



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**PROPOSTA METODOLÓGICA BASEADA EM GIS PARA
ANÁLISE DOS SEGMENTOS CRÍTICOS DE RODOVIA –
ESTUDO DE CASO NA BR-285/RS**

ANELISE SCHMITZ

**FLORIANÓPOLIS, SC
2011**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ANELISE SCHMITZ

**PROPOSTA METODOLÓGICA BASEADA EM GIS PARA
ANÁLISE DOS SEGMENTOS CRÍTICOS DE RODOVIA –
ESTUDO DE CASO NA BR-285/RS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

**ORIENTADORA
PROF.^a DR.^a LENISE GRANDO GOLDNER**

**FLORIANÓPOLIS, SC
2011**

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

S355p Schmitz, Anelise
Proposta metodológica baseada em GIS para análise dos
segmentos críticos de rodovia [dissertação] : estudo de caso
na BR-285/RS / Anelise Schmitz ; orientadora, Lenise Grando
Goldner. - Florianópolis, SC, 2011.

142 p.: il., grafs., tabs., mapas

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

Inclui referências

1. Engenharia civil. 2. Sistema viário - Medidas de
segurança. 3. Sistemas de informação geográfica. I. Goldner,
Lenise Grando. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 624

ANELISE SCHMITZ

**PROPOSTA METODOLÓGICA BASEADA EM GIS PARA
ANÁLISE DOS SEGMENTOS CRÍTICOS DE RODOVIA –
ESTUDO DE CASO NA BR-285/RS**

Dissertação julgada adequada para obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof^ª. Dra. Janaíde Cavalcante Rocha
(Coordenadora do PPGEC/UFSC)

Banca Examinadora:

Prof^ª. Dra. Lenise Grando Goldner
(Orientadora – PPGEC/UFSC)

Prof. Dr. Amir Mattar Valente
(PPGEC/UFSC)

Prof. Dr. Archimedes Azevedo Raia Júnior
(PPGEU/UFSCar)

Prof. Dra. Dora Maria Orth
(PPGEC/UFSC)

Florianópolis, 17 de Março de 2011.

Dedico esta conquista aos meus pais e aos meus irmãos, que sempre estiveram ao meu lado apoiando no que fosse necessário.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus.

Agradeço à minha família, em especial a meus pais, Lauro e Clair, meus irmãos Douglas e Taíza, minha cunhada Catídia e meu sobrinho Samuel pelas alegrias da vida.

Agradeço à Professora Dra. Lenise Grando Goldner, pela oportunidade concedida, pela amizade e pela orientação.

Ao Programa de Pós-Graduação pela oportunidade concedida e pelo apoio.

Aos Professores e funcionários do PPGEC/UFSC pelo apoio fundamental para realização deste projeto.

Aos Professores e amigos da UNIJUÍ, em especial Raquel Kohler, Luciano Specht e Cristina Pozzobon, pelo incentivo e apoio desde o início desta trajetória.

Aos colegas do DAER pelo apoio e compreensão nas minhas visitas a Florianópolis.

Ao Coordenador do Pedágio da COVIPLAN, Júlio César Weingärtner, por viabilizar o acesso aos dados de tráfego no trecho.

Ao Chefe da 10ª DPRF/Ijuí/RS, Ednilson Brunning Schoef, e ao Chefe de Policiamento, Ervino Maciel da 10ª DPRF/Ijuí/RS, pelos dados de acidentes e de volumes de tráfego fornecidos para elaboração da pesquisa.

A todos os meus amigos e amigas, pelo aprendizado, acolhimento e carinho. Em especial aos amigos de Chiapetta, pois, nem o passar do tempo, a distância, os diferentes rumos e consequências da vida puderam nos separar. Aos amigos de Ijuí, Florianópolis, Porto Alegre e pelo mundão afora...

Agradeço aos amigos e amigas Bruna, Ana Bottega, Cheila, Carline, Frã, Jaci, Luciara, Luciane, Lady, Lia, Mari, Pique, Fernanda, Gabi, Isma, Ana (Galega), Marta, Gustavo, Rogério, Márcio, Marcos, Mauro, pela aprendizagem, pelo apoio, pelo carinho, pelas festas e pela amizade.

Aos colegas e amigos da UFSC, especialmente agradeço a Josiane, ao Márcio, Adão e Renato, pelos ensinamentos em GIS.

A todos aqueles que contribuíram para realização deste trabalho e não estão mencionados aqui. Muito obrigada.

“Nunca se é jovem demais ou velho demais para aprender as grandes lições de vida... É sempre o momento certo.”

