareceu duas vezes.

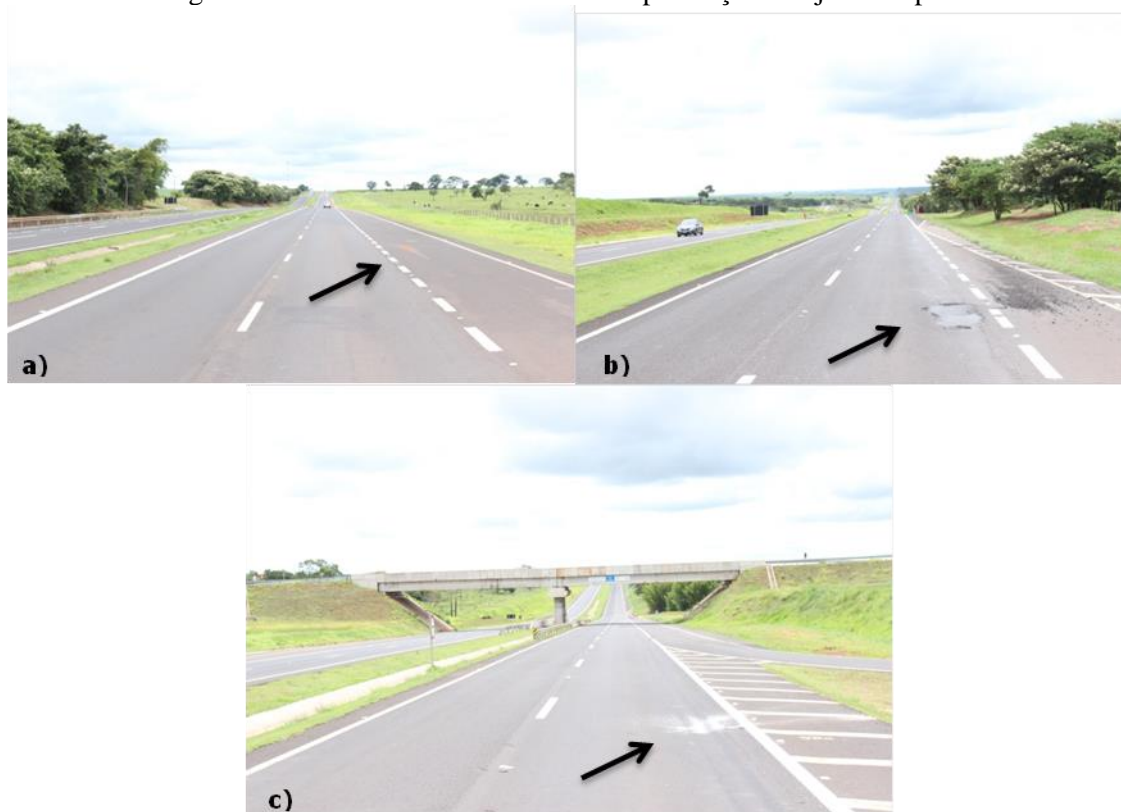
Figura 49 - Fatores contribuintes da via: acesso à rodovia.



Fonte: O autor.

Por fim, os fatores 27 a 30 referem-se à presença de objetos na pista. Foram identificados nove pontos com terra, borracha e pedras nem na pista (Fatores 28 e 29-Figuras 50a, 50b e 50c) e, por fim, sete pontos de obras.

Figura 50 - Fatores contribuintes da via: presença de objetos na pista.



Fonte: O autor.

Os demais fatores, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 10, 12, 14, 15, 21, 26 e 27 não foram identificados nos segmentos de trechos críticos da SP-270.

Trata-se de uma rodovia que não apresentou vegetação, nem placas de sinalização encobrindo a via. É bem sinalizada, com marcações e pintura conservadas, e acostamento em 100% dos segmentos mapeados. Também, não há registros de passagem/cruzamento em nível.

Ao mesmo tempo, apresenta falhas (buracos na pista) e objetos (terra, areia e pedras). Quanto aos buracos e objetos, fica inviável confirmar se é o mesmo buraco do momento do acidente, pois este dado não se encontra no banco de dados disponível e nem no BO, mas, com base na informação desta identificação, concluiu-se que é um local suscetível ao aparecimento de buracos e objetos na pista. Portanto, são informações valiosas de fatores contribuintes da rodovia. O óleo na pista (Fator 29) foi identificado e confirmado no BO. De fato já ocorreram acidentes com a presença desse fator. Assim como a informação de buracos na pista (Fator 16), não se pode afirmar que a mesma mancha mapeada foi fator contribuinte de um acidente, de dois anos atrás. Porém, ela traz, indiretamente, informações sobre os veículos que trafegam naquele segmento de trecho crítico.

Outra característica é o grande número de acessos aos dois segmentos de trecho críticos da rodovia, totalizando sete pontos, num total de 14,9 km de extensão. Destes, dois (presença do fator 22) não tinham sinalização vertical nem horizontal na rodovia.

Sobre a frequência dos fatores contribuintes mapeados nos três segmentos de trechos críticos da SP-425, foram identificados seis pontos de vegetação na rodovia, encobrendo a sinalização vertical (Fatores 1 e 2 – Figuras 51a e 51b).

Figura 51 - Fatores contribuintes da via: vegetação.

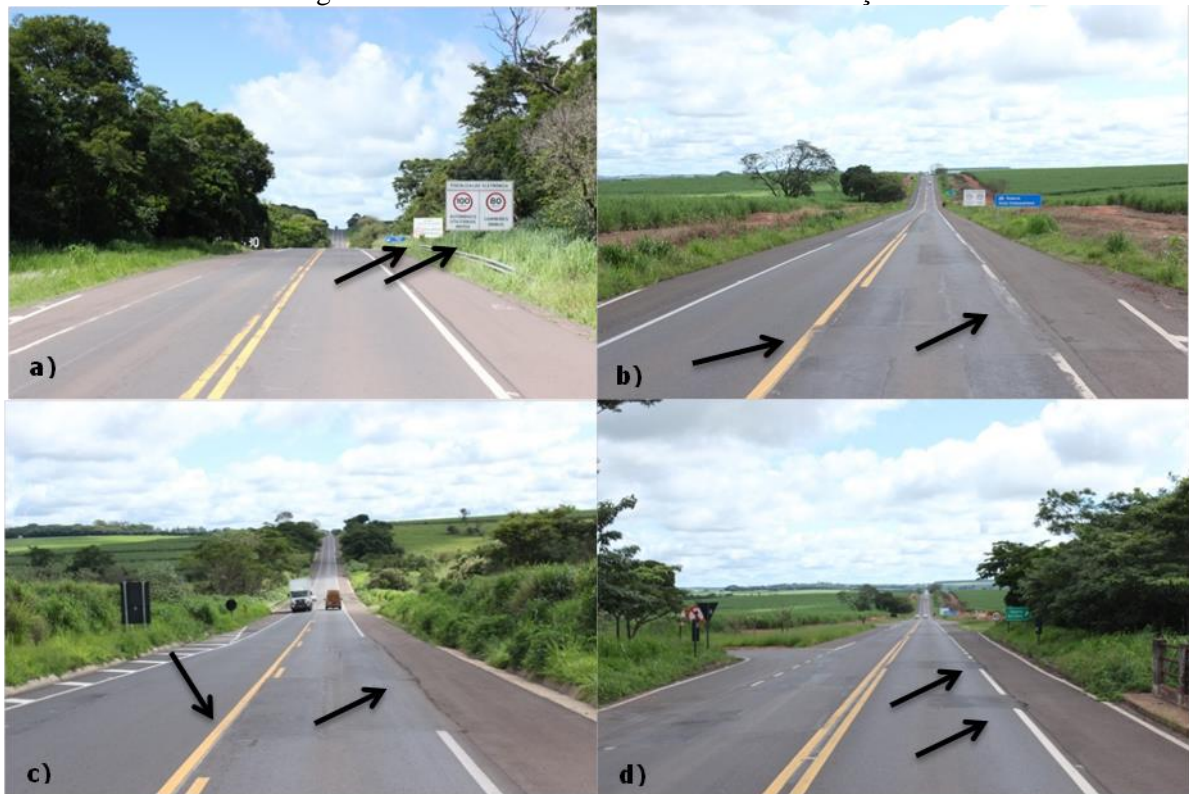


Fonte: O autor.

Os fatores 4 e 5 foram identificados durante o percurso. O fator 4 (Figura 52a) que apareceu três vezes é uso de painel/placas de mensagem variável. O fator 5 (Figura 52b) é a presença de desgaste da pintura na rodovia. E o fator 6 (Figura 52c) também apareceu e é a falta de pintura e pintura da rodovia apagada. O fator 8 (Figura 52d), sinalização horizontal mal conservada também foi mapeado duas vezes na rodovia.

Os fatores 13 (Figura 53a), 16 (Figura 53b) e 18 (Figura 53c) referem-se, respectivamente, ao desnível do pavimento da rodovia, buracos na pista e formação de espelho d'água. Eles apareceram três vezes, cada um, na rodovia.

Figura 52 - Fatores contribuintes da via: sinalização.



Fonte: O autor.

Figura 53 - Fatores contribuintes da via: pavimentação e acostamento.



Fonte: O autor.

Apenas dois dos fatores de acesso à rodovia foram identificados: o acesso à via (Fator 19 – Figura 54) e a falta de sinalização de acesso à via (Fator 22).

Figura 54 - Fatores contribuintes da via: acesso à rodovia.



Fonte: O autor.

Por fim, objetos encontrados na pista foram: terra, areia, borracha ou pedras (Fator 28 – Figura 55).

Figura 55 - Fatores contribuintes da via: presença de objetos na pista.



Fonte: O autor.

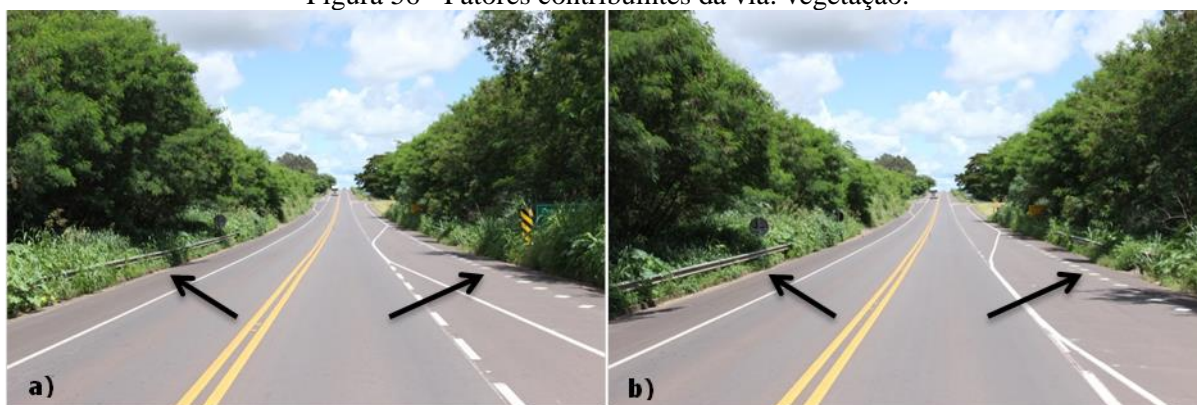
Os demais fatores 3, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 17, 20, 21, 23, 24, 25, 26 e 27 não foram identificados nos segmentos de trechos críticos da SP-425.

Conclui-se que é uma rodovia que apresenta vegetação no entorno da via, encobrindo, inclusive, a sinalização vertical. Diferente da SP-270, as sinalizações estavam desgastadas, apagadas e mal conservadas. Verificou-se, também, a falta de sinalização de acessos à rodovia. Foram identificados três pontos com pavimento em desnível, além de buracos e formação de espelhos d'água. Os trechos, também, apresentaram presença de objetos na pista e não há passagem/cruzamento em nível.

Para os segmentos de trechos críticos da SP-294, segue a análise da frequência dos fatores mapeados.

Os fatores 1 (Figuras 56a) e 2 (Figuras 56b) foram identificados durante os segmentos de trechos críticos da SP-294, confirmando a presença de vegetação ao longo da rodovia, encobrindo a sinalização vertical.

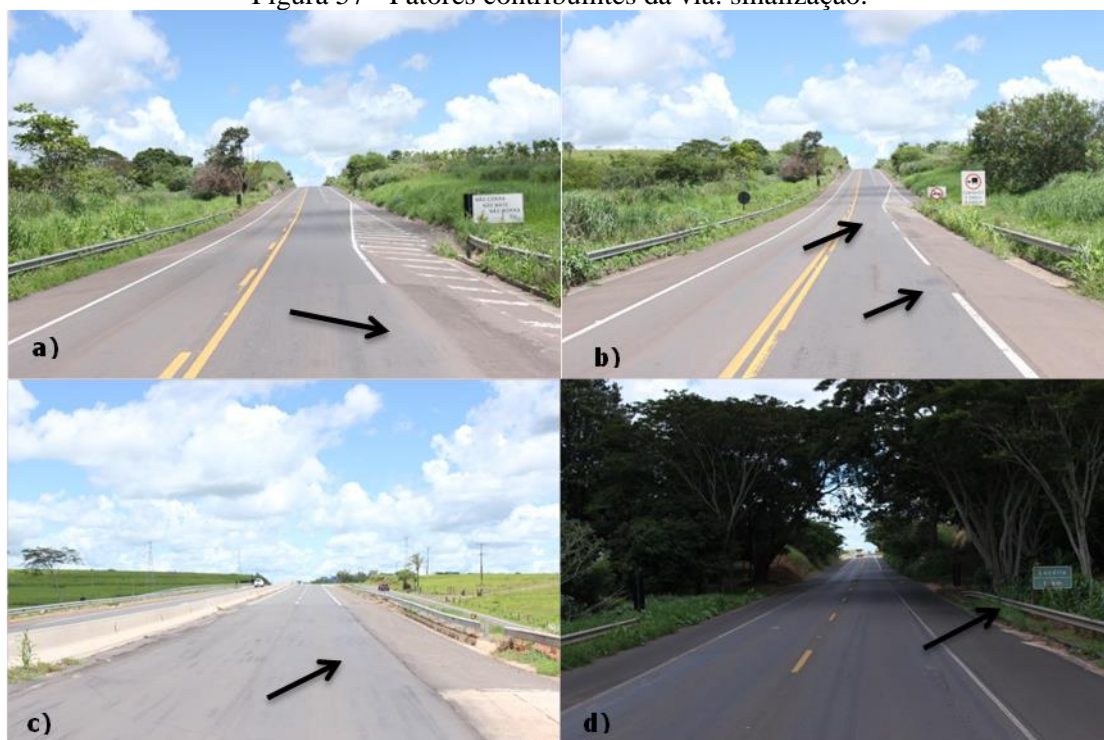
Figura 56 - Fatores contribuintes da via: vegetação.



Fonte: O autor.

Sobre a sinalização da rodovia, a presença dos fatores 4 (Figura 57a), 5 (Figuras 57b), 6 (Figuras 57c) e 7 (Figuras 57d) indicou uma rodovia sinalizada, porém mal conservada, com marcações e pinturas de sinalização desgastadas. Não foram identificadas obras nessa rodovia, nem desvios temporários.

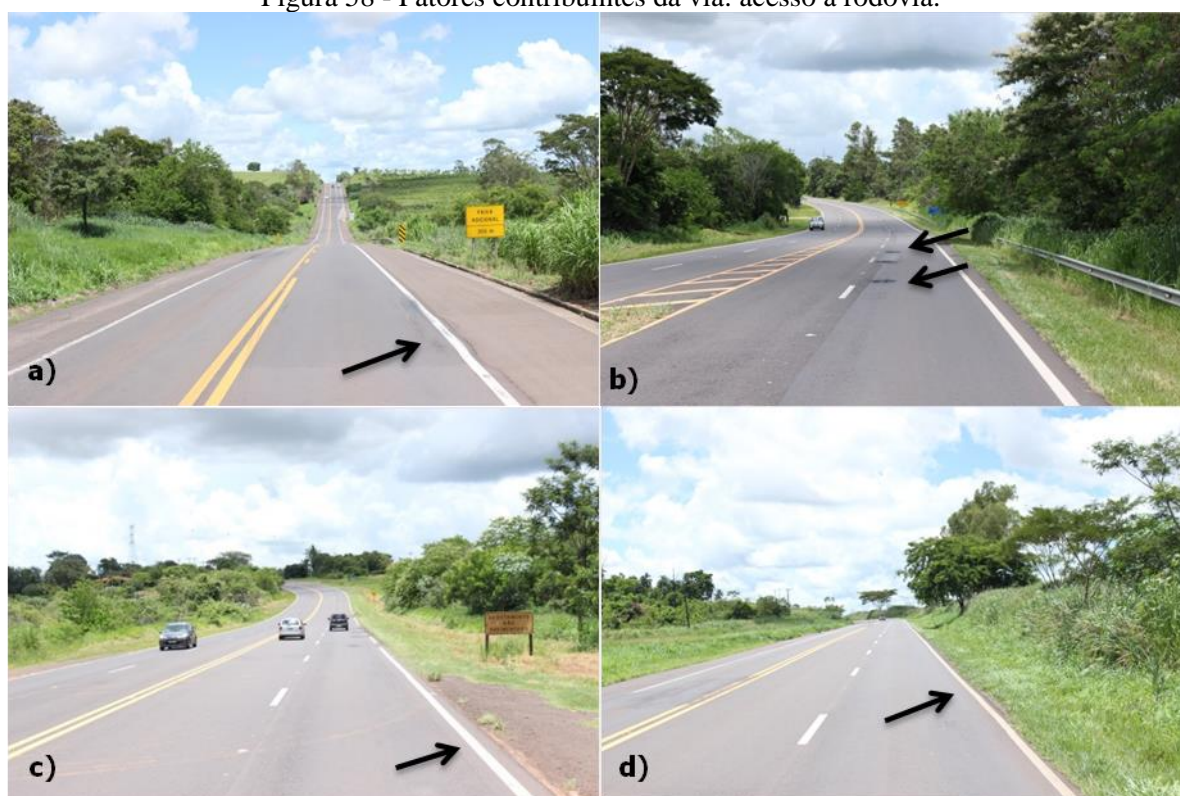
Figura 57 - Fatores contribuintes da via: sinalização.



Fonte: O autor.

Na SP-294, todos os fatores contribuintes referentes ao acesso à pista apareceram no mapeamento. O desnível entre pistas (Fator 13-Figura 58a) apareceu 27 vezes. Dezesseis buracos na pista foram mapeados (Fator 16-Figura 58b). Acostamento sem pavimentação (Fator 14-Figura 58c) e trechos sem acostamento (Fator 15-Figura 58d) somaram 26 aparições.

Figura 58 - Fatores contribuintes da via: acesso à rodovia.



Fonte: O autor.

Foram identificados 17 acessos de entrada e saída da rodovia nos segmentos de trecho (Fator 19), sendo que 4 não estavam sinalizadas (Fator 22-Figura 59).

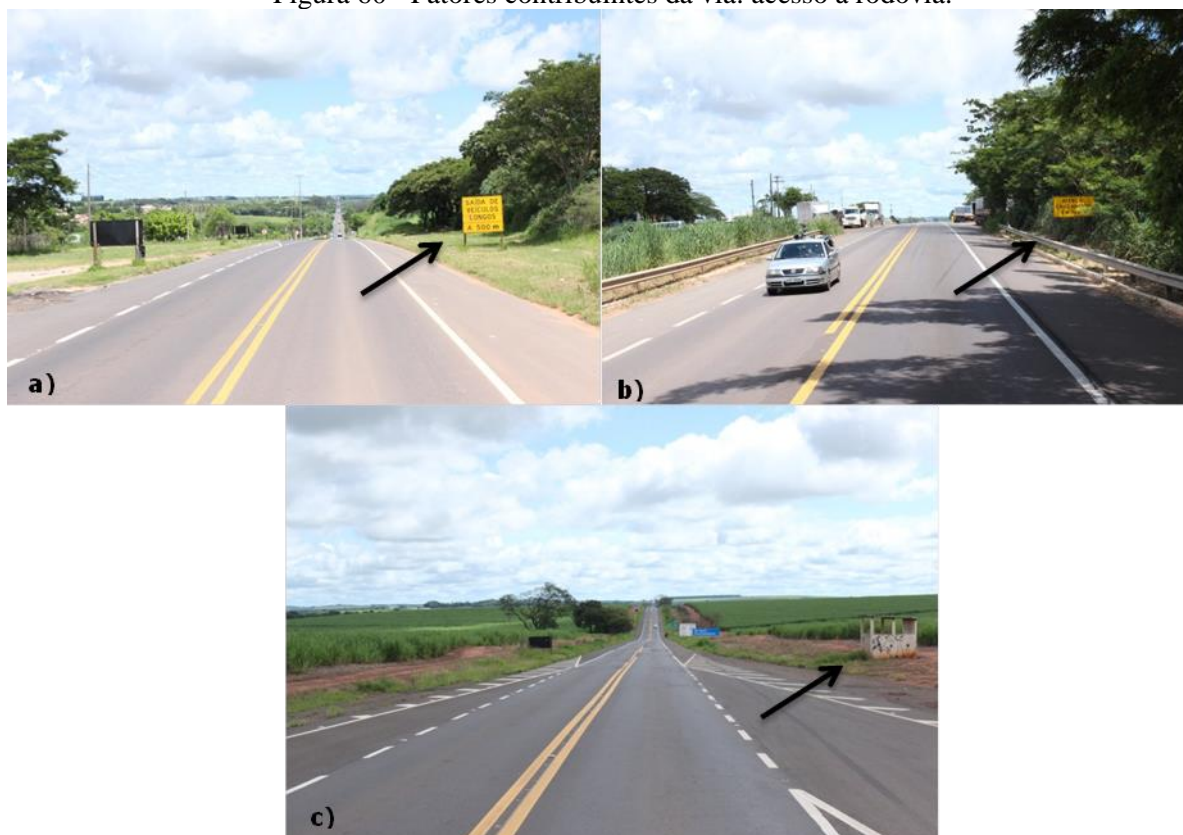
Figura 59 - Fatores contribuintes da via: acesso à rodovia sem sinalização.



Fonte: O autor.

Além disso, 9 transições de veículos longos (Fator 20-Figura 60a), 12 passagens e/ou cruzamento em nível (Fator 21-Figura 60b). E, por fim 3 pontos de ônibus (fator 27-figura 60c).

Figura 60 - Fatores contribuintes da via: acesso à rodovia.



Fonte: O autor.

Os fatores 1, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 17, 18, 24, 25, 26, 30 e 31 não apareceram em nenhum dos três segmentos de trechos críticos da rodovia SP-294.

Novamente, ocorreu a presença da vegetação encobrindo a sinalização da rodovia. Ao que tudo indica, mal conservada quanto à pintura e sinalização, inclusive nas placas de acesso de entrada e saída da rodovia. Também, foi identificado um número alto de desnível entre as pistas da rodovia e buracos, além de passagens em nível, se comparado com as outras rodovias.

Numa análise geral das três rodovias envolvidas, não foram identificados nenhuma vez os fatores 3, 10 e 12, respectivamente, vegetação encobrindo a sinalização horizontal da rodovia, desvio temporário e barreira de proteção no acostamento. Mesmo assim, optou-se por manter esses três fatores, levando em conta as diferentes situações encontradas nas rodovias brasileiras seguindo o propósito de manter a usabilidade nacional da tabela de fatores.

Em contrapartida, os fatores 4, 13, 19, 20, 22 e 28, respectivamente, uso de painéis/placas de mensagem variável, desnível entre pistas, acesso à rodovia, transição de veículos longos, falta de sinalização do acesso (entrada e saída) à rodovia e objetos na pista (areia,

terra, pedras), foram encontrados nas três rodovias em estudo, ao menos uma vez em cada segmento de trecho crítico, ficando como características principais. O campeão de aparições foi o fator 28, que identifica objetos na pista, encontrados 154 vezes. Depois, 150 acessos à rodovia (entradas e saídas), incluindo propriedades, comércio e áreas rurais, 146 desníveis entre as pistas, 142 painéis/ placas de mensagem variável, 86 ausências de sinalização de acesso à rodovia e 77 pontos de transição de veículos longos.

O Quadro 9 expõe o *ranking* de aparições dos fatores contribuintes nas três rodovias estudadas.

Quadro 9 - Ranking do número de fatores contribuintes da rodovia.

Ranking	Fator	Frequência de identificação pelo mapeamento
1°	28 (Objetos na pista)	154
2°	19 (Acesso à rodovia)	150
3°	13 (Pavimento da rodovia em desnível)	146
4°	4 (Uso de painéis/placas de mensagem variável)	142
5°	22 (Falta de sinalização de acesso à rodovia)	86
6°	20 (Transição de veículos longos)	77

Curioso notar que, apesar de painéis e placas de mensagens variadas estarem instalados nos segmentos, dos 150 acessos aos trechos críticos, 86 não possuíam sinalização ou indicação. Isso pode ser agravado pela grande quantidade de passagem de veículos longos (77) nos segmentos de trechos, atrelado ao desnível encontrado e objetos na pista.

Das três rodovias, a SP-270 possui o maior número de acesso à pista (109). A SP-294 é única que contém trechos sem acostamento, passagens em nível e ponte.

Para concluir a análise dos resultados, foram propostas as seguintes mudanças nos fatores:

1. Fator 1: incluir as informações sobre esse fator nos fatores 2 ou 3.
2. Fator 13: renomear para “pavimento da rodovia apresenta desnível”.
3. Fator 10 juntar com o fator 11.
4. Fator 19 juntar com o fator 23.

Realizadas as devidas mudanças, o Quadro 10 passa a ser o modelo dos fatores contribuintes atualizado.

Quadro 10 - Modelo de coleta de fatores contribuintes da rodovia nos segmentos de trechos críticos.

Classe de fator contribuinte	ID	Fator contribuinte
Vegetação	1	Vegetação encobrindo sinalização vertical da rodovia
	2	Vegetação encobrindo sinalização horizontal da rodovia
Sinalização	3	Uso de painéis/placas de mensagem variável
	4	Marcações e pintura da rodovia desgastada
	5	Marcações e pintura da rodovia apagada
	6	Sinalização vertical mal conservada
	7	Sinalização horizontal mal conservada
	8	Iluminação artificial nas interseções
	9	Sinalização de obras/desvio temporário na rodovia
	10	Barreira de proteção no acostamento
Pavimentação	11	Pavimento da rodovia apresenta desnível
	12	Acostamento não pavimentado
	13	Sem acostamento
	14	Pavimento da rodovia com buracos
	15	Resistência à derrapagem
	16	Pavimento com formação de espelhos d'água
Acesso	17	Acesso à rodovia e propriedades próximas
	18	Transição de veículos longos
	19	Passagem/Cruzamento em nível
	20	Falta de sinalização de acesso à rodovia
	21	Tráfego de ciclistas e pedestres
	22	Tráfego/Passagem de animais
	23	Ponte
Objetos na pista	24	Ponto de ônibus
	25	Areia, terra, borracha, pedras na rodovia
	26	Óleo na rodovia
	27	Obras no acostamento da rodovia

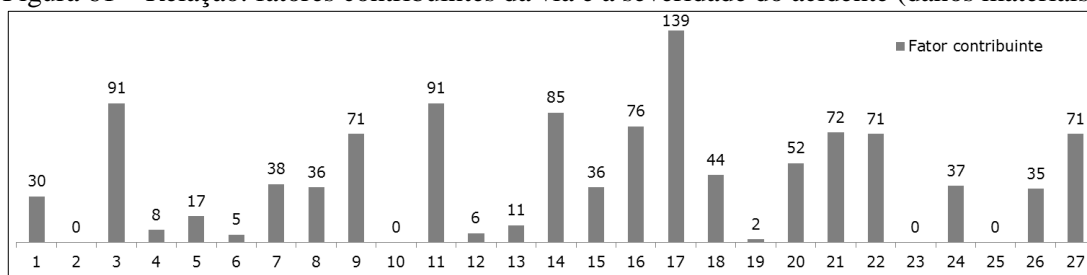
Com base neste quadro do modelo final, a segunda análise dos dados foi sobre a relação de cada fator contribuinte mapeado e o grau de severidade dos acidentes do mesmo segmento de trecho crítico.

6.6 Relação dos fatores contribuintes mapeados com a severidade dos acidentes nos segmentos de trechos críticos

Nesta análise, trataram-se os dados dos oito segmentos de trechos críticos como um único conjunto de dados composto por 156 acidentes. Porque, depois de identificar e determinar os segmentos de trechos críticos em função da severidade dos acidentes, propôs-se, relacionar os fatores contribuintes da via que foram mapeados com a severidade dos acidentes ocorridos nos mesmos segmentos de trechos.

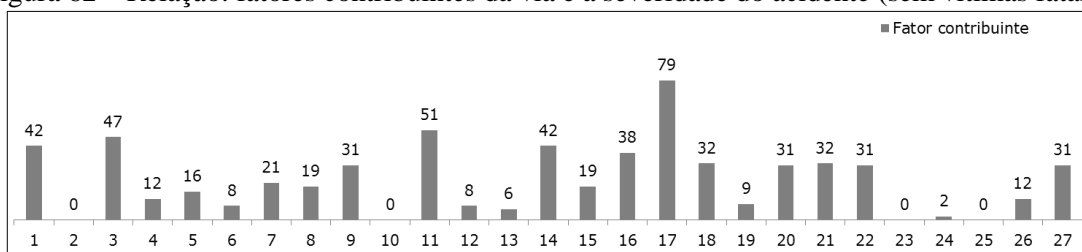
As figuras seguintes representam a frequência de cada fator contribuinte encontrado e mapeado nos acidentes envolvendo apenas danos materiais (Figura 61), sem vítimas fatais (Figura 62) e acidentes com vítimas fatais (Figura 63).

Figura 61 – Relação: fatores contribuintes da via e a severidade do acidente (danos materiais).



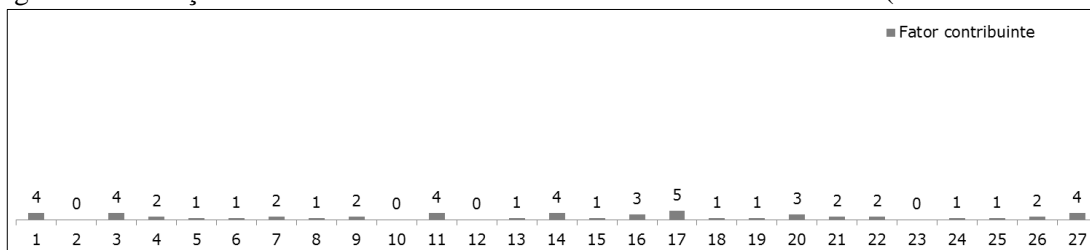
Fonte: O autor.

Figura 62 – Relação: fatores contribuintes da via e a severidade do acidente (sem vítimas fatais).



Fonte: O autor.

Figura 63 – Relação: fatores contribuintes da via e a severidade do acidente (com vítimas fatais).



Fonte: O autor.

A escala vertical das três figuras é a mesma, para que os resultados fiquem visualmente proporcionais. No total, ocorreram 98 acidentes com danos materiais, 54 acidentes sem vítimas fatais e quatro com vítimas fatais.

A interpretação dos gráficos deve ser feita da seguinte maneira: dos segmentos de trechos críticos onde estão localizados os 98 acidentes com danos materiais foram identificados 30 vezes o Fator 1 (Vegetação encobrindo sinalização vertical da rodovia), nenhuma vez o Fator 2 (Vegetação encobrindo sinalização horizontal da rodovia), 91 vezes o Fator 3 (Uso de painéis/placas de mensagem variável) e assim por diante.

No Reino Unido, o STATS19 permite a coleta de até seis fatores contribuintes nas quatro classes (humano, veículo, ambiente e via) por acidentes registrados em cena pela polícia. Múltiplos fatores podem ser registrados para cada indivíduo envolvido no acidente (condutor, motociclista, pedestres, passageiro), ou, veículo. Quando o ambiente rodoviário foi

um fator contribuinte para o acidente, pode ser registrado e relacionado ao veículo ou indivíduo envolvido. Tanto o acidente, como o veículo, pode ter mais de um fator contribuinte atribuído a eles. Os fatores registrados podem receber uma observação (muito provável e possível) que representa a confiança do relator na escolha. Em média, 2,4 fatores contribuintes de acidentes são registrados para cada ocorrência (BROUGHTON, 2009).