Hal Urban

RESUMO

A segurança viária é fundamental para que os pedestres e motoristas usufruam das vias. No entanto, a infraestrutura do sistema viário brasileiro apresenta, em modo geral, níveis de serviço saturados, além de problemas relacionados à falta de planejamento e manutenção. O objetivo da presente pesquisa foi propor um método baseado em um Sistema de Informação Geográfica (*Geographic Information System – GIS*) para a análise de segmentos críticos de rodovia, que possibilitou analisar espacialmente os segmentos críticos para o estudo de caso da rodovia federal BR-285, localizada no Sul do Brasil. O período da pesquisa abrangeu os anos de 2007 e 2008. Através dos registros dos boletins de ocorrência fornecidos pelo Departamento de Polícia Rodoviária Federal (DPRF), foram georreferenciados os acidentes de trânsito em uma malha rodoviária georreferenciada e dividida em segmentos rurais e urbanos cujas extensões variam de 1 a 1,9 km. Da extensão total da rodovia de 674.2 km totalizaram-se 641 segmentos, sendo 580 segmentos rurais e 61 segmentos urbanos. Observou-se que, em média, 14% dos segmentos rurais e 25% dos segmentos urbanos foram considerados críticos. Os volumes de tráfego foram obtidos junto às concessionárias que atuam no trecho, além das contagens de tráfego do DPRF e de contagens volumétricas realizadas em campo. A partir daí, calcularam-se os segmentos críticos baseados nos índices de acidentes do método estatístico do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (1986) e as taxas de acidentes do método numérico do Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN (1987). Através do banco de dados, da implementação, da associação entre dados gráficos e alfanuméricos obtiveram-se os segmentos críticos, que foram manipulados, analisados e propostas medidas mitigadoras comuns aos principais deles. Observou-se que a maioria dos acidentes ocorridos em áreas urbanas envolveram colisões e atropelamentos, principalmente nas interseções com as vias municipais, devido ao alto volume de tráfego e de pessoas que circulam nesses trechos. A maioria dos acidentes ocorridos em áreas rurais envolveu saídas de pista, principalmente em tangentes seguidas de curvas acentuadas. Desta forma, a rodovia carece de melhorias na segurança viária e na sua infraestrutura básica. Portanto o método proposto torna-se uma ferramenta importante para o gerenciamento da segurança viária,

podendo ser aplicado em diferentes cenários, de diferentes localizações permitindo a visualização espacial dos eventos.

Palavras-chave: Segurança Viária, Segmentos críticos, *Geographic Information System* – GIS

ABSTRACT

Road safety is essential for pedestrians and drivers to enjoy the benefits of road systems but in general, the services provided by the Brazilian road infrastructure system are saturated and there are problems stemming from lack of planning and proper maintenance.. This paper proposes a Geographic Information System-based method to analyze critical segments of roads. It has been applied specifically in a case study of Federal Highway BR-285 in southern Brazil. The GIS-based methodology makes use of Federal Highway Police Department's (DPRF) traffic accident registration system. The sites of accidents were geo-referenced within a road system sub-divided for study purposes into rural and urban segments ranging from 1.0 to 1.9 km long. The total road network length of 674.2 km was divided into 641 segments; 580 in rural areas and 61 in urban areas. On average, 14% of rural segments and 25% of urban segments were considered critical. The study took place in 2007 and 2008. Traffic volume figures were obtained from the highway concession holders involved and from traffic counts conducted by the DPRF as well as volumetric measurements made during fieldwork. The critical segments were identified using the statistical method for accident index calculation used by the National Transport Infrastructure Department – DNIT (1986) and the accident rates calculated using the numerical method of the National Traffic Department – DENATRAN (1987). Using the geographic data, implementation of the data and the associations detected between the two, the critical segments were identified and analyzed and common mitigation measures were proposed for the most critical segments. The study found that most of the accidents in urban areas involved collisions and people getting run over, especially at intersections with minor roads; due to the high density of traffic and numbers of pedestrians circulating in them. Most of the accidents in rural roads involved veering off the road especially in tangents followed by sharp bends. The roads require improvements to safety aspects and infrastructure. The proposed methodology revealed itself as an important road safety management tool and can be usefully applied in a variety of scenarios and locations.

Key words: Road Safety, Critical segments, Geographic Information System – GIS

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO..... | 29 |
| 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 29 |
| 1.2 OBJETIVOS | 31 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA..... | 31 |
| 1.4 ÁREA DE ESTUDO | 33 |
| 1.5 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO | 34 |
| | |
| CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 35 |
| 2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 35 |
| 2.2 ORGANIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RODOVIÁRIO BRASILEIRO..... | 35 |
| 2.3 ACIDENTES DE TRÂNSITO..... | 38 |
| 2.3.1 Fatores de influência..... | 38 |
| 2.3.1.1 Elemento Humano..... | 40 |
| 2.3.1.2 Veículos..... | 41 |
| 2.3.1.3 Deficiência da via pública | 41 |
| 2.3.1.4 Ambientes construídos e o Meio Ambiente | 41 |
| 2.3.1.5 Aspectos sociais e constitucionais..... | 42 |
| 2.3.2 Classificação e estatísticas dos acidentes de trânsito | 42 |
| 2.3.3 Metodologias para redução de acidentes de trânsito..... | 47 |
| 2.3.4 Coleta de dados dos acidentes de trânsito..... | 48 |
| 2.3.5 Identificação de locais críticos..... | 50 |
| 2.3.5.1 Métodos Numéricos | 50 |
| 2.3.5.2 Métodos Estatísticos | 52 |
| 2.3.5.3 Método da Técnica de Conflitos..... | 53 |
| 2.3.5.4 Método da Auditoria de segurança..... | 54 |
| 2.3.6 Diagnóstico dos acidentes de trânsito..... | 55 |
| 2.4 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM – GIS)..... | 58 |
| 2.4.1 Origens e aplicações de GIS | 58 |

| | |
|---|----|
| 2.4.2 Representação de dados em um GIS | 59 |
| 2.4.3 Elementos de um GIS | 62 |
| 2.4.4 Tratamento espacial de dados de acidentes de trânsito | 62 |
| 2.4.4.1 Projeto conceitual (modelagem dos dados)..... | 62 |
| 2.4.4.2 Projeto lógico (estrutura do banco de dados geográficos)..... | 63 |
| 2.4.4.3 Projeto físico (implementação dos dados)..... | 64 |
| 2.4.5 Uso e aplicações de GIS em segurança viária | 64 |
| 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 70 |

CAPÍTULO 3 - MÉTODO PROPOSTO

| | |
|---|----|
| 3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS..... | 71 |
| 3.2 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 73 |
| 3.3 ESCOLHA DO SOFTWARE | 73 |
| 3.4 OBTENÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA | 73 |
| 3.5 COLETA DOS DADOS | 74 |
| 3.5.1 Coleta de dados dos Acidentes de Trânsito | 74 |
| 3.5.2 Coleta de dados do Volume de Tráfego | 76 |
| 3.6 DESENVOLVIMENTO DO GIS | 77 |
| 3.6.1 Projeto Conceitual | 77 |
| 3.6.1.1 Preparação da base cartográfica | 77 |
| 3.6.1.2 Segmentação da malha rodoviária..... | 77 |
| 3.6.1.3 Caracterização do ambiente | 78 |
| 3.6.1.4 Modelagem e entrada dos dados alfanuméricos dos acidentes de trânsito e do VDMA | 78 |
| 3.6.1.5 Cálculo das taxas dos acidentes de trânsito..... | 81 |
| 3.6.1.6 Cálculo do Índice de acidentes de trânsito | 82 |
| 3.6.2 Projeto lógico | 85 |
| 3.6.3 Projeto físico..... | 89 |
| 3.6.3.1 Implementação dos dados | 89 |
| 3.6.3.2 Associação entre dados geográficos e alfanuméricos .. | 90 |
| 3.6.3.3 Segmentos críticos tratados e comparação entre os métodos | 90 |

| | |
|---|-------------|
| 3.6.3.4 Manipulação dos dados | 90 |
| 3.7 PROPOSTA DE MEDIDAS MITIGADORAS COMUNS..... | 91 |
| 3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 91 |
| CAPÍTULO 4 - ANÁLISES E RESULTADOS..... | 93 |
| 4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 93 |
| 4.2 ANÁLISE E IMPORTÂNCIA DA RODOVIA EM ESTUDO .. | 93 |
| 4.3 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS | 96 |
| 4.3.1 Registros de acidentes de trânsito..... | 96 |
| 4.3.2 Volume de tráfego | 104 |
| 4.3.3 Segmentação e caracterização do ambiente..... | 105 |
| 4.3.4 Segmentos críticos | 106 |
| 4.3.5 Diagnóstico..... | 114 |
| 4.4 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO | 122 |
| 4.5 PROPOSTA DE MEDIDAS MITIGADORAS COMUNS AOS PRINCIPAIS SEGMENTOS CRÍTICOS | 123 |
| CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES..... | 127 |
| REFERÊNCIAS | 133 |
| APÊNDICES..... | (CD) |
| APÊNDICE A – PREPARAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA | (CD) |
| APÊNDICE B – PLANILHAS DE ACIDENTES DE TRÂNSITO | (CD) |
| APÊNDICE C – PLANILHAS DE SEGMENTAÇÃO DA RODOVIA | (CD) |
| APÊNDICE D – PLANILHAS DE SEGMENTOS CRÍTICOS .. | (CD) |
| APÊNDICE E – DETALHES DOS SEGMENTOS CRÍTICOS ESCOLHIDOS | (CD) |

ANEXOS..... (CD)

ANEXO A – REFERENCIAMENTO LINEAR DO ARCGIS ... (CD)

ANEXO B – MEDIDAS CORRETIVAS (CD)

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Mapa da região Sul do Brasil e a BR-285..... | 33 |
| Figura 2. Fatores contribuintes pela segurança viária | 39 |
| Figura 3. Diferentes representações matriciais para um mapa | 61 |
| Figura 4. Elementos da representação vetorial..... | 62 |
| Figura 5. Fluxograma do método proposto | 72 |
| Figura 6. Segmentos urbanos e rurais da rodovia em estudo | 94 |
| Figura 7. Pontos de acidentes de trânsito na BR-285 para os anos de 2007 e 2008..... | 97 |
| Figura 8. Percentuais de Acidentes de Trânsito por severidade ocorridos em 2007 e 2008 | 98 |
| Figura 9. Percentual dos registros por tipo de acidentes ocorridos em 2007 e 2008..... | 99 |
| Figura 10. Segmento crítico km 145+001 ao km 146+000..... | 99 |
| Figura 11. Caracterização da geometria da rodovia km 140+000 a 141+600 | 100 |
| Figura 12. Segmento crítico km 120+001 ao km 121+00..... | 101 |
| Figura 13. Percentual dos acidentes de trânsito conforme a condição climática ocorridos em 2007 e 2008..... | 101 |
| Figura 14. Percentual de acidentes de trânsito conforme a fase do dia ocorrida em 2007 e 2008..... | 102 |
| Figura 15. Percentagem de veículos envolvidos em acidentes de trânsito ocorridos em 2007 e 2008 | 103 |
| Figura 16. Mapa do Rio Grande do Sul representando os Índices de segmentos críticos urbanos e rurais da BR-285 pelo método DNER (1986) no ano de 2007..... | 108 |
| Figura 17. Mapa do Rio Grande do Sul representando os Índices de segmentos críticos urbanos e rurais da BR-285 pelo método DNER (1986) no ano de 2008..... | 109 |
| Figura 18. Mapa do Rio Grande do Sul representando as Taxas de segmentos críticos urbanos e rurais da BR-285 pelo método DENATRAN (1987) no ano de 2007..... | 110 |