Fazendo uma analogia com o STATS19 e arredondando o número de fatores contribuintes para três, poder-se-ia pensar em um perfil dos fatores contribuintes para cada grau de severidade.

Os acidentes sem vítimas estariam relacionados com: acesso à rodovia (entrada e saída) (Fator 17), desnível na pista da rodovia (Fator 11) e a vegetação encobrindo a sinalização vertical da rodovia (Fator 1).

Isto significa que, nesses segmentos de trechos, os acidentes com danos materiais poderiam estar relacionados aos acessos de entrada e saída da rodovia, à presença de desnível na pista e possíveis obstruções de informações, em função de a vegetação encobrir a sinalização vertical.

Apesar de serem fatores que envolvam a situação da construção e manutenção da rodovia, o usuário que trafegasse atento aos dois primeiros fatores poderia contribuir para diminuir sua exposição ao risco de se envolver em acidentes com danos materiais.

Os fatores contribuintes que foram identificados em maior quantidade nos acidentes sem vítimas fatais são: 17, 11 e 3. Os dois primeiros fatores se repetem da primeira situação (danos materiais), sendo o fator 17 predominante. Ou seja, prestando atenção nos pontos de acesso à rodovia e possíveis desníveis na pista, o usuário evitaria expor-se ao risco de um acidente com danos materiais e, também, com vítimas (não fatais). Além dos dois fatores, o terceiro envolveria o uso de painéis e placas de mensagem variável ao longo da rodovia. Entende-se que possíveis distrações possam aumentar a exposição ao risco de ocorrência de acidentes sem vítimas fatais. Para evitar tal situação, o usuário poderia ainda ter um papel essencial, mantendo a concentração no tráfego.

No primeiro caso, de acidentes com danos materiais, o fator contribuinte predominante é o acesso à rodovia e os outros dois fatores aparecem com a mesma frequência. Nos acidentes sem vítimas fatais, os fatores predominantes são o acesso à rodovia e desnível na pista. Em terceiro lugar, vem o fator relacionado à presença de painéis e placas na rodovia.

Por fim, nos acidentes com vítimas fatais, o fator de acesso à rodovia (entrada e saída) (Fator 17) continuou predominante e outros cinco fatores apareceram com a mesma frequência. São eles: vegetação encobrindo sinalização vertical da rodovia (Fator 1), uso de

painéis/placas de mensagem variável (Fator 3), desnível na pista da rodovia (Fator 11), presença de buracos na rodovia (Fator 14) e obras no acostamento da rodovia (Fator 27).

A tríade de fatores contribuintes predominantes poderia apresentar 10 diferentes combinações, sem repetir fator e com o fator 17 como obrigatório (Tabela 3):

Tabela 3 - Combinação de fatores contribuintes predominantes nos acidentes com vítimas fatais.

Combinação	Fatores contribuintes
A	17,1,3
B	17,1,11
C	17,1,14
D	17,1,27
E	17,3,11
F	17,3,14
G	17,3,27
H	17,11,14
I	17,11,27
J	17,14,27

A primeira consideração sobre as combinações é que os acidentes fatais podem envolver o maior número de combinações de fatores contribuintes. Outra constatação é que a presença do fator 17 (acesso à rodovia) já expõe o usuário ao risco de se envolver num acidente, seja ele de danos materiais, sem vítimas fatais e mesmo com vítimas fatais.

Pela combinação A, os fatores envolvidos seriam: acesso à rodovia (entrada e saída) e propriedades próximas (Fator 17), vegetação encobrindo sinalização vertical da rodovia (Fator 1) e uso de painéis/placas de mensagem variável (Fator 3).

Pela combinação B, acesso à rodovia (entrada e saída) e propriedades próximas (Fator 17), vegetação encobrindo sinalização vertical da rodovia (Fator 1) e desnível na pista da rodovia (Fator 11).

Na combinação C, os envolvidos seriam: acesso à rodovia (entrada e saída) e propriedades próximas (Fator 17), vegetação encobrindo sinalização vertical da rodovia (Fator 1) e presença de buracos na rodovia (Fator 14).

Na combinação D: acesso à rodovia (entrada e saída) e propriedades próximas (Fator 17), vegetação encobrindo sinalização vertical da rodovia (Fator 1) e obras no acostamento da rodovia (Fator 27).

Na combinação E: acesso à rodovia (entrada e saída) e propriedades próximas (Fator 17), uso de painéis/placas de mensagem variável (Fator 3) e desnível na pista da rodovia (Fator 11).

Na combinação F, os fatores envolvidos seriam: acesso à rodovia (entrada e saída) e propriedades próximas (Fator 17), uso de painéis/placas de mensagem variável (Fator 3) e presença de buracos na rodovia (Fator 14).

Pela combinação G: acesso à rodovia (entrada e saída) e propriedades próximas (Fator 17), uso de painéis/placas de mensagem variável (Fator 3) e obras no acostamento da rodovia (Fator 27).

Na combinação H: acesso à rodovia (entrada e saída) e propriedades próximas (Fator 17), desnível na pista da rodovia (Fator 11) e presença de buracos na rodovia (Fator 14).

Na combinação I: acesso à rodovia (entrada e saída) e propriedades próximas (Fator 17), desnível na pista da rodovia (Fator 11) e obras no acostamento da rodovia (Fator 27).

E a última combinação J: acesso à rodovia (entrada e saída) e propriedades próximas (Fator 17), presença de buracos na rodovia (Fator 14) e obras no acostamento da rodovia (Fator 27).

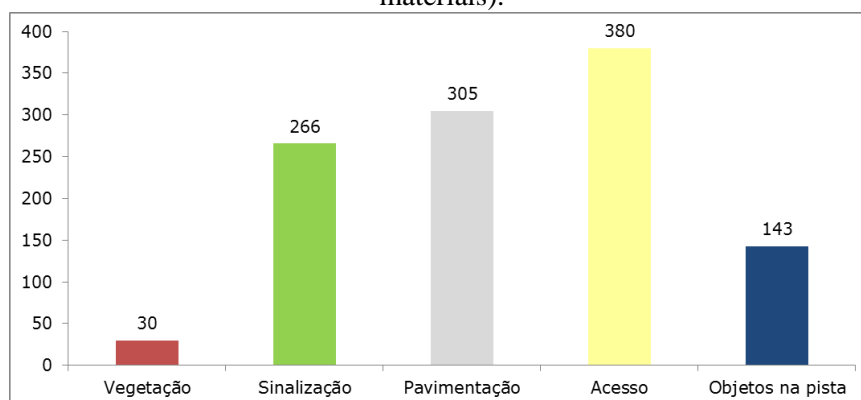
Dos conjuntos, o B é semelhante ao conjunto dos acidentes com danos materiais e o conjunto E é semelhante ao dos acidentes sem vítimas fatais. Portanto, a presença dos fatores contribuintes ao acesso à rodovia (entrada e saída) e propriedades próximas (Fator 17), desnível na pista da rodovia (Fator 11) e uso de painéis/placas de mensagem variável (Fator 3), exige atenção do usuário que trafega pelos segmentos de trechos críticos da rodovia para que seja possível evitar o envolvimento em acidentes de menor severidade (danos materiais) e envolvendo vítimas (sem vítimas fatais).

Voltando às dez combinações, qualquer uma pode aparecer na ocorrência de um acidente com vítimas fatais. Claro que se trata apenas da exposição ao risco, e não de fato, da previsão de um acidente. São constatações de evidências provenientes dos dados coletados. Há uma possibilidade de ocorrência de um acidente, mas não a certeza. Por inúmeras vezes, um usuário pode deparar-se com uma ou mais dessas combinações e não se envolver em nenhum acidente.

Todo esse estudo só foi possível com o conhecimento da localização dos acidentes e dos fatores contribuintes da via. Deste estudo, reafirmaram-se a complexidade de um sistema viário e o relacionamento dos fatores contribuintes das rodovias nos segmentos de trechos críticos com a severidade de um acidente.

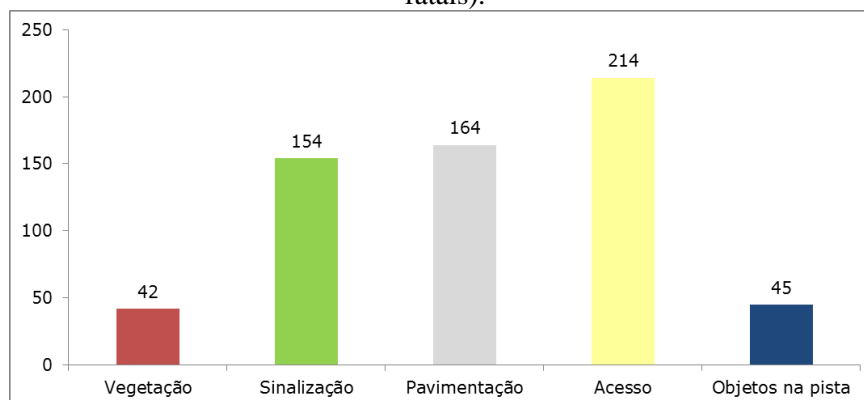
Para estreitar essa relação, propôs-se o agrupamento dos fatores contribuintes em cinco classes para cada um dos graus de severidade (Figuras 64, 65 e 66). Como cada classe envolve números diferentes de fatores e os valores de frequência foram ponderados por grau de severidade.

Figura 64 – Relação: classes de fatores contribuintes da via e a severidade dos acidentes (danos materiais).



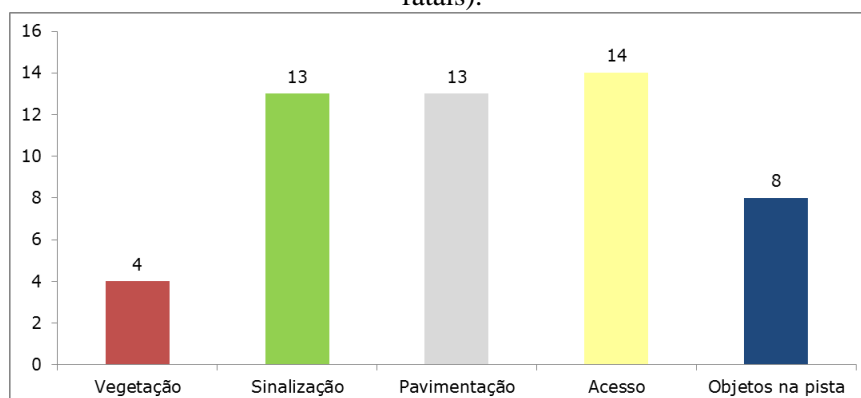
Fonte: O autor.

Figura 65 – Relação: classes de fatores contribuintes da via e a severidade dos acidentes (sem vítimas fatais).



Fonte: O autor.

Figura 66 – Relação: classes de fatores contribuintes da via e a severidade dos acidentes (com vítimas fatais).



Fonte: O autor.

Era esperado que os acidentes envolvendo vítimas fatais apresentassem padrões diferentes de comportamento entre as classes, se comparado com os outros graus de severidade. Mas, o comportamento mostrou-se similar. Uma das explicações para isso pode

ser o número pequeno de acidentes com vítimas fatais (4). Para confirmar essa suposição, seria interessante pesquisar outros segmentos de trechos críticos de outras rodovias e comparar os resultados.

Para os três níveis de severidade, as classes de fatores contribuintes da via apareceram nas seguintes proporções de frequência (Tabela 4):

Tabela 4 - Porcentagem das classes de fator contribuinte da via por severidade do acidente.

Classe de fator contribuinte da via	Danos materiais (%)	Sem vítimas fatais (%)	Com vítimas fatais (%)
Vegetação	2,66	6,78	7,69
Sinalização	23,66	24,87	25,00
Pavimentação	27,13	26,49	25,00
Acesso	33,80	34,57	26,92
Objetos na pista	12,72	7,26	15,38

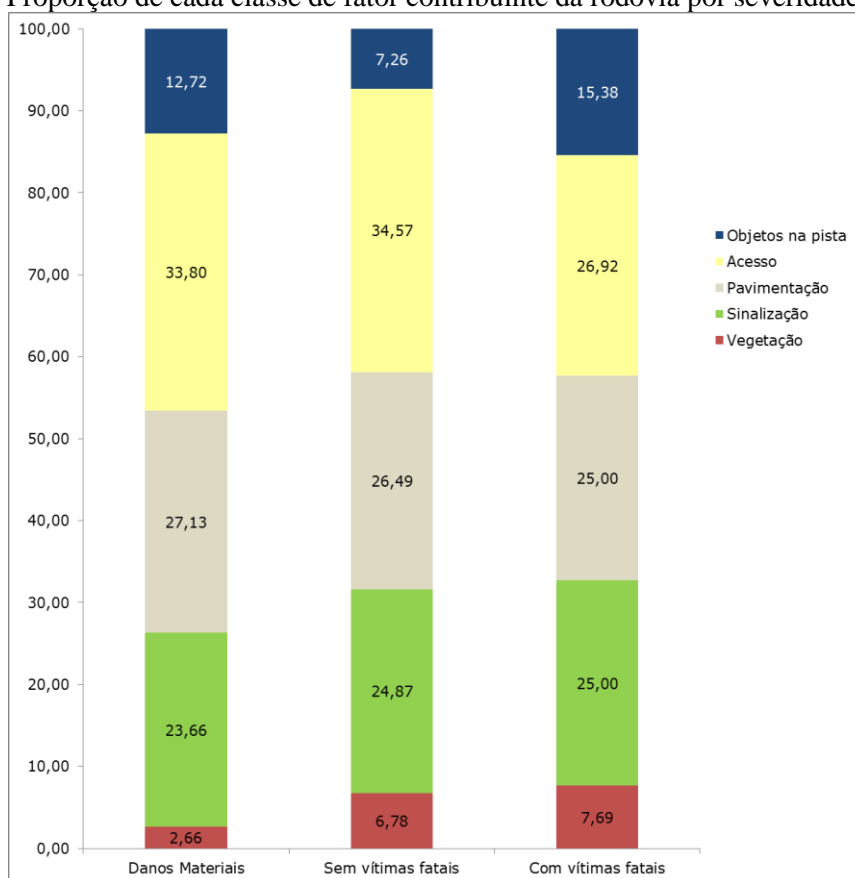
A classe de fator contribuinte “Acesso” apareceu em 31,76% dos casos, ainda que mais frequente em acidentes com danos materiais e sem vítimas fatais. A classe de fator contribuinte “Pavimentação” esteve presente em média em 26,20% dos acidentes. Juntas, essas classes apareceram em aproximadamente 60% dos acidentes ocorridos nos segmentos de trechos críticos. Os outros 40% recaíram nas classes de fator contribuinte “Objetos na pista”, “Sinalização” e “Vegetação” com, respectivamente, 11,78% 24,51% e 5,71% de proporção em média.

A classe da “Vegetação” é, sem dúvidas, a mais interessante, pois, de acordo com os dados do gráfico, se forem considerados apenas os fatores contribuintes da via, a classe “Vegetação” aparece, em média, em menor proporção. Todavia a porcentagem de existência é diretamente proporcional à severidade do acidente, chegando a quase triplicar do acidente com danos materiais para o acidente com vítimas fatais.

AASHTO (2004) reforça essa ideia e considera que as placas com mensagens pouco visíveis – encobertas pela vegetação ou com pintura desgastada - prejudicam, ou até mesmo impedem a assimilação de informações necessárias à condução segura do veículo. Idealmente, as placas de sinalização de trânsito deveriam ser submetidas a programas de inspeção pelo menos uma vez ao ano (AASHTO, 2004).

Para finalizar, sintetizou-se tudo o que foi analisado anteriormente, passo a passo, num único gráfico com valores proporcionais apresentados na Figura 67.

Figura 67 - Proporção de cada classe de fator contribuinte da rodovia por severidade do acidente.



Fonte: O autor.

Da Figura 63 a proporção dos graus de severidade, tomando como referência o acidente que envolve vítimas fatais, é de: 1:24,5 e 1:13,5. Logo, enquanto ocorre um acidente com vítimas fatais, ocorrem 24,5 com danos materiais e 13,5 sem vítimas fatais. O que também pode ser interpretado como: ocorrem 24,5 vezes mais acidentes com danos materiais do que com vítimas fatais e 13,5 vezes mais acidentes sem vítimas fatais do que com vítimas fatais.

Vale destacar que as vítimas podem vir a falecer num período maior que 30 dias após o acidente, e que, mesmo assim, não serão contabilizadas nos acidentes com vítimas fatais.