| | |
|---|-----|
| Figura 19. Mapa do Rio Grande do Sul representando as Taxas de segmentos críticos urbanos e rurais da BR-285 pelo método DENATRAN (1987) no ano de 2008..... | 111 |
| Figura 20. Imagem de Satélite com a sobreposição do vetor do GIS da Rodovia BR-285 trecho Entroncamento com a RS/155 e Entroncamento entre a RS/342 entre os km 457+000 e km 458+000. | 112 |
| Figura 21. Imagem de Satélite com a sobreposição do vetor do GIS da Rodovia BR-285 trecho urbano de contorno da cidade de Ijuí, RS, Brasil | 113 |
| Figura 22. Problemas na Infraestrutura básica da rodovia | 114 |
| Figura 23. Imagem aérea do segmento com a sobreposição do vetor da rodovia (km 121+001 ao km 122+000)..... | 118 |
| Figura 24. Imagem no sentido crescente da rodovia (km 121+001 ao km 122+000) (a) | 119 |
| Figura 25. Imagem no sentido crescente da rodovia (km 121+001 ao km 122+000) (b) | 119 |
| Figura 26. Imagem no sentido crescente da rodovia (km 121+001 ao km 122+000) (c) | 120 |
| Figura 27. Imagem no sentido crescente da rodovia (km 121+001 ao km 122+000) (d) | 120 |
| Figura 28. Comparação dos métodos de cálculo..... | 123 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1. Cenário do Sistema Rodoviário Brasileiro por tipo e extensão de rodovia - 2010..... | 37 |
| Tabela 2. Estatísticas de acidentes de trânsito no Brasil - 2000 a 2008..... | 45 |
| Tabela 3. Indicadores de Acidentes de trânsito para países selecionados - 2005 | 46 |
| Tabela 4. Custos totais dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras (R\$ dez/2005) | 47 |
| Tabela 5. Valores de UPS pesquisados | 81 |
| Tabela 6. Nível de significância e valores do coeficiente estatístico | 85 |
| Tabela 7. Detalhamento do VDMA nos trechos | 105 |
| Tabela 8. Número de segmentos críticos..... | 106 |
| Tabela 9. Segmentos críticos selecionados | 115 |
| Tabela 10. Segmento crítico do km 121+000 ao km122+000..... | 116 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1. Classificação dos acidentes de trânsito..... | 43 |
| Quadro 2. Tipos de dados em um geoprocessamento | 60 |
| Quadro 3. Campos de informações de acidentes nas planilhas do BD.. | 79 |
| Quadro 4. Informações dos segmentos..... | 86 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|----------|--|
| BAT | Boletim de Acidente de Trânsito |
| BO | Boletim de Ocorrência |
| CAD | Computer-Aided Design |
| CBUQ | Concreto Betuminoso Usinado a Quente |
| CER | Companhia de Estradas de Rodagem |
| CET | Companhia de Engenharia de Tráfego |
| CNT | Confederação Nacional de Transportes |
| COVIPLAN | Concessionária Rodoviária do Planalto S.A. |
| CTB | Código de Trânsito Brasileiro |
| DAER | Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem |
| DENATRAN | Departamento Nacional de Transportes |
| DNER | Departamento Nacional de Estradas de Rodagem |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura |
| DPRF | Departamento de Polícia Rodoviária Federal |
| GIS | Sistema de Informação Geográfica |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| GPS | Global Positioning System |
| IHT | Institution of Highways and Transportation |
| IPEA | Instituto de Pesquisa e Economia Aplicada |
| MT | Ministério dos Transportes |
| OMS | Organização Mundial de Saúde |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| PNLT | Plano Nacional de Logística e Transportes |
| PNV | Plano Nacional de Viação |
| PRF | Polícia Rodoviária Federal |
| RENAEST | Registro Nacional de Acidentes e de Estatísticas |
| RODOSUL | Concessionária de Rodovias Rodosul S.A. |
| RS | Rio Grande do Sul |
| UPS | Unidade Padrão de Severidade |
| UNIT | Unidade de Infraestrutura Terrestre |
| VDM | Volume Diário Médio |
| VDMA | Volume Diário Médio Anual |

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O desenvolvimento econômico, político e social estão diretamente ligados aos sistemas de transporte de um país. No sistema brasileiro, o modal rodoviário é o que mais se destaca, tanto para o transporte de produtos para importação e exportação, quanto para o transporte de passageiros, além de ser o meio que garante a ligação de todos os outros modais, através da conexão de portos, ferrovias, hidrovias e aeroportos.

Com o incentivo da economia capitalista, que destaca a mobilidade individual e a prosperidade material, o automóvel tornou-se um meio de transporte usado por indivíduos em particular, ocasionando o aumento da frota de veículos e o desenvolvimento da indústria automobilística. Como consequência, fez com que o modal rodoviário aumentasse paralelamente com os problemas de segurança viária, nos quais os acidentes de trânsito estão incluídos e são causas das grandes preocupações em âmbito mundial (ANTP, 2003).

Em função do sistema viário brasileiro e da necessidade de melhorias no seu desenvolvimento e infraestrutura, é fundamental garantir segurança aos usuários, visando à redução dos índices dos acidentes e, conseqüentemente, seus custos.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) relata que mais de 3 mil pessoas morrem em estradas no mundo todos os dias. Estima-se que cerca de 1,2 milhões de pessoas morrem e 50 milhões são lesionadas por ano. Crianças, pedestres, ciclistas e idosos são os usuários mais vulneráveis. De todos os tipos de mortalidade, aquele proporcionado pelo sistema de tráfego é o mais complexo e perigoso. As projeções indicam que o número de acidentes de trânsito aumentará aproximadamente 65% nos próximos 20 anos, a menos que haja ações de prevenção (WHO, 2004).

No Brasil, a falta de infraestrutura e a situação precária da segurança nas rodovias e vias urbanas revelam altos números de acidentes. As estimativas correspondem a aproximadamente 20 mil vítimas fatais, 322 mil feridos no local do acidente, 408 mil vítimas não fatais, segundo as estatísticas do Registro Nacional de Acidentes e de

Estatísticas (RENAEST) estabelecidas para todo o Brasil, realizadas pelo Departamento Nacional de Transportes - DENATRAN (2006).

Nas rodovias federais, as estatísticas para o ano de 2009 registram 159 mil acidentes, com 94 mil feridos, 7,3 mil mortos e 12 mil não informados (DNIT, 2009). No Rio Grande do Sul (RS), para rodovias federais e estaduais, esses números contemplam cerca de 1,8 mil vítimas fatais, 23 mil feridos e 29,8 mil vítimas não fatais no local do acidente, dados estes consolidados pelo DENATRAN (2006). Apenas em rodovias estaduais ocorreram cerca de 10 mil acidentes, com 432 mortos, 7,4 mil feridos (DAER, 2009).

Esse montante de acidentes vem atribuindo altos custos econômicos à sociedade. Por exemplo, na análise dos custos em rodovias brasileiras, na pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisa e Economia Aplicada (IPEA) e pelo DENATRAN (2006), os custos são estimados em cerca de R\$ 22 bilhões por ano, considerados, para tanto, os acidentes de trânsito ocorridos em 2004, com valores em Reais referentes ao ano de 2005. Já em áreas urbanas, segundo o IPEA (2003), esse custo representa R\$ 5,3 bilhões por ano, considerados os acidentes de trânsito ocorridos em 2001, com valores em reais referentes ao ano de 2003.

As estimativas internacionais dos custos com acidentes de trânsito apresentam a ordem de 1% a 3% do Produto Interno Bruto (PIB) de cada país. Os custos dos acidentes rodoviários, que incluem a perda de qualidade de vida, variam entre 0,5 a 5,7%, com média de 2,5% do PIB. Excluído o custo de qualidade de vida, os valores oscilam entre 0,32 e 2,8%, com média de 1,3% do PIB (VASCONCELLOS, 2005; ELVIK, 2000 *apud* ROSA; LINDAU, 2004).

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

Na engenharia de tráfego, busca-se o melhor método para o desenvolvimento de uma base de dados sistêmica e atualizada, por exemplo, através de um Sistema de Informação Geográfica (*Geographic Information System – GIS*). Isso permite que, por meio do levantamento de dados e informações cadastrais das rodovias e vias, possam identificar-se os acidentes de trânsito relacionados às condições da via,

sinalização, localização, locais críticos, entre outras características viárias e de tráfego.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa foi elaborar e aplicar um método baseado na concepção de um GIS para a análise dos acidentes de trânsito ocorridos em rodovias. A pesquisa foi desenvolvida em caráter qualitativo e quantitativo, através da utilização de dois métodos conceituais elaborados pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (1986), atual Departamento Nacional de Infraestrutura– DNIT e pelo Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN (1987) para análise de segmentos críticos de rodovias. O estudo de caso foi desenvolvido para a BR-285, no trecho situado no Estado do Rio Grande do Sul.

Objetivos específicos

- a) Desenvolvimento de um GIS para o geoprocessamento de dados alfanuméricos, através das informações obtidas no período de 2007 e 2008;
- b) Diagnóstico dos segmentos críticos que apresentaram maior risco, identificando os tipos de acidentes e as causas prováveis, com o auxílio das visualizações espaciais de um GIS;
- c) Apresentação de medidas mitigadoras comuns para os tipos de acidentes que ocorreram nos segmentos críticos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os acidentes de trânsito resultam em danos aos veículos e suas cargas, geram lesões em pessoas, além de altos custos à sociedade, tanto em termos pessoais, como dor e sofrimento aos acidentados, parentes e amigos, quanto em termos econômicos, como perdas materiais e de tempo dos envolvidos, custos hospitalares, perdas na produção e custos do governo para atender aos feridos, reorganizar o trânsito e repor a sinalização danificada (VASCONCELLOS, 2005).