Essa sistemática adotada no país diverge das recomendações da OMS sobre composição dos índices de óbitos no trânsito que, embora relevantes para os processos internos de tomada de decisões (mantendo maior precisão sobre o número de mortos decorrentes de acidente), a divulgação de índices em parâmetros divergentes dos estipulados, como regra, pode desfigurar as comparações internacionais (SÃO PAULO, 2016). O que poderia levar a um cenário nacional que na realidade seria ainda pior do que os estudos nacionais indicariam.

7. CONSTRUÇÃO DO MODELO DE REGRESSÃO PARA OS FATORES CONTRIBUINTES DOS ACIDENTES DOS TRECHOS CRÍTICOS

Nos Capítulos 5 e 6 foram apresentadas a metodologia para identificação e determinação dos segmentos de trechos rodoviários críticos e a relação entre os fatores contribuintes da rodovia mapeados com a severidade dos acidentes.

O foco desse Capítulo 7 é, através do modelo de regressão construído, verificar o real impacto de cada fator contribuinte na severidade de um acidente ocorrido nos segmentos de trechos críticos pré-definidos no Capítulo 5.

Teoricamente, existem quatro classes de fatores contribuintes dos acidentes (seção 2.5). Os dados das classes de fator contribuinte humano, ambiente e veículo foram obtidos do banco de dados da PMR-SP (seção 4.2). Os dados da classe do fator contribuinte via, no caso rodovia, foram o produto do mapeamento descrito no Capítulo 6. Novamente, o grau de severidade será utilizado para relacionar os fatores contribuintes. Agora, para estudar as quatro classes. Toda a teoria para a solução do problema proposto foi apresentada na subseção 3.1.4.

Nas Engenharias Civil e de Transportes, os trabalhos com aplicação de modelos de regressão em estudos na área de segurança viária contemplam, principalmente, os procedimentos metodológicos e a comparação entre modelos com abordagens clássica e espacial. A transformação das variáveis independentes em variáveis *dummies*, também, é encontrada em alguns trabalhos. Em todas as pesquisas, o intuito principal é de obter informações que possam subsidiar o planejamento de transportes, de maneira mais eficaz. Santos e Pitombo (2014) e Ribeiro (2012) desenvolveram pesquisas relacionadas a esses assuntos.

Nesta pesquisa, o modelo de regressão escolhido foi o de logística ordinal. Para defini-lo dois aspectos foram levados em consideração: o tipo de informação do banco de dados (dados binários) e a escolha da variável dependente (variável resposta) como o grau de severidade de um acidente rodoviário de um segmento de trecho crítico (três resultados ordenados para a resposta da variável dependente). A construção e a análise do modelo estão descritas nas seções 7.1 a 7.4.

7.1 Análise da variável dependente

O grau de severidade como variável dependente apresenta apenas três categorias: danos materiais, sem vítimas fatais e com vítimas fatais. O grau de severidade classificado

como “danos materiais” corresponde uma ocorrência em que o usuário se envolveu em um acidente rodoviário, resultando em danos materiais, em que podem ter contribuídos fatores relacionados ao ambiente onde se encontrava o segmento de trecho crítico, às condições da rodovia em que se trafegava, ao veículo em que estava, ou, alguma situação em que o próprio usuário se expôs. O mesmo raciocínio deve ser utilizado para os outros dois graus de severidade, com a diferença que as ocorrências apresentam uma sequência ordinal, da situação menos grave para a mais grave: “danos materiais”, “sem vítimas fatais” e “com vítimas fatais”, respectivamente.

Dado que a variável resposta é uma variável ordinal, para a construção do modelo foi utilizada a seguinte codificação para o “grau de severidade” de uma ocorrência:

- 1 para representar a ocorrência de um acidente com “danos materiais”
- 2 para representar a ocorrência de um acidente com “sem vítimas fatais”
- 3 para representar a ocorrência de um acidente com “vítimas fatais”.

Dessa codificação, criou-se uma nova coluna no banco de dados denominada *grau de severidade* e cada acidente recebeu o respectivo valor de grau.

7.2 Escolha das variáveis independentes

Nesta seção, todas as variáveis independentes escolhidas para compor o modelo serão detalhadas.

Buscando a proporção de 20 observações para cada variável independente, com no mínimo cinco variáveis independentes, pois, quanto menor o tamanho da amostra, maior a instabilidade dos valores e resultados da regressão, os dados dos oito segmentos dos trechos críticos foram tratados como um único conjunto de dados, composto por 156 acidentes.

A análise descritiva da classe de fatores contribuintes da rodovia, com relação ao grau de severidade do acidente, foi apresentada na seção 6.6. As análises das outras três classes de fatores contribuintes serão apresentadas, a seguir.

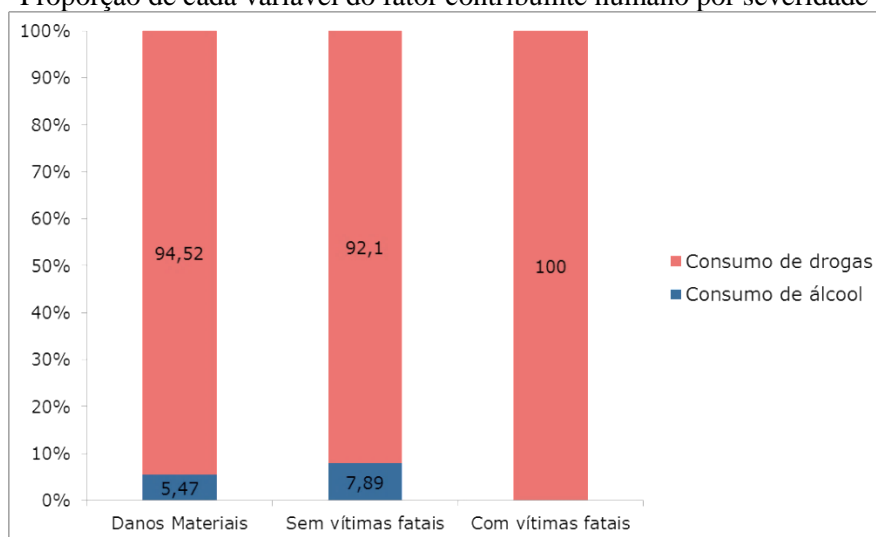
Fator contribuinte humano

Entre os fatores contribuintes relacionados ao componente humano, pode-se destacar o uso de álcool, o excesso de velocidade e as manobras de risco.

Para o modelo de regressão, foram utilizadas as variáveis do fator contribuinte humano: consumos de álcool e de drogas, ambos informados tanto no BO como no banco de dados da PMR-SP, caso fosse verificado e confirmado que o condutor estivesse sob o efeito do consumo de álcool, ou, drogas, no momento do acidente.

Dos 156 acidentes, 113 (72,43%) apresentaram dados das variáveis do fator contribuinte humano no registro do banco de dados. A Figura 68 mostra a frequência das variáveis encontradas nos acidentes, segundo o seu grau de severidade (danos materiais, sem vítimas fatais e com vítimas fatais).

Figura 68 - Proporção de cada variável do fator contribuinte humano por severidade do acidente.



Fonte: O autor.

Dos 113 acidentes, 73 foram do tipo danos materiais, 38 sem vítimas fatais e dois com vítimas fatais. De acordo com os dados da Figura 64, em 94,52% dos casos com danos materiais, identificou-se a variável consumo de drogas, e, em apenas 5,47%, a variável consumo de álcool. Essa proporção diminuiu nos casos de acidentes sem vítimas fatais, pois o consumo de álcool subiu para 7,89% e voltou a crescer nos acidentes com vítimas fatais, pois a variável consumo de drogas foi identificada em 100% dos acidentes.

Fator contribuinte veículo

As variáveis do fator contribuinte veículo referem-se às características do veículo como, por exemplo, o desempenho dos freios, as condições dos pneus, a inexistência de *air bags* e de cintos de segurança (NODARI, 2003).

Os fatores relacionados ao veículo não constam no banco de dados da PMR-SP, somente nas descrições do BO. Para ter o acesso ao BO, uma nova solicitação de dados teve de ser aberta. Posteriormente, os dados adquiridos foram: estado geral do veículo, estado dos faróis, estado dos pneus e estado das lanternas. Sobre as variáveis, foram feitas as seguintes observações:

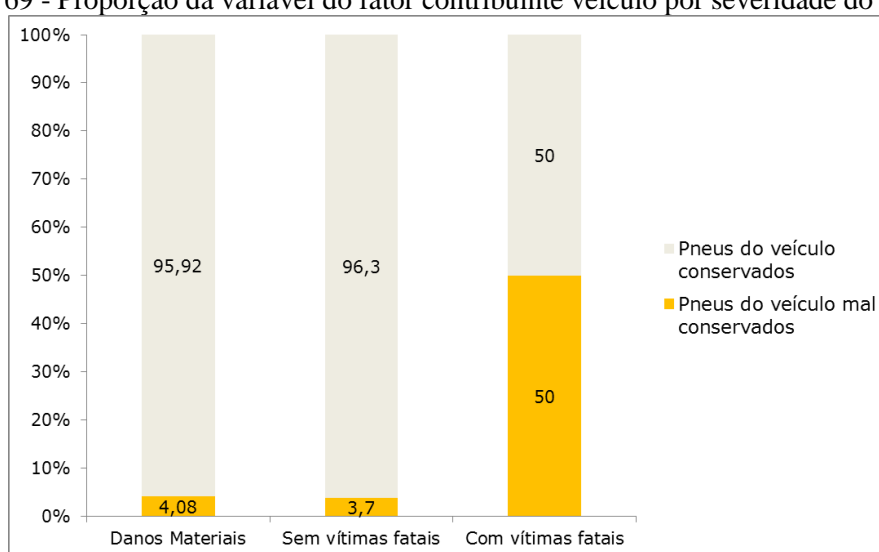
- Estado geral do veículo: 100% dos dados desta variável obtiveram o resultado “bom”.

- Estado dos faróis e estado das lanternas traseiras: estas variáveis tiveram de ser desconsideradas do modelo, pois os resultados obtidos foram: “não há” e “não avaliado”.

Dessas observações, concluiu-se que apenas a variável estado dos pneus poderia ser incluída no modelo.

Dos 156 acidentes, 100% apresentaram dados da variável do fator contribuinte veículo no registro. A Figura 69 ilustra a frequência das variáveis encontradas nos acidentes, conforme o seu grau de severidade (danos materiais, sem vítimas fatais e com vítimas fatais).

Figura 69 - Proporção da variável do fator contribuinte veículo por severidade do acidente.



Fonte: O autor.

Nos acidentes envolvendo danos materiais, 4,08% dos casos apresentaram a variável pneus mal conservados. Essa proporção diminuiu nos casos de acidentes sem vítimas fatais, pois o estado dos pneus mal conservados decresce para 3,70%. Mas, cresce nos acidentes com vítimas fatais e 50% dos casos apresentaram problemas com o estado dos pneus.

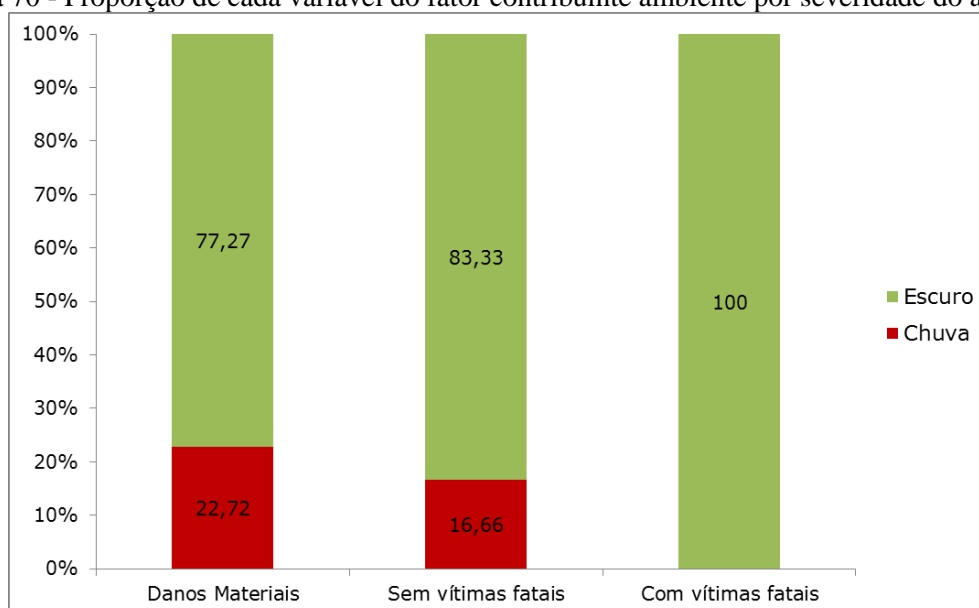
Fator contribuinte ambiente

Na categoria de fatores ambientais, incluem-se os efeitos resultantes das condições climáticas, tais como chuva, neblina e luminosidade (NODARI, 2003).

As variáveis da classe do fator contribuinte ambiente, disponíveis no banco de dados e utilizadas no modelo, foram: chuva e escuro (ausência de iluminação natural e artificial).

Dos 156 acidentes, 76 (48%) apresentaram as variáveis do fator contribuinte ambiente no registro do banco de dados. A Figura 70 mostra a frequência das variáveis encontradas nos acidentes, de acordo com o seu grau de severidade (danos materiais, sem vítimas fatais e com vítimas fatais).

Figura 70 - Proporção de cada variável do fator contribuinte ambiente por severidade do acidente.



Fonte: O autor.

Do total de 76 acidentes, 44 foram do tipo danos materiais, 30 sem vítimas fatais e dois com vítimas fatais. Dos acidentes com danos materiais, 77,27% ocorreram no escuro e 22,72% durante a chuva. Somente dois ocorreram no escuro e durante a chuva. Dos acidentes sem vítimas fatais a porcentagem de acidentes no escuro sobe para 83,33% e a ocorrência durante a chuva cai para 16,66%. Neste caso, apenas um acidente ocorreu no escuro e com chuva. Quanto aos acidentes que envolveram vítimas fatais, todos ocorreram no escuro e sem a presença de chuva.

Fator contribuinte via

Na categoria de fator contribuinte relacionada ao componente viário incluem-se as características geométricas da rodovia, bem como sua adjacência (NODARI, 2003).

Não há registros de variáveis que caracterizem as condições da rodovia no acidente no banco de dados utilizado neste estudo. Embora as variáveis de características geométricas estejam envolvidas, não foi possível ter acesso ao projeto geométrico dos segmentos de trechos críticos do ano de 2014.

Nessas circunstâncias, Peo (2003) e Picado (2005) reconhecem que o conhecimento sobre o efeito das características da via sobre a segurança do tráfego é limitado. As limitações desse conhecimento estão relacionadas especialmente à direção da influência da característica sobre a segurança, à magnitude da influência, à ausência de qualquer entendimento sobre o efeito de algumas características sobre a segurança e à precariedade da disponibilidade de dados de acidentes no âmbito brasileiro.

Diante dessa situação optou-se por utilizar as 27 variáveis do fator contribuinte via que foram identificadas, mapeadas, analisadas e definidas no Capítulo 6 para compor o modelo de regressão.

Propôs-se, para o modelo de regressão, considerar cinco classes de variáveis da via. Cada classe foi representada pela soma de cada variável identificada nos segmentos de trechos críticos. Depois, os dados das classes foram ponderados, ou seja, levou-se em consideração que a classe vegetação compõe 16,8% da classe fator contribuinte via, a classe Sinalização compõe 50,4%, a Pavimentação compreende 33,6%, a classe Acesso compõe 44,78% e a classe Objetos na pista compõe 22,39% do fator contribuinte via. A análise descritiva desses dados é apresentada na Figura 67 da seção 6.6.

7.3 Construção do modelo de regressão

Depois de definir o modelo de regressão e as variáveis, elabora-se a construção do modelo.

De início, foi necessário encontrar o menor conjunto de variáveis independentes com resultados satisfatórios. Para isso, foi utilizado o método *Background*. Como não havia conhecimento prévio da significância das variáveis, optou-se por incluir todas no modelo e depois reduzi-las para obter o modelo final.

O modelo inicial apresentou as 10 seguintes variáveis independentes:

- Consumo de álcool (Fator contribuinte humano)
- Consumo de drogas (Fator contribuinte humano)
- Estado dos pneus (Fator contribuinte veículo)
- Chuva (Fator contribuinte ambiente)
- Escuro (Fator contribuinte ambiente)
- Vegetação (Fator contribuinte via)
- Sinalização (Fator contribuinte via)
- Pavimentação (Fator contribuinte via)
- Acesso (Fator contribuinte via)
- Objetos na pista (Fator contribuinte via)

No método do *Background*, as variáveis preditoras significativas são escolhidas, com base no p-valor de cada uma. O método foi repetido em sete passos, nos quais foram gerados sete modelos intermediários, em função do cálculo dos p-valores de cada variável

independente. Todo o processo foi realizado no *software* Minitab e o relatório com resultados de cada etapa se encontram na Figura 71.

Figura 71 - Resultados Minitab – Método *Backward*.

Stepwise Regression: classifnovo versus consumo alco; consumo drog; ...

Backward elimination. Alpha-to-Remove: 0,1
Response is classifnovo on 10 predictors, with N = 154

Step	1	2	3	4	5	6
Constant	1,042	1,021	1,029	1,013	1,024	1,136
consumo alcool	0,16	0,17	0,16	0,17		
T-Value	0,79	0,82	0,82	0,87		
P-Value	0,430	0,413	0,416	0,386		
consumo drogas	-0,155	-0,153	-0,152	-0,150	-0,141	-0,155
T-Value	-2,22	-2,25	-2,25	-2,22	-2,12	-2,41
P-Value	0,028	0,026	0,026	0,028	0,035	0,017
estadopneus	0,32	0,32	0,31	0,31	0,30	0,30
T-Value	1,67	1,67	1,67	1,66	1,62	1,61
P-Value	0,096	0,097	0,097	0,099	0,107	0,109
chuva	-0,10	-0,11	-0,10			
T-Value	-0,70	-0,75	-0,74			
P-Value	0,483	0,452	0,459			
escuro	0,109	0,108	0,109	0,112	0,108	0,104
T-Value	1,27	1,26	1,28	1,32	1,28	1,23
P-Value	0,208	0,210	0,204	0,190	0,202	0,219
somaV	0,338	0,342	0,343	0,341	0,332	0,293
T-Value	3,89	4,12	4,18	4,16	4,08	4,43
P-Value	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
somaS	0,076	0,070	0,078	0,079	0,080	0,070
T-Value	1,07	1,15	1,84	1,86	1,88	1,72
P-Value	0,285	0,251	0,068	0,065	0,062	0,087
somaP	-0,012					
T-Value	-0,16					
P-Value	0,873					
somaA	0,011	0,010				
T-Value	0,19	0,19				
P-Value	0,849	0,852				
somaO	0,055	0,054	0,063	0,065	0,059	
T-Value	0,64	0,63	0,86	0,90	0,82	
P-Value	0,523	0,530	0,390	0,372	0,412	
S	0,511	0,509	0,507	0,507	0,506	0,506
R-Sq	16,77	16,75	16,73	16,42	15,99	15,60
R-Sq(adj)	10,95	11,55	12,14	12,41	12,56	12,75
Mallows Cp	11,0	9,0	7,1	5,6	4,3	3,0
Step	7					
Constant	1,167					
consumo alcool						
T-Value						
P-Value						
consumo drogas	-0,160					
T-Value	-2,49					
P-Value	0,014					

Fonte: O autor.

O primeiro modelo foi gerado e a sua primeira variável é a constante X_0 . Ela representa a altura em que a função obtida passa pela origem, portanto, não deve ser retirada do modelo.

Do segundo modelo, a variável independente Pavimentação apresentou um valor de p-valor igual a 0,873. Sendo este, maior que 0,05 (5%-nível de confiança utilizado), esta variável não é significativa. Ou seja, os fatores contribuintes relacionados ao pavimento da rodovia não afetam significativamente a probabilidade de ocorrência de um acidente, levando em consideração seu grau de severidade e, por isso, ela pode ser retirada do modelo.

Os resultados foram recalculados e os valores do p-valor atualizados para cada variável independente, gerando o terceiro modelo. A variável Acesso apresenta o maior dos p-valor (0,852) e está acima de 5%. Ou seja, ela não é significativa em relação a variável resposta estudada, por isso, também, deve ser retirada do modelo.

Repetiu-se o cálculo do modelo e os seguintes valores foram encontrados para o quarto modelo. Dessa vez, o valor do p-valor da variável Chuva foi 0,459, por isso, também foi retirada do modelo.

Do quinto modelo, foi retirada a variável Consumo de Álcool, que apresentou um p-valor de 0,386.

Recalculados os valores e os resultados do sexto modelo, a variável Objetos na via apresentou o valor de p-valor igual a 0,412 e, por isso, também, foi retirada.

Então, o sétimo modelo foi gerado. Desta vez, não houve valores de p-valor maior que 5%, sendo este o último passo do método *Background*. Com isso, o modelo final possui quatro variáveis independentes significativas e quatro graus de liberdade. As variáveis preditoras significativas do modelo são:

- Consumo de drogas
- Estado dos pneus
- Vegetação
- Sinalização

Definidas as variáveis preditoras significantes do modelo, a regressão logística ordinal foi aplicada e então foi possível estruturar as equações de previsão de probabilidade do modelo de regressão, com os respectivos coeficientes. Os resultados são apresentados na Figura 72.

Figura 72 - Resultados Minitab - Modelo de regressão logística ordinal.

Ordinal Logistic Regression: class1 versus consumo drog; estadopneus; ...

Link Function: Logit

Response Information

Variable	Value	Count
class1	1	97
	2	42
	3	11
	4	4
Total		154

Logistic Regression Table

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Const (1)	1,53962	0,572650	2,69	0,007			
Const (2)	3,49311	0,645838	5,41	0,000			
Const (3)	5,10470	0,808288	6,32	0,000			
consumo drogas	0,760012	0,287845	2,64	0,008	2,14	1,22	3,76
estadopneus	-1,65876	0,702083	-2,36	0,018	0,19	0,05	0,75
somaV	-1,24048	0,274558	-4,52	0,000	0,29	0,17	0,50
somaS	-0,342833	0,172956	-1,98	0,047	0,71	0,51	1,00

Log-Likelihood = -130,010

Test that all slopes are zero: G = 26,059, DF = 4, P-Value = 0,000

Goodness-of-Fit Tests

Method	Chi-Square	DF	P
Pearson	81,3059	77	0,347
Deviance	64,3342	77	0,848

Measures of Association:

(Between the Response Variable and Predicted Probabilities)

Pairs	Number	Percent	Summary Measures
Concordant	4005	64,6	Somers' D 0,39
Discordant	1563	25,2	Goodman-Kruskal Gamma 0,44
Ties	635	10,2	Kendall's Tau-a 0,21
Total	6203	100,0	

Fonte: O autor.

7.4 Interpretação dos resultados e análise da eficiência do modelo

A etapa de análise dos resultados de um modelo de regressão concentra-se em interpretar as informações obtidas com o modelo final e verificar sua acurácia e eficiência.

Esta pesquisa aplica o método de regressão logística ordinal. Este modelo estabelece (estatisticamente) uma associação e representa os dados de entrada, relacionando sua equação com as características das variáveis estudadas, ou seja, com o universo do problema estudado.

A primeira constatação da interpretação dos resultados deve ser quanto às variáveis independentes que não obtiveram significância em relação à variável dependente estudada.

As variáveis Pavimentação e Acesso foram retiradas do modelo, na segunda e na terceira etapas. Esse já era um resultado esperado, pois de acordo com a Figura 67 a porcentagem de fatores contribuintes da classe Pavimentação e Acesso mantém os valores próximos entre si, também, quando varia-se o grau de severidade do acidente.

Para o grau de severidade com vítimas fatais, que é o de maior importância para este estudo, foram encontrados os valores de 25% e 26,92%. Isso significa que, no ano de 2014, os acidentes rodoviários ocorridos nos segmentos de trechos críticos tiveram valores muito equivalentes da classe de fatores Pavimentação e Acesso, e que por isso, o modelo não considera que essas variáveis sejam significativas para a ocorrência do evento.

A variável Consumo de Álcool é outro exemplo de variável que foi retirada do modelo. Mesmo que apareceu em 100% dos casos de acidentes com vítimas fatais (Figura 64), de acordo com o método aplicado, ela não apresentou relação com a variável resposta. Uma das explicações recai novamente sobre o número baixo (apenas quatro ocorrências) de acidentes com vítimas fatais. Há, também, a possibilidade da influência dessa variável estar implícita em outra variável, o que é plausível, visto que as porcentagens de presença nos demais graus de severidade apresentam diferentes perfis entre si.

A próxima análise é sobre as equações estimadas pelo modelo final da regressão logística ordinal. Para cada variável resposta, há um coeficiente constante e um coeficiente para cada variável preditora.

A primeira equação do modelo que estima a probabilidade $\pi(x)$ da ocorrência de um acidente com grau de severidade “danos materiais” (primeira categoria de resposta) é representada pela equação (16), em que $g(x)$ passa a ser:

$$g(x) = 1,53962 + 0,760012x_1 - 1,65876x_2 - 1,24048x_3 - 0,342833x_4 \quad (16)$$

em que: x_1 é o consumo de drogas, x_2 é o estado dos pneus do veículo, x_3 é o fator contribuinte vegetação na rodovia e x_4 é o fator contribuinte sinalização da rodovia.

A segunda equação do modelo que estima a probabilidade $\pi(x)$ da ocorrência do segundo evento com grau de severidade “sem vítimas fatais” é representada pela equação (17) onde $g(x)$ passa a ser:

$$g(x) = 3,49311 + 0,760012x_1 - 1,65876x_2 - 1,24048x_3 - 0,342833x_4 \quad (17)$$

em que: x_1 é o consumo de drogas, x_2 é o estado dos pneus do veículo, x_3 é o fator contribuinte vegetação na rodovia e x_4 é o fator contribuinte sinalização da rodovia.

A terceira e última equação do modelo estima a probabilidade $\pi(x)$ da ocorrência do terceiro evento com grau de severidade “com vítimas fatais” e é representada pela equação (18) em que $g(x)$ passa a ser:

$$g(x) = 5,10470 + 0,760012x_1 - 1,65876x_2 - 1,24048x_3 - 0,342833x_4 \quad (18)$$

Os coeficientes representam o comportamento da probabilidade de um resultado, em função das variáveis preditoras. O único coeficiente positivo das equações é coeficiente da variável consumo de drogas, sendo esta diretamente proporcional à probabilidade de sucesso de um evento, no caso, da ocorrência de um acidente.

O erro padrão de cada coeficiente (SE) mede a precisão da estimativa de cada coeficiente. Os menores valores revelam estimativas precisas. As estimativas dos coeficientes precisos são respectivamente: fator contribuinte sinalização (0,172956), fator contribuinte vegetação (0,274558) e consumo de drogas (0,287845). A variável preditora estado dos pneus é a variável menos precisa do modelo (0,702083).

Talvez, se os dados da variável estado dos pneus estivessem no banco de dados, os resultados poderiam ser melhores e também diferentes. Por isso, recomenda-se sua inclusão, além do BO, no banco de dados.

Quanto aos valores de Z, a variável fator contribuinte vegetação obteve o maior valor (-4,52), portanto, maior e mais precisa é a estimativa de que o coeficiente tem efeito na variável resposta. Em contrapartida, a variável sinalização obteve o menor valor (-1,98) e consequentemente, menor e menos precisa é a estimativa de que o coeficiente tem efeito na variável resposta.

O modelo da regressão logística ordinal, também, permite a análise da razão de chances (*odds ratio*) entre os níveis de uma variável preditora independente, sendo o cálculo de e^β , em que β é o coeficiente dessa variável.

As razões de chances maiores do que o valor 1, indicam que o primeiro evento e os eventos mais próximos do primeiro evento são mais prováveis no nível da variável do modelo do que no nível de referência. As razões de chances menores do que 1 indicam que o último evento e os eventos próximos a ele, são mais prováveis no nível da preditora do modelo do que no nível de referência.

Para facilitar a interpretação da razão de chances, têm-se no Quadro 11, os valores de cada variável no nível do modelo, de referência e respectivos valores *odds ratio*.

Quadro 11 - *Odds ratio* das variáveis independentes do modelo de regressão.

Variável	<i>Odds ratio</i>	Nível do modelo	Nível de referência
Consumo drogas	2,14	SIM	NÃO
Estado dos pneus	0,19	Mal conservado	Bem conservado
Vegetação	0,29	Vegetação atrapalhando sinalização vertical	Sem vegetação atrapalhando sinalização vertical
Sinalização	0,71	Falta de sinalização	Sinalização adequada

O primeiro, o segundo e o terceiro eventos são respectivamente: danos materiais, sem vítimas fatais e com vítimas fatais; logo, para a análise dos valores da variável consumo de drogas, o primeiro e segundo eventos são mais prováveis de acontecer quando o condutor consumiu drogas.

Os valores *odds ratio* das outras três variáveis preditoras são menores que um; logo, o evento acidente com vítimas fatais é mais provável de acontecer quando os pneus do veículo estiverem mal conservados, se houver vegetação atrapalhando a sinalização vertical, ou, quando faltar sinalização na rodovia.

Para analisar a eficiência, é necessário analisar o resíduo do modelo. O modelo de regressão logística fornece a probabilidade de ocorrência de um evento. O resíduo é a diferença entre a probabilidade encontrada pelo modelo e o valor observado do evento. Não necessariamente, pequenos valores do ajuste significam um bom ajuste do modelo. Em contrapartida, valores altos podem auxiliar na identificação de possíveis problemas na modelagem, como erros de modelagem e defeitos de previsão. Da análise dos resíduos, com base nos p-valores dos testes *Pearson* (0,347) e *Deviance* (0,848) as probabilidades preditoras se desviam das observadas, conforme predito na distribuição logística. Mesmo assim, pode-se dizer que o modelo consegue prever a ocorrência ou não de um acidente em função do grau de severidade.

8. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo reforça as considerações metodológicas e tecnológicas concretizadas ao longo da pesquisa, além das recomendações para futuros trabalhos. Propõe-se também responder às perguntas apresentadas no capítulo inicial do texto.

A proposta do método de interpolação espacial para escolha de trechos críticos de rodovias mostrou-se uma alternativa às abordagens tradicionais. Que inclusive gera resultados (mapas) que permitem determinar as incertezas e a influência de valores do atributo em locais não amostrados. A ideia de encontrar uma solução que diminua gastos com trabalho de campo e tempo justifica o desenvolvimento do método e o uso das novas tecnologias.

Como recomendação, sugere-se testar outros índices de acidente e indicadores, além do índice de severidade. Ao utilizar, por exemplo, o Índice de Motorização (Im) encontrar-se-ia um limiar para os valores do índice e também regiões de probabilidade por krigagem para espacialização dos dados. Talvez nesse caso, a unidade de mapeamento poderia ser revista, e passaria, por exemplo, a ser o município.

Para aplicar o método é necessária fundamentação complementar à estatística básica implementada nos estudos de acidentes viários, especificadamente em trechos críticos. Ainda há muito que se explorar dos dados e o fato de depender da disponibilização também pode trazer problemas a serem contornados durante a aplicação do método.

O principal diferencial do uso da geoestatística se trata do produto da superfície contínua de estimativas de variáveis de demanda por transportes, dado que não é possível de ser obtido através de ferramentas tradicionalmente utilizadas (PITOMBO, 2016).

O tema apresentado nesta pesquisa contou ainda com o mapeamento dos fatores contribuintes de acidentes que possibilitou ao sistema de mapeamento móvel uma aplicação voltada para a Segurança Viária. A espacialização dos dados culminou na organização e apresentação, em forma de modelo de coleta, de 27 fatores contribuintes nos segmentos de trechos críticos de uma rodovia.

Ficou constatado o potencial da ferramenta, além de adaptações necessárias para que de fato ocorram incrementos significativos no monitoramento das características da rodovia que podem vir a se tornar fatores contribuintes de acidentes nos segmentos de trechos críticos, através do uso da Cartografia. Os resultados demonstram que o tempo de coleta de dados com o AIIG é uma vantagem, se comparado com outros métodos, por exemplo, o proposto por Nodari (2003) que demandou mais tempo em campo. Além disso, as imagens e vídeos confirmam a viabilidade do monitoramento e atualização do mapeamento.