Gold (1998) aponta que a inadequação dos veículos, da sinalização, da construção e manutenção das vias, são fatores que contribuem para a ocorrência dos acidentes de trânsito. No entanto, as melhorias através da engenharia de tráfego poderiam diminuir o peso atribuído ao fator humano.

A preocupação com a prevenção pode solidificar-se por meio do estudo das causas dos acidentes de trânsito e da análise de locais críticos. O conhecimento dessas causas é de fundamental importância para que os usuários das vias públicas possam usufruir de suas viagens, seja por meio de veículos individuais ou coletivos (GOLD, 1998; BAGINSKI, 1995).

O exposto acima apresenta a dimensão do problema. Intervenções em segmentos críticos poderiam reduzir substancialmente a ocorrência de acidentes, quando não eliminá-los totalmente. Porém, muitos estudos não consideram a severidade das ocorrências em segmentos críticos, ou a influência do tráfego, do ambiente etc. Assim, são realizadas análises não tão detalhadas, que não consideram as taxas ou índices, ou seja, elaboram um diagnóstico não tão apropriado.

O estudo dos acidentes de trânsito, visando diagnosticar segmentos críticos e propor medidas mitigadoras comuns, por meio de ferramentas como o GIS, contribui para a minimização do problema e representa um importante passo para que sejam realizadas as análises precisas e detalhadas, levando em consideração o cálculo de índices ou taxas de acidentes de trânsito em segmentos da rodovia para que seja possível intervir com soluções adequadas.

Os GIS's são ferramentas, apesar de conhecidas, pouco exploradas pelos órgãos gestores de tráfego e trânsito no Brasil. Por isso, faz-se necessária a aplicação do sistema para a criação de métodos práticos e de fácil acesso, permitindo a inserção e a visualização do banco de dados, a criação de cadastros e facilitando as análises dos acidentes de trânsito.

Através da verificação de diversos cenários em um GIS, podem ser representados o sistema de trânsito atual e as previsões no planejamento da infraestrutura, facilitando o monitoramento das ações corretivas e seu efeito positivo ou não.

O emprego do GIS proporciona a identificação, a visualização e a análise de áreas problemáticas, através da relação do espaço com os dados e informações armazenadas dos acidentes de trânsito, volume de tráfego e das características da rodovia. O GIS torna-se uma ferramenta muito útil, acessível e eficaz.

1.4 ÁREA DE ESTUDO

A BR-285 é uma rodovia transversal brasileira, situada no sul do país. Inicia-se em Araranguá, Santa Catarina, e possui uma extensão total de 722 quilômetros e se desenvolve no sentido leste-oeste, conforme destaca a figura 1.



Figura 1. Mapa da região Sul do Brasil e a BR-285

A área delimitada ao estudo foi o trecho da BR-285 localizado no Estado do Rio Grande do Sul, que inicia na divisa entre o Estado do Rio Grande do Sul – RS e Santa Catarina – SC (Serra da Rocinha) e finaliza no município de São Borja/RS, na divisa do Brasil com a Argentina, totalizando uma extensão de 674,2 km, patrulhado pela Polícia Rodoviária Federal Brasileira (PRF).

1.5 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

O estudo desenvolvido é apresentado em cinco capítulos descritos a seguir.

O capítulo 1 apresenta a introdução a respeito dos acidentes de trânsito e os GIS's, os objetivos da presente pesquisa, assim como justificativa, informações e relevância do tema e área de estudo.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica. Aborda a organização e o desenvolvimento do sistema rodoviário brasileiro, os acidentes de trânsito, através dos fatores de influência, das metodologias para coleta de dados, da identificação de locais críticos, diagnóstico e avaliação de medidas corretivas. O capítulo também destaca a importância e uso dos GIS's nas análises e aplicações em segurança viária.

O capítulo 3 apresenta o método proposto, aborda como serão coletados os dados, organizados o banco de dados a respeito dos acidentes de trânsito, do volume de tráfego e do ambiente da rodovia, assim como subsidia as etapas do geoprocessamento proposto para obtenção e manipulação dos segmentos críticos.

O capítulo 4 apresenta as análises, qualitativas e quantitativas, através de estatísticas, representações espaciais e descrições dos eventos.

O capítulo 5 apresenta as conclusões do estudo, dificuldades encontradas na elaboração da pesquisa e proporciona recomendações para trabalhos futuros.

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os acidentes de trânsito têm sido temas de diversos estudos no exterior e no Brasil. Destacam-se aqueles que definem locais, como pontos, áreas e segmentos críticos, modelos numéricos e estatísticos, relacionados à auditoria de segurança viária, e que utilizam as técnicas de conflitos, aplicações de software, como GIS's para tabulação e análise de dados e informações. Envolvem as características físicas e funcionais das vias, por meio de pesquisas qualitativas e quantitativas.

Os estudos qualitativos, que buscam entender a profundidade dos fenômenos dos acidentes de trânsito através de regras e generalizações, descrições, comparações e interpretação do sistema viário, de um modo geral, são pouco aplicados, principalmente quando comparados às pesquisas quantitativas. Os estudos quantitativos, por sua vez, visam mensurar e buscam resultados concretos e menos passíveis a erros de interpretação, geram números, índices, taxas de acidentes que podem ser comparados ao longo do tempo, permitindo traçar um histórico das informações.