O principal diferencial do mapeamento dos fatores contribuintes se trata do produto do levantamento dos dados contínuos dos segmentos de trecho crítico. No entanto, ainda não seria o produto ideal para utilização como ferramenta de apoio à tomada de decisão, caso a menor unidade da localização do acidente fosse o quilômetro.

Ainda sim os dados do mapeamento poderiam ser utilizados pelos policiais rodoviários responsáveis pelo preenchimento do BO, para atrelar a identificação das características da rodovia às informações do BO. Essa solução resultaria na construção de um banco de dados mais robusto e complexo, aumentando as possibilidades de análises dos dados e as informações sobre os acidentes.

O tema apresentado ainda tem muitas pesquisas, além de ideias, para continuidade do aprimoramento como automatizar a identificação das características físicas da rodovia e estender as análises dos fatores contribuintes para uma estatística espacial.

Recomenda-se, o uso do sistema em segmentos de trechos críticos de diferentes regiões do estado ou mesmo do país, a fim de mapear e levantar diferentes características físicas da rodovia e adicionar novos fatores contribuintes no modelo proposto. Também seria interessante estudar o projeto geométrico da rodovia e monitorar o mapeamento dos fatores contribuintes acompanhando as mudanças na rodovia.

Levantando as questões motivadoras da pesquisa, apresentadas durante o texto, pode-se afirmar que algumas foram completamente respondidas, enquanto outras parcialmente.

O uso das técnicas estatísticas associadas às cartográficas configurou a confirmação da presença dos fatores contribuintes da via nos segmentos de trechos críticos e pôde ser estabelecida a relação entre os fatores contribuintes da via e o grau de severidade de um acidente ocorrido no segmento de trecho crítico. Também foram gerados modelos de regressão que estabeleceram o impacto dos fatores contribuintes, do qual não havia informação previamente pesquisada. Sobre os modelos, também se propõe gerar um mapa para espacializar a probabilidade de ocorrência de cada evento, com base no modelo de regressão. A questão temporal entre os dados reativos e o mapeamento foi tratada como a restrição mais importante para a aplicação. Por isso, a necessidade de acompanhar e documentar as mudanças nos segmentos de trechos críticos.

REFERÊNCIAS

- AASHTO. American Association of State and Highway Transportation Officials. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. 942p. 7th ed. Washington, 2004. Disponível em: <https://nacto.org/docs/usdg/geometric_design_highways_and_streets_aashto.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2014.
- ANTENUCCI, J.C.; BROWN, K.; CROSWELL, P.L. **Geographic information systems: a guide to technology**. New York: Chapman & Hall, 1991.
- AU. AUSTRROADS. **Road safety audit**. Austroads National Office, Austrália, 1994, 103p.
- BARBOSA, G.R.; ALMEIDA, A.T. Sistemas de apoio a decisão sob o enfoque de profissionais de TI e de decisores. In: XXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2002. p. 1-9.
- BARBOSA, R.L.; SILVA, J.F.C.; MENEGUETTE JUNIOR, M.; GALLIS, R.B.A. Velocity estimation of a mobile mapping vehicle using filtered monocular optical flow. In: 5th INTERNATIONAL MOBILE MAPPING SYMPOSIUM, 2007, Padova. **Proceedings...** Padova, 2008. p. 41-45.
- BASTOS, I. D. **Avaliação do desempenho logístico do serviço de transporte rodoviário de cargas: um estudo de caso no setor de revestimentos cerâmicos**. 2003. 168p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- BASTOS, J.T. **Geografia da mortalidade no trânsito no Brasil**. 2011. 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- BASTOS, J. T. **Análise estratégica da segurança viária no Brasil: pesquisa de índices e indicadores**. 2014. 290p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- BATISTÃO, M.D.C.; TACHIBANA, V.M.; SILVA, J.F.C. Mapeamento de trechos críticos rodoviários. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v.4, n.68, p.863-877, mar. 2016.
- BLASECHI, V. **Caminhamento fotogramétrico com arranjo triangular de câmaras fotográficas**. 2016. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.
- BRANDÃO, L. M. **Manual teórico prático: Medidores Eletrônico de Velocidade: Uma visão da engenharia para implantação**. Campinas: Perkons, 2006. 148p.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de conservação rodoviária**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Produto I: Metodologia para a identificação de segmentos críticos**. Florianópolis, 2009.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Avaliação das condições de segurança viária do trecho entre Belo Horizonte e Governador Valadares – BR-381/MG**. Florianópolis, 2010.

BRASIL. Departamento Nacional de Trânsito. **Manual de identificação, análise e tratamento dos pontos negros**. 2.ed. Brasília-DF, 1987, 64p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento de Produção Mineral. **Geoestatística operacional**. 145p. Brasília-DF, 1988.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Departamento Nacional de Trânsito. Associação Nacional de Transportes Público. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras**. Brasília-DF, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Fundação Oswaldo Cruz. **Introdução à estatística espacial para a saúde pública**. v.3. Brasília-DF: Série-Capacitação em geoprocessamento em saúde, 2007, 124p.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Programa de redução de acidentes: procedimentos para o tratamento de locais críticos de acidentes de trânsito**. Brasília-DF, 2002.

BRAVO, J.V.M.; SLUTER, C.R. O problema da qualidade de dados espaciais na era das informações geográficas voluntárias. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 21, n.1, p.56-73, jan.-mar. 2015.

BROCHADO, M.R. **Contribuição para a fiscalização da infraestrutura rodoviária concedida visando as necessidades dos usuários**. 2008. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BROUGHTON, J. Contributory factors in road accidents. Behavioral. In: **Road safety seventeenth seminar**, Department of Transport, London, 2009.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.; DRUCK, S.; CARVALHO, M.S. Análise Espacial e Geoprocessamento. São José dos Campos, 1996. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/analise/cap1.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

CARDOSO J. P. L. **Estudo das relações entre as características da estrada, a velocidade e os acidentes rodoviários**. Aplicação à estrada de duas vias e dois sentidos. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Lisboa.

CARDOSO, E.G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J.L.; TORRES, E.; SARAIVA, O.F.; GUIMARÃES, M.F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília-DF, v.41, p.493-501, 2006.

CARVALHO, M.S.; CRUZ, O.G.; SOUZA, W.V.; MONTEIRO, A.M.V. Conceitos básicos em análise de dados espaciais em saúde. **In: Introdução à estatística espacial para a saúde pública**. Série B – Textos básicos de saúde. Brasília, 2007.

CASTRILLÓN, A. D.; CANDIA, J. S. **Guía para realizar auditoria de seguridad vial**. Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito, Chile, 2003.

CEFTRU. Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes. **Procedimentos para o tratamento de locais críticos de acidentes de trânsito**. Brasília-DF, 2002. 75p.

CHAGAS, D. M. **Estudo sobre fatores contribuintes de acidentes de trânsito urbano**. 2011. 114p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

CHAVES, M. D. **Concepção de um sistema de informações georreferenciadas de segurança viária**. 54p. Iniciação Científica (FAPESP). Curso de Graduação em Ciências Cartográficas, FCT-UNESP. Presidente Prudente, 2011.

CHAVES, M. D. **Desenvolvimento de um sistema de informações georreferenciadas de segurança viária**. 2014. 161p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

CHAVES, M.D.; SILVA, J.F.C.; SHIMABUKURO, M.H. WEBSIG/SV: Um sistema web de informações georreferenciadas de segurança viária. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE RODOVIAS E CONCESSÕES, 2013, Santos. **Anais...** Santos, 2013. p. 1-4.

CHILÈS, J. P.; DELFINER, P. **Geostatistics: modeling spacial uncertainty**. New York: Ed. John Wiley & Sons, 1999. 695p.

COPPOCK, J.T.; RHIND, D.W. **Geographical information systems: principles and applications**. London: Longman Scientific & Technical, 1991. v.1, 23p.

DATASUS. Estatísticas nacionais de acidentes de trânsito. Disponível em: <http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/estatisticas/estatisticas_nacionais>. Acesso em: 17 ago. 2015.

DATE, C. J. **Introdução a sistema de banco de dados**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2000. 513p.

DAVENPORT, T. H. **Ecologia da informação: por que só tecnologia não basta para o sucesso na era da informação**. São Paulo: Ed. Futura, 2002. 312p.

DAVID, G.A. **Logistic regression**. Illinois: Burr Ridger, 1996. 251p.

DAVIS, J.C. **Statistics and data analysis in geology**. 3th ed. New York: Ed. John Wiley & Sons, 2002. 640p.

DIDONÉ, L. A. **Análise e tratamento da segurança viária em rodovias: um novo enfoque para o tratamento de segmentos concentradores de acidentes: o caso da BR-101/RS-Lote 3**. 2000. 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DRAPPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Willey & Sons, 1966. 407p.

ELVIK, R.; HOYE, A.; VAA, T.; SORENSEN, M. **The handbook of road safety measures**. 2th ed. Bingley: Emerald, 2009. 1124p.

FERRAZ, A. C. P.; RAIJA JUNIOR, A.A.; BEZERRA, B.S. **Segurança no trânsito**. São Carlos: Ed. Grupo Gráfico São Francisco, 2008. 278p.

FERRAZ, A.C.P; RAIJA JUNIOR, A.A.; BEZERRA, B.S.; BASTOS, J.T.; SILVA, K.C.R. **Segurança viária**. 1.ed. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, 2012. 322p.

FERREIRA, A.B.H. **Dicionário Aurélio básico da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1988. 687p.

FREITAS, M. K. **Estudo de casos de implantação de sistema de informações geográficas em prefeituras municipais no estado de São Paulo**. 1997. Dissertação (Mestrado Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

GÓES, J. R. R. **Métodos de identificação e seleção de locais de alto risco de acidentes de trânsito**. Estudo e recomendações para aplicação em cidades brasileiras. 1983. 237 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

GOLDBERG, D.W. Advances in geocoding research and practice. In: _____. **Transactions in GIS**. Blackwell Publishing, 2011. v. 6, cap. 15, p.727-733.

GOODE, W.J.; HATT, P.K. **Métodos em pesquisa social**. 7.ed. São Paulo: Nacional, 1979. 488p.

GREENWOOD, M.; YULE, G. U. An inquiry into the nature of frequency distributitlins representative of multiple happenings, with particular reference to the occurrence of multiple attacks of dicease and repeated accidents. **Journal of the Royal Statistical Society**, United Kingdom, v.83, p. 255-279, 1920.

GUERRA, H. O. **Análise para o desenvolvimento de um sistema de gerência de banco de dados geográficos de infraestrutura de transportes**. 2007. 179p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília-DF.

GUIMARÃES, R.V. **Uso de regressão logística para previsão de fechamento de operações financeiras: termo de moedas**. 2006. 137p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

HANNON, J.J.; SULBARAN. D. Information technology for efficient project delivery. In: **Transportation research board: NCHRP synthesis 385**. Washington, 2008.

HAUER, E. **Observational before-after studies in road safety**. Bingley: Emerald Group Publishing Limited, 2007. 289p.

HIRATA, E.; GIANNOTTI, M.A.; LAROCCA, A.P.C.; QUINTANILHA, J.A. Mapeamento dinâmico e colaborativo de alagamentos na cidade de São Paulo. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v.19, n.4, p.602-623, out-dez. 2013.

HOFFMANN, M.H. Comportamento do condutor e fenômenos psicológicos. **Revista Psicologia: Pesquisa e Trânsito**, v.1, n.1, p.17-24. Belo Horizonte, 2005.

HOSMER, D. W.; LEMESHOW, S. **Applied logistic regression**. Massachusetts: Ed. John Wiley & Sons, 1989. 383p.

IHT. Institution of Highways and Transportation **Guidelines for the safety audit of highways**. London: International Edition, 1996.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras**. 42p. Relatório de Pesquisa. Brasília-DF. 2015.

JÁCOMO, C. A.; TACHIBANA, V.M.; FLORES, E.F. Aplicação de técnicas de estatística espacial na caracterização dos casos de dengue no município de Presidente Prudente – SP no período de 1999 a 2007. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DE GEOINFORMAÇÃO, 2010, Recife. **Anais...** Recife, 2010. p.2-9.

JAKOB, A.A.E.; YOUNG, A.F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 2006, Caxambu. **Anais...** Caxambu, 2006. p. 1-22.

JOURNEL, A.G. Non-parametric estimation of spatial distribution. **Math. Geology**, v.15, p445-468, 1983.

KARNAUKHOVA, E. **Proposta de cartografia geocológica aplicada ao planejamento territorial**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

KIM, K.; BOSKI, J.; YAMASHITA, E. A typology of motorcycle crashes: rider characteristics, environmental factors and spatial patterns. In: 72nd. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD ANNUAL MEETING, 2002, Washington. **Proceedings...**, Washington, 2002.

KIM, K.; YAMASHITA, E. Motor vehicle crashes and land use: an LABTRANS. Sistema de georreferenciamento de informações viárias-SGV. Laboratório de Transportes e Logística, UFSC. Florianópolis, 2002. Disponível em: <<http://www.labtrans.ufsc.br/>>. Acesso em: 12 mar. 2013.

LANDIM, P.M.B.; STURARO, J.R. Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto didático. 19 p. 2002. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

LEHFELD, G. M. **16 Highway safety program standards the purpose of each**. US Department of Transportation, Federal Highway Administration and Nacional Safety Bureau, 1979.

LEMES, J. C. Polícia registra 200 multas por excesso de velocidade no 1º dia de operação. Ifronteira. Presidente Prudente, 2011. Disponível em: <<http://www.ifronteira.com/noticia-regiao-566>>. Acesso em: 05 out. 2011.

LEVINE, N.; KIM, K. E.; NITZ, L. H. *Spatial analysis of Honolulu motor. Accident Analysis and Prevention*, Honolulu, v. 5, n. 27 p. 663-674, oct. 1995.

LOWE, D.G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. **International Journal of Computer Vision**, Germany, v. 60, n.2, p. 91-110, 2004.

MANTOVANI, V. R. **Proposta de um sistema integrado de gestão em segurança de tráfego – SIG SET**. 2004. 175p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.

MASIERO, J. P. O. **Integração de hardware-software em arranjo triangular de câmeras fotográficas para a aquisição de imagens de ruas e rodovias**. Presidente Prudente, 2017. Relatório final – projeto de iniciação científica.

MATSUMOTO, P. S. S.; FLORES, E. F. Estatística espacial na geografia: um estudo dos acidentes de trânsito em Presidente Prudente – SP. **Revista GeoAtos**, Presidente Prudente, v.1, n.12, p.95-113, 2012.

MAYORA, Pardillo José. **Un nuevo enfoque de los programas de seguridad vial**. Tratamiento de tramos con concentración de accidentes y actuaciones preventivas. Madrid :Asociación Técnica de Carreteras. mar.-abr.1996.

MCSHANE, W.R; ROESS, R. P.; PRASSAS, E.S. **Traffic engineering**. New Jersey: Prentice Hall. 1990. 786p.

MENEGUETTE, A.A.C. **Sistemas de Informação Geográfica como uma tecnologia integradora**: contexto, conceitos e definições. 1998. Projeto (Courseware em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MENESES, F. A. B. **Análise e tratamento de trechos rodoviários críticos em ambientes de grandes centros urbanos**. 2001. 263p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Alberto Luiz Coimbra, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MENESES, F.A.B.; PORTO, W.; LOUREIRO, C.F.G. Análise e tratamento de trechos rodoviários críticos em ambientes urbanos e suburbanos de grandes cidades. In: XIII CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 1999, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 1999. p. 101-104.

MEYER, P.L. **Probabilidade: aplicações à estatística**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ed. Livros Técnicos e Científicos, 1978. 66p.

MILLER, H.; SHAW, S. **Geographic information systems for transportation: principles and applications**. New York: Oxford University Press, 2001. 459p.

MINITAB. Minitab17: guia de introdução ao Minitab17. Disponível em: <https://www.minitab.com/uploadedFiles/Documents/getting-started/Minitab17_GettingStarted-pt.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2017.

MOTOMIYA, A.V.A.; CORÁ, J.E.; PEREIRA, G.T. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.485-496, 2006.

MOUKARZEL, P. E. **A utilização de radares eletrônicos nas rodovias estaduais de Santa Catarina**. Especialização em Segurança Pública da Universidade do Sul de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

NAING, C.; BAYER, S.; VAN ELSLANDE, P.; FOUQUET, K. Which factors and situations for Human Functional Failures? Disponível em: <www.trace-project.org>. Acesso em: 14 ago. 2014.

NATURE. Mapping Opportunities. Revista Britânica, 2004. Disponível em:<<http://www.nature.com/nature/index.html>>. Acesso em: 31 set. 2014.

NCHRP. National Cooperative Highway Research Program. NCHRP Synthesis 336: Road safety audits. In: **Transportation research board**. Washington, 2004.

NICHOLAS, J.G.; LESTER, A.H. **Traffic and highway engineering**. 4th ed. University of Virginia: Cengage Learning, 2009. 1249p.

NODARI, C. T. **Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples**. 2003. 221p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

OESTATÍSTICAS. Observatório Nacional de Segurança Viária. Tabelas e planilhas - 2013. Disponível em: <<http://iris.onsv.org.br/portaldados/#/tables>>. Acesso em: 02 jul. 2015.

OLIVEIRA, E. B. **Implementação do módulo de interseção fotogramétrica em um banco de imagens georreferenciadas**. 2003. 112p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

OLIVEIRA, S.B.; ROCHA, M.M. Krigagem indicadora aplicada aos litotipos do depósito de Ni-Cu de americano do Brasil, GO. **Revista do Instituto de Geociências**, São Paulo, v.11, n.2, p.123-134, 2011.

ONUBR. Nações Unidas do Brasil. Década de Ação pelo Trânsito Seguro 2011-2020 é lançada oficialmente hoje (11) em todo o mundo. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/decada-de-acao-pelo-transito-seguro-2011-2020-e-lancada-oficialmente-hoje-11-em-todo-o-mundo/>>. Acesso em: 28 ago. 2013.

ONUBR. Nações Unidas do Brasil. Imprudência nas estradas: um assassino global. 2016. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/imprudencia-nas-estradas-um-assassino-global/>>. Acesso em: 29 nov. 2016.

ORTH, D. M.; DIESEL, L.; SILVA, S. R. Mapeando o risco: uma contribuição tecnológica para a gestão urbana. In: LEITE et al. **Dano Ambiental na Sociedade de Risco**. São Paulo: Editora Saraiva, 2008.

PECKER, C.C., RIBEIRO, J.L.D., CYBIS, H.B.B. 2003. A visão dos usuários de rodovias de pista simples sobre a 3º faixa. Porto Alegre, Brasil. Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/art_cybis4.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2016.

PEO, PROFESSIONAL ENGINEERS ONTARIO. Report of the highway 407 safety. Review Committee. 2003. Disponível em: <www.peo.on.ca>. Acesso em: 15 jul.2015.

PICADO, J. **Manual la ingeniería de tránsito y la gestion de seguridad vial**. Costa Rica, 2005. 99p.

PIENTRANTONIO, H. **Manual de procedimento de pesquisa para análise de conflitos de tráfego em interseções**. São Paulo: Seção de Engenharia de Tráfego e Transporte de Passageiro – IPT, 1991.

PITOMBO, C. S. **Geoestatística aplicada a problemas relativos à demanda por transportes**. 2016. 169p. Tese (Livre-Docente em Engenharia de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PLINE, J.L. **Traffic engineering handbook**. 4th ed. Prentice Hall: Ed. New Jersey- Institute of Transportation Engineers, 1992. 67p.

QUEIROZ, M. P. **Análise espacial dos acidentes de trânsito do município de Fortaleza**. 2003. 141p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

RIBEIRO, V.C. **Análise de demanda por transportes de passageiros via modelos de regressão georreferenciados**. 2012. 82p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória.

ROBINSON, A. H. **Elements of cartography**. 6th ed. New York: John Wiley & Sons, 1995. 172p.

ROCHA, M. M.; YAMAMOTO, J. K. Simulação direta de teores e estimativa de litologias na mina de ouro de São Vicente. FAPESP, Rel. Interno. São Paulo, 2003.

RODRIGUEZ, R.V.; RISQUET, C.P.; CANTERO, J.C.T. Um novo módulo de mineração visual de dados para o sistema de informação geográfica gvSIG. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v.36, p.98-111, 2013.

SAMPEDRO, A.T. **Procedimento para avaliação da segurança de tráfego em vias urbanas**. 2010. 240p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Instituto Alberto Luiz Coimbra, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SANTANNA, J. A. Acidentes de trânsito. Qual a responsabilidade da administração pública?2005. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/06.013/1671>>. Acesso: 08 set. 2013.

SANTOS, M.C.; PITOMBO, C.S. **Modelos espaciais de acidentes de trânsito com óbitos**. In: ANPET, **Anais...** p. 1-16. Curitiba, 1999.2014

SÃO PAULO (Estado). Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Índice comparado de desempenho da infraestrutura de transporte: IDT-FIESP 2010**. São Paulo, 2010.
SÃO PAULO (Estado). Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Índice Comparado de Desempenho da Infraestrutura de Transporte. IDT-FIESP 2013**. São Paulo, 2013.
Disponível em: <www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=73934>. Acesso em: 10 fev. 2015.

SÃO PAULO (Município). Companhia de Engenharia de Tráfego, CET. **Análise da mortalidade ocorrida por acidentes de trânsito em agosto e setembro de 2016**. São Paulo, 2016. 31p.

SCHOPF, A. R. **Proposição de uma lista de verificação para revisão de segurança viária de rodovias**. 2006. 189p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SECO, A. J. M., FERREIRA, S.M.P., SILVA, A.M.B., COSTA, A.H.P. **Manual do Planejamento de acessibilidades e transportes – Segurança Rodoviária**. Comissão de coordenação e desenvolvimento regional do norte, Portugal, 2008.

SEGANTINE, P. C. L. **Estudo do sinergismo entre os sistemas de informação geográfica e o de posicionamento global**. 2001. 237p. Tese (Livre-Docente em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SEGNESTAM, L. **Indicators of environment and sustainable development: theories and practical experience**. Washington: The world bank, 2002. 66p.

SILVA, A. P. **Gestão de acidentes na cidade universitária “Zeferino Vaz” com o uso de geotecnologias e softwares livres**. 2009. 178p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SILVA, A. R.; BATISTA, J. C.; OLIVEIRA, R. A.; CAMARGO, P. de O.; SILVA, J. F. C. Surveying and mapping of urban streets by photogrammetric traverse. In: XXXII INTERNATIONAL WORKSHOP ON MOBILE MAPPING TECHNOLOGY, 1999, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok, 1999 p. 1-4.

SILVA, J.F.C.; CRUZ, E.C.; CHAVES, M.D.; LEMES-NETO, M.C.; SHIMABUKURO, M. H. Aplicações e potencialidades do mapeamento móvel. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, 2012, Pres. Prudente. **Anais...** Presidente Prudente, 2012. p.1-6.

SILVA, J.F.C.; LEMES NETO, M.C.; BLASECHI, V. Automating the photogrammetric bridging based on MMS image sequence processing. In: 4th JOINT SYMPOSIUM OF ISPRS TECHNICAL COMMISSION I AND IAG COMMISSION, 2014, Denver. **Proceedings...**, Denver, 2014. p. 389-396.

SILVA, J.F.C.; OLIVEIRA, R.A. Triangulation of a sequence of terrestrial digital images. In: SYMPOSIUM ON DATA INTEGRATION: SYSTEMS AND TECHNIQUES, 1998, Cambridge. **Proceedings...** Cambridge, 1998. p. 273-277.

SILVA, K. C. R. **Aplicação do modelo de previsão de acidentes do HSM em rodovias de pista simples do Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.

SILVA, O.V.; SANTOS, S.G. Unidades de conservação ambiental no estado de São Paulo: retrospectiva histórica da instituição do parque estadual do Morro do Diabo-município de Teodoro Sampaio-Trajectoria histórica da aviação mundial. **Revista Eletrônica de Turismo**, v. 11, p. 29-35, 2009.

SIMÕES, F. A. **SEGTRANS**: sistema de gestão da segurança no trânsito urbano. 2001. 237p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SOUZA, N.C.; GIANOTTI, M.A.; LARROCA, A.P.C.; QUINTANILHA, J.A.; FILHO, G.S.A. Análise da associação entre as características topográficas e tipos de ocorrência de processos erosivos ao longo da linha férrea-estudo de caso: malha paulista/ALL (SP). **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v.20, n.4, p.947-969, out-dez. 2014.

TAO, C.V.; LI, J. **Advances in mobile mapping technology**. London: Taylor & Francis, 2007. 176p.

TRINDADE JÚNIOR, R.; BRAGA, M. G. C. Avaliação das informações estatísticas de acidentes de trânsito disponíveis nos sites dos departamentos estaduais de trânsito do Brasil. 2005. Disponível em: <<http://www.sinaldetransito.com.br/>>. Acesso em: 21 mai. 2014.

TSUCHIYA, I. **Regressão logística aplicada na análise espacial de dados arqueológicos**. 2002. 103p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

UK. Department for Transport. Road Casualties Great Britain: 2007 - Annual Report. Disponível em: <<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20110504070045/http://www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/accidents/casualtiesgbar/roadcasualtiesgreatbritain20071>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

UK. Department of Transport. Instructions for the Completion of Road Accident Reports. London, 2004. Disponível em: <<http://www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/accidents>>. Acesso em: 12 jul. 2013.

USDOT. **Model Minimum Uniform Crash Criteria**: MMUCC Guideline, 2008. v. 27, 148p.

VERHAGEN, J.; BOUMA, J. Modeling soil variability. In: PIERCE, J.F.; SADLER, E.J. **The state of sites pecific management for agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1997. p.55-68.

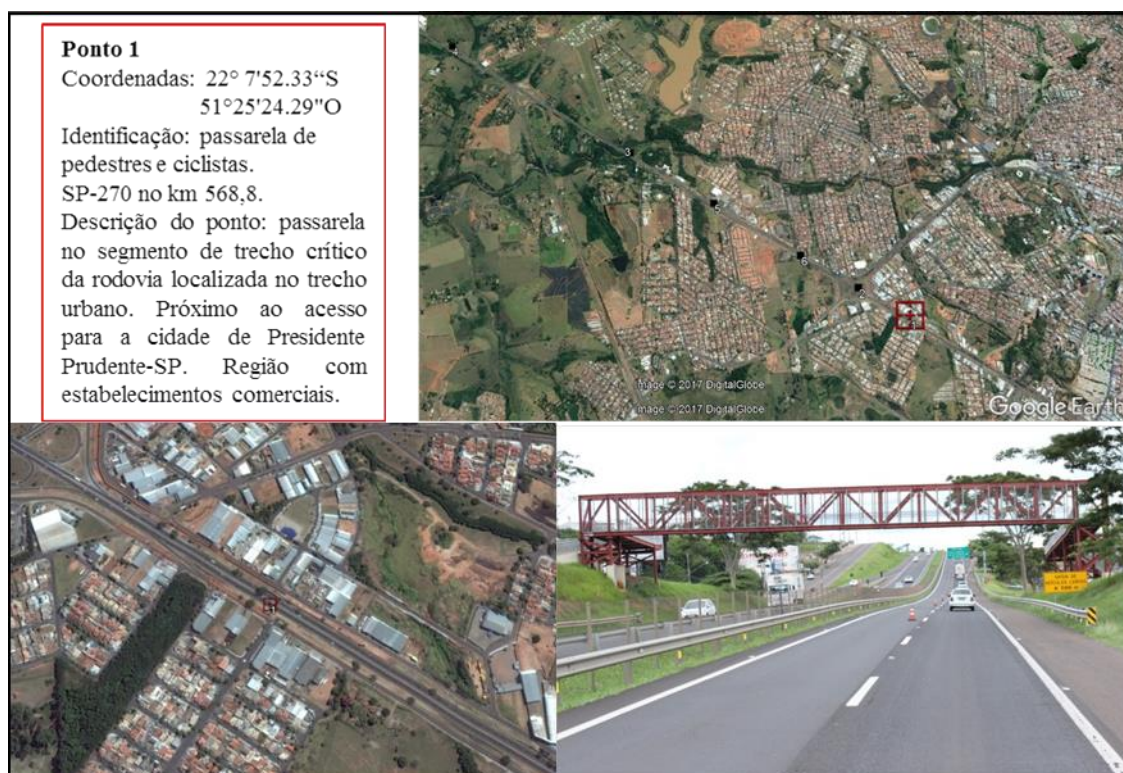
VIEIRA, H. **Avaliação de medidas de contenção de acidentes**: uma abordagem multidisciplinar. 1999. 416p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

WISCONSIN, D. **Pavement management decision support using a Geographic Information System**. Wisconsin Department of Transportation. Madison, 1990.

YAMAMOTO, K..J.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística**: conceitos e aplicações. São Paulo: Editora Oficina de textos, 2013. 215p.

APÊNDICE A – Memorial descritivo dos pontos notáveis

Este memorial descritivo apresenta a identificação, localização e imagem dos pontos notáveis dos segmentos de trechos críticos das rodovias SP-270, SP-294, SP-425 e SP-613. A localização dos pontos está em coordenadas geodésicas referenciadas em SIRGAS2000. A identificação refere-se ao tipo de ponto notável, rodovia e quilômetro da rodovia. Segue também uma breve descrição da região que circunda o ponto. As imagens foram obtidas pelo levantamento com Sistema Móvel de Levantamento nos dias 17.01.2017 e 18.01.2017.



Ponto 2

Coordenadas: 22° 7'41.06"S
51°25'40.58"O

Identificação: Obras no acostamento da pista.

SP-270 no km 569,4.

Descrição do ponto: Obras no acostamento da pista no segmento de trecho crítico da rodovia localizada no trecho urbano. Próximo ao acesso para a cidade de Presidente Prudente-SP.