O que predomina na realidade da engenharia de tráfego são as pesquisas qualitativas e quantitativas que se completam, analisando processos, como de coleta, diagnóstico e interpretação de dados, estruturação e apresentação dos resultados. É necessário entender onde, como e por que os acidentes acontecem para, dessa forma, gerar análises.

O presente capítulo trata da organização e do desenvolvimento do sistema rodoviário brasileiro, dos principais fatores que ocasionam os acidentes de trânsito, estatísticas, tipos de acidentes e métodos de coleta, identificação e avaliação dos acidentes de trânsito. Serão abordados os sistemas de informação geográfica, sua evolução, seu uso na segurança viária e algumas aplicações nesta área.

2.2 ORGANIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RODOVIÁRIO BRASILEIRO

A nomenclatura das rodovias inicia-se pela sigla BR, quando a rodovia é federal e pelas siglas das unidades de federação (RS, SC, PR,

SP...) quando estaduais. Em seguida, por três algarismos. O primeiro indica a posição geográfica, de acordo com as definições estabelecidas no Plano Nacional de Viação (PNV); os outros dois algarismos definem a ordem, relativamente à Capital Federal e aos limites do país (Norte, Sul, Leste e Oeste). Existem alguns casos de superposição de duas ou mais rodovias, nesses casos, normalmente é adotado o número da rodovia de maior importância, com maior volume de tráfego (DNIT, 2005).

As rodovias federais que possuem jurisdição estadual são representadas geralmente pela sigla da unidade de federação e a letra T, de Transitória (SCT-XXX), indicando que é uma rodovia de transição, em que o traçado da rodovia estadual coincide com o traçado de uma rodovia federal planejada (FRANÇA, 2008).

A quilometragem das rodovias não é cumulativa de uma Unidade de Federação para a outra, por isso, quando se inicia uma rodovia dentro de uma nova Unidade de Federação, sua quilometragem começa novamente a partir do zero. O sentido da quilometragem segue sempre o sentido descrito na divisão em trechos do PNV e podem ser:

- Rodovias radiais: o sentido de quilometragem vai do anel rodoviário de Brasília em direção aos extremos do país, e tendo o quilômetro zero de cada estado no ponto da rodovia mais próximo à capital federal.
- Rodovias longitudinais: o sentido de quilometragem vai de norte a sul. As únicas exceções são a BR-163 e BR-174, que têm a quilometragem do sul para o norte.
- Rodovias transversais: o sentido da quilometragem vai do leste para o oeste.
- Rodovias diagonais: a quilometragem inicia no ponto mais ao norte da rodovia indo em direção ao ponto mais ao sul, com exceção da BR-307, BR-364, BR-392.
- Rodovias de ligação: a contagem da quilometragem segue o ponto mais ao norte da rodovia para o ponto mais ao sul. No caso de ligação entre duas rodovias federais, a quilometragem começa na rodovia de maior importância.

De acordo com a jurisdição de governo, os órgãos rodoviários classificam-se em Federais, Estaduais e Municipais. Cada órgão possui uma constituição básica do sistema rodoviário, podendo este ser arterial

(principal, primário e secundário), coletor (primário e secundário) e local (DNIT, 2005).

Segundo o relatório de extensões da rede do sistema rodoviário nacional do PNV, o Brasil possui 1.712.291,5 quilômetros de rodovias, entre federais, estaduais, estaduais transitórias e municipais. Somente a rede rodoviária federal do PNV constitui-se de 119.028,0 quilômetros, incluindo a rede rodoviária federal e a estadual transitória (DNIT, 2010).

A tabela 1 resume o cenário do sistema rodoviário brasileiro. Observa-se que apenas 12,4% das rodovias da rede nacional são pavimentadas; 79,9%, ou seja, a maioria, das rodovias não é pavimentada e 7,7% são futuros empreendimentos rodoviários, conforme dados do DNIT (2010).

Tabela 1. Cenário do Sistema Rodoviário Brasileiro por tipo e extensão de rodovia - 2010

| Rede | Extensões | % do total |
|--|--------------|------------|
| Planejada | 131.416,60 | 7,7 |
| Não pavimentada | 1.368.184,40 | 79,9 |
| Pavimentada | 212.690,50 | 12,4 |
| Total da extensão da rede rodoviária no Brasil | 1.712.291,50 | 100 |

Fonte: DNIT (2010)

Segundo Freire (2003), os deslocamentos entre as cidades de maior porte são servidos geralmente por rodovias pavimentadas e com maior largura de faixas. As rodovias de condições intermediárias (menor largura de faixas) atendem às cidades menores e se conectam com as rodovias secundárias e vicinais, pavimentadas ou não, atendem a pequenas vilas, fazendas, sítios e proporcionam aos usuários acesso às vias intermediárias.

A ocupação não planejada ao longo das rodovias, chamadas de travessias urbanas, induz a um crescimento linear das cidades, envolvendo a rodovia de ambos os lados. Com a evolução das cidades e a intensificação do uso do solo por estabelecimentos, ocorrem operações de tráfego conflitantes entre o urbano e o rodoviário (FREIRE, 2003).

Dessa forma, os sistemas e estruturas viárias e de transportes já não comportam o crescente fluxo de veículos que circulam diariamente, além de surgirem problemas relativos à segurança viária, como os acidentes de trânsito. Em contrapartida, surgem novas propostas de

planejamento e gerenciamento viário, procurando desenvolver alternativas viáveis e sustentáveis para o sistema.