**Ponto 3**

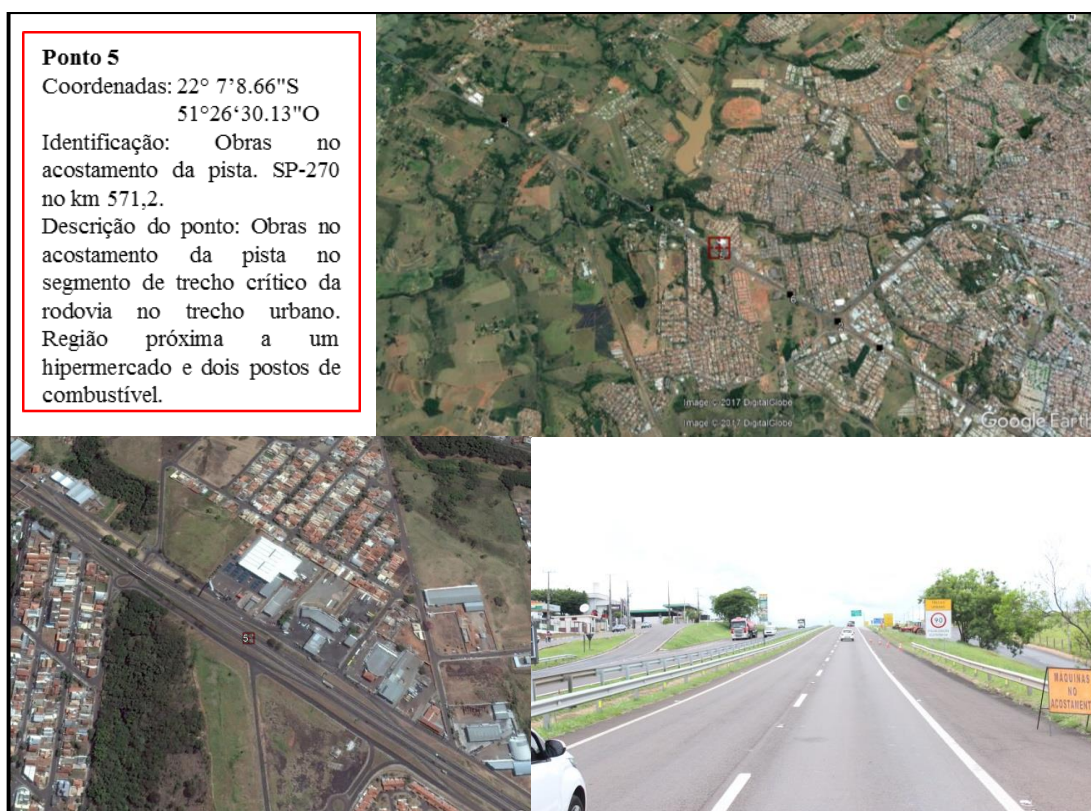
Coordenadas: 22° 6'47.67"S
51°27'1.22"O

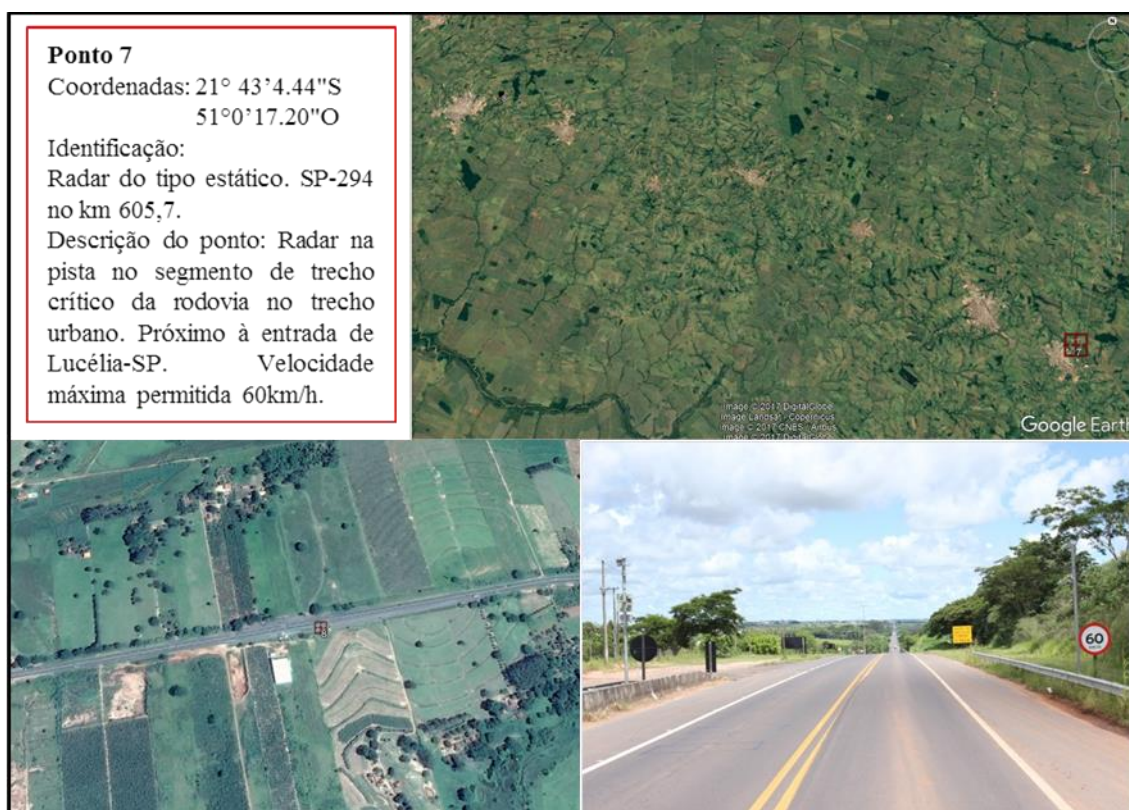
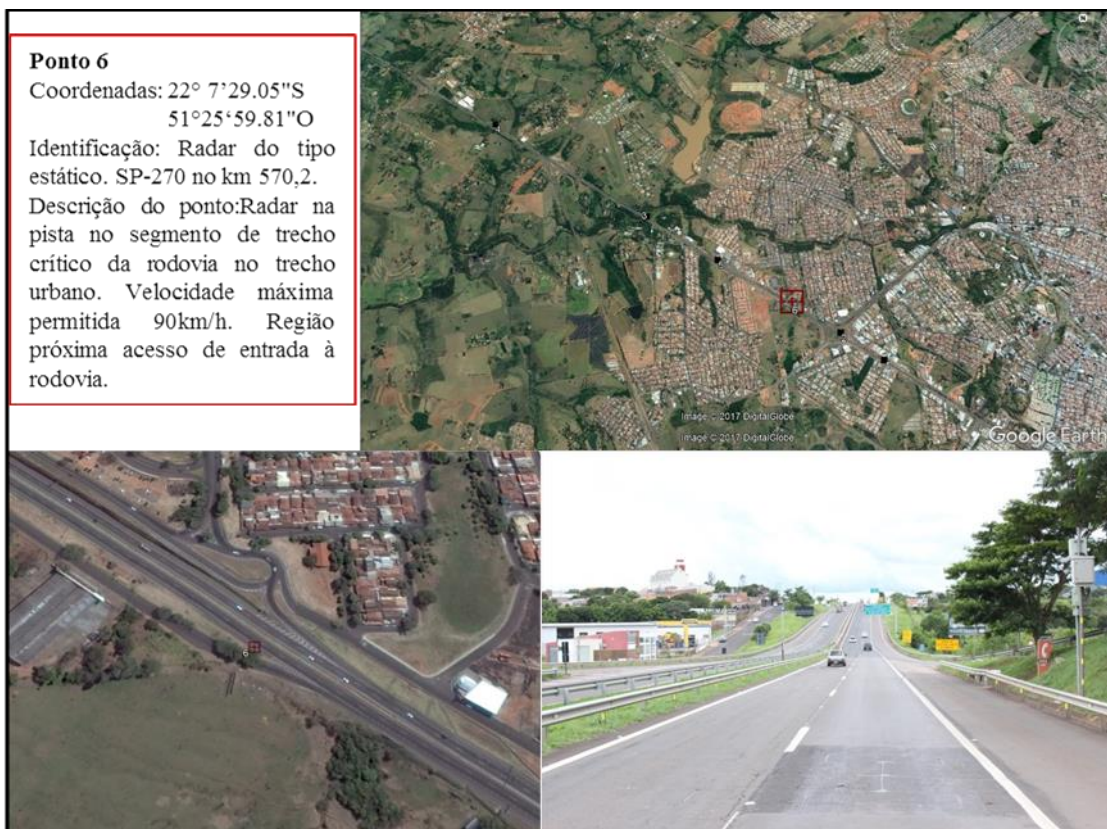
Identificação: Obras no acostamento da pista.

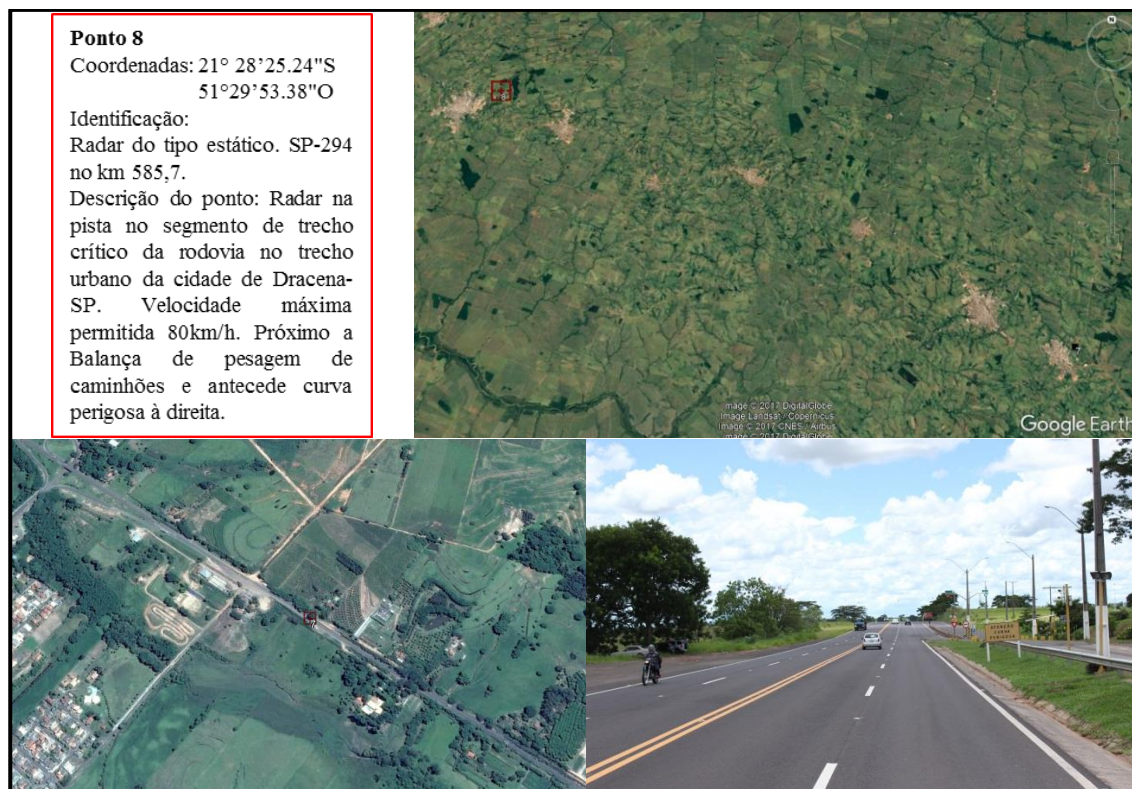
SP-270 no km 573.

Descrição do ponto: Obras no acostamento da pista no segmento de trecho crítico da rodovia.









ANEXO A – Classes e características físicas da rodovia

Classe	Características
Superfície pavimentada	Buracos na pista Resistência à derrapagem Formação de espelho d'água Presença de cascalho solto na pista Desnível entre faixa e acostamento
Curva	Raios das curvas horizontais Adoção de super largura Adoção de superelevação Incidência de curvas Combinação entre alinhamento horizontal e vertical
Interseções	Faixas adicionais e canalizações Iluminação artificial nas interseções
Sinalização	Quantidade adequada de placas de sinalização Uso de painéis de mensagem variável Uso de balizadores Legibilidade e conspicuidade da sinalização vertical
Elementos longitudinais	Iluminação de rampas Oportunidade de ultrapassagem Distâncias de visibilidade
Seção transversal	Larguras de faixas e acostamentos Pavimentos dos acostamentos Taludes laterais suaves, largura da faixa Acostamento em pontes
Usuário vulnerável	Tráfego de ciclistas/pedestres Travessias
Laterais	Presença de elementos perigosos na lateral da via Acessos à propriedade e comércio lindeira
Geral	Quantidade de outdoors comerciais Transição entre ambientes rural/urbano Compatibilidade entre velocidade regulamentada e diretriz Proteção contra invasão de animais de grande porte

Fonte: adaptado de Nodari (2003).

ANEXO B - Modelo de fatores contribuintes de acidentes de trânsito

Pesquisa de Fatores Contribuintes de Acidentes de Trânsito

Data: / /

Hora:

Boletim de Ocorrência de Acidente de Trânsito:

Boletim de Ocorrência de Acidente de Trânsito com Danos Materiais:

	Unidade 1 () veículo () ciclista () pedestre	Unidade 2 () veículo () ciclista () pedestre	Unidade 3 () veículo () ciclista () pedestre	Unidade 4 () veículo () ciclista () pedestre
Principal Fator Contribuinte				
Fatores Contribuintes				

Fator contribuinte viário-ambiental

1. Animal ou objeto na via
2. Desgaste (sup. lisa, escorregadia)
3. Desvio temporário
4. Marcação inadequada ou apagada
5. Molhado ou alagado
6. Redutor de velocidade
7. Acostamento (sem, em desnível)
8. Controle de tráfego oculto (vegetação, outro)
9. Chuva
10. Escuro - luz desconhecida
11. Obras (na via ou fora da via)
12. Semáforo ou sinalização (defeito, faltando)
13. Areia, barro, sujeira, cascalho, lama
14. Óleo
15. Traçado da via

Fator contribuinte veicular

- | | |
|--|--------------------------------|
| 16. Carga | 21. Pneu |
| 17. Direção | 22. Suspensão |
| 18. Engate | 23. Espelhos |
| 19. Freios | 24. Janelas/pára-brisa |
| 20. Luzes (farol, sinaliz. traseira, luz de freio) | 25. Vidro, limpadores ou filme |

Fator contribuinte humano

- Imprudência**
25. Exceder o limite de velocidade estabelecido
 26. Exceder velocidade segura razoável
 27. Muito veloz para a curva
 28. Seguindo muito próximo
- Erro de decisão**
29. Falhou ao dar preferência
 30. Curva imprópria (troca de faixa, trajetória)
 31. Falha ao parar (sinal, pedestre, preferencial)
- Falha na condução do veículo**
32. Violação com luz: sem faróis ou não baixou farol
 33. Uso impróprio do freio
- Infração**
34. Desobedecer ao semáforo
 35. Desobedecer a sinalização (preferencial)
 36. Desrespeitar faixa de pedestres
 37. Não concedeu direito de passagem a outro veículo
 38. Ultrapassagem imprópria
 39. Parar em local impróprio

Erro de desempenho ou reação

40. Falhar ao sinalizar ou sinalizar incorretamente
 41. Falhar ao olhar corretamente
 42. Falhar ao julgar o caminho, velocidade ou espaço
 43. Curva ou manobra ruins, curva não apropriada
 44. Desviar brusco/errôneo, movimento excessivo na direção (demorar, desviar de um objeto ou veículo)
 45. Perder o controle do veículo
 46. Controle de direção insuficiente
 47. Saiu da via
 48. Falha ao manter o veículo na própria faixa
- Debilidade ou distração**
49. Desatenção (atenção inadequada)
 50. Aparentemente cansado/fadigado/dormindo
 51. Aparentemente doente (incapacidade ou debilidade física ou mental)
 52. Prejudicado pela ingestão de álcool
 53. Prejudicado pelo uso de drogas (ilícitas ou medicamentos)
 54. Distração por equipamento de comunicação
 55. Distração dentro do veículo
 56. Distração fora do veículo

Comportamento ou inexperiência

57. Dirigir com agressividade
58. Descuidado, negligente ou com pressa

Visão prejudicada

59. Vegetação
60. Traçado da via (inclinação, curva)
61. Predios, sinalização de trânsito ou mobiliário urbano
62. Visão prejudicada por reflexo (farol, sol)
63. Vidro ou pára-brisa sujo ou amarelado
64. Visão prejudicada de dentro do veículo
65. Não usar faróis a noite ou em situações com pouca visibilidade

Ação/circunstâncias do não-condutor

66. Falhou ao respeitar sinal de tráfego, sinalização, agente ou direito de passagem
67. Relacionado a veículo parado ou estagado (trabalhando no veículo, empurrando, saindo ou entrando no veículo)
68. Passagem imprópria
69. Uso incorreto dos recursos de travessia para pedestres
70. Falhar ao julgar a velocidade ou caminho do veículo
71. Ação perigosa na via (parado, deitado, trabalhando, brincando)
72. Prejudicado pelo consumo de álcool
73. Prejudicado pelo consumo de drogas (ilícitas e medicamentos)
74. Descuidado, desatento, negligente ou com pressa

Casos Especiais

75. Veículo roubado ou usado para cometer crime
76. Veículo de emergência atendendo a um chamado
77. OUTRO:

Fonte: Chagas (2011).

ANEXO C – Listagem de definições dos fatores contribuintes da via para os acidentes

Fator contribuinte	Situação
Desgaste da via	Quando a condição de superfície da via, desgastada, lisa, escorregadia, irregular ou com buracos, contribui para a ocorrência do acidente.
Desvio temporário	Quando a condição de via contribui para a ocorrência do acidente.
Marcação inadequada ou apagada	Quando a condição da via contribui para a ocorrência do acidente.
Via molhada ou alagada	Quando a condição da via, molhada ou alagada, contribui para a ocorrência do acidente.
Redutor de velocidade	Quando a presença do redutor de velocidade contribui para a ocorrência do acidente.
Acostamento em desnível ou faltando	Quando a condição do acostamento contribui para a ocorrência do acidente.
Controle de tráfego oculto	Quando o controle de tráfego está oculto por vegetação ou outro elemento e esta condição contribui para a ocorrência do acidente.
Escuro	Quando a condição de pouca luminosidade contribui para a ocorrência do acidente.
Obras na via ou fora	Quando a presença de obras na via ou entorno contribui para a ocorrência do acidente.
Sinalização com defeito ou faltando	Quando o defeito ou ausência de sinalização contribui para a ocorrência do acidente.
Areia, barro, sujeira, cascalho	Quando a superfície da via, com presença de detritos, contribui para a ocorrência do acidente.
Óleo na via	Quando a presença de óleo na via contribui para a ocorrência do acidente.
Traçado da via	Quando a geometria da via contribui para a ocorrência do acidente.

Fonte: adaptado de Chagas (2011).