As propostas de planejamento devem prever estimativas de demandas, análise de falhas, alternativas econômicas, políticas e sociais para implementação e desenvolvimento do sistema viário e de transportes.

Geralmente as falhas no planejamento trazem problemas e críticas em relação à falta de alternativas no sistema proposto, assim como nas metas e objetivos. Os projetos baseados, muitas vezes, apenas em critérios econômicos, não analisam o custo *versus* benefício de um investimento. Por isso, o crescimento da frota de veículos e da população geram problemas, como acidentes de trânsito, congestionamentos, falha nos acostamentos, entre outros (CORREA E RAIA JR., 2006; SILVA, 1998).

Segundo a Confederação Nacional de Transportes - CNT (2007), os problemas no sistema viário apontam um quadro geral com deficiências que se destacam no planejamento da infraestrutura. Na extensão total rodoviária pesquisada (87.592 km em rodovias em todo Brasil), existem longos trechos em estado crítico: 54,5% (47.777 km) do pavimento estão em estado regular, ruim ou péssimo; 65,4% (57.253 km) apresentam sinalização com problemas; 42,5% (37.259 km) não possuem acostamento; e 39,0% (31.880 km) possuem placas com a legibilidade deteriorada que agrava ou potencializa a ocorrência dos acidentes de trânsito.

2.3 ACIDENTES DE TRÂNSITO

2.3.1 Fatores de influência

Os acidentes de trânsito são eventos complexos, e existem dificuldades para determinar suas causas, em função da variedade de fatores contribuintes, combinados às circunstâncias aleatórias. Esse problema, relacionado ao tráfego de veículos, de um modo geral, envolve pelo menos dois ou três fatores contribuintes: o veículo (funções), a via (condições) e o usuário da via (limitações). Além desses fatores, as condições ambientais e aspectos sociais e institucionais também são inseridos na realidade atual, conforme pode ser visualizado no esquema da figura 2 (BRANDÃO, 2007; DIESEL, 2005; TEIXEIRA; SILVA, 2004; NODARI; LINDAU, 2003; SOARES, 1975).

A falha em algum desses fatores, como a incompatibilidade entre o ambiente construído, o comportamento dos motoristas, o movimento dos pedestres sob condições inseguras, a decrescente qualidade de vida e a precariedade na educação e fiscalização no trânsito gera os acidentes de trânsito (TEIXEIRA; SILVA, 2004; ANTP, 2003).

O processo de movimentar-se ao longo da via pública pode ser considerado como aquele em que o usuário está constantemente recebendo informações do ambiente que circula, procede ao seu julgamento, decide sobre a ação a tomar e transmite essa decisão através do controle que deverá exercer sobre si próprio ou sobre o veículo que está dirigindo. Salvo os acidentes ocasionados por falha mecânica do veículo ou por um mal súbito do usuário, a maioria dos acidentes envolve uma falha no sistema de tomadas de informações, julgamento, decisão e controle a adotar (CORPAS, 2007; VASCONCELLOS, 2005; SOARES, 1975).

Embora seja conveniente considerar o processo do acidente dessa maneira, pelo fato de que os acidentes de trânsito são eventos complexos e que geralmente envolvem a interação de diversos fatores contribuintes, torna-se mais prático classificar as investigações pelos elementos destacados anteriormente.

| VIA PÚBLICA (condições) | VEÍCULO (funções) | HOMEM (limitações) |
|--|-----------------------------|---|
| <i>Traçado</i> | <i>Características</i> | <i>Físicas</i> |
| Alinhamento | Tipo | Saúde |
| Greide | Dimensões | Resistência |
| Seção transversal | Peso | Reações |
| Acostamento | Potência | Julgamento |
| Distância/visibilidade | | Coordenação |
| Velocidade diretriz | Equipamentos | Visão |
| | { <i>Segurança</i> | { <i>Acuidade</i> |
| | { <i>Conforto</i> | { <i>Noturna</i> |
| <i>Dimensionamento</i> | <i>Comportamento</i> | <i>Outras</i> |
| Capacidade | Raio de curva | Educacionais |
| Pavimento | Velocidade | Morais |
| Cruzamentos | Aceleração | Psíquicas |
| Estacionamento | Frenagem | |
| <i>Instalações</i> | | |
| Sinalização | | |
| Iluminação | | |
| MEIO AMBIENTE AMBIENTES CONSTRUÍDOS | | CONDUTORES E PEDESTRES ASPECTOS SOCIAIS E INSTITUCIONAIS |

Figura 2. Fatores contribuintes pela segurança viária

Fonte: Adaptada de Soares (1975).

2.3.1.1 Elemento Humano

Os acidentes de trânsito ocorrem geralmente pelo fator humano, não apenas motivados pelo motorista, mas também pelos pedestres, os quais devem respeitar as limitações, a sinalização horizontal e vertical, pontos de conflito, e estar alerta a imprevistos. Além disso, a visão, a coordenação, o tempo de percepção e a reação são fundamentais para tomada de decisões. Podem ser observadas as prováveis causas de acidentes envolvendo esse fator. Conforme Corpas (2007), Vasconcellos (2005) e Soares (1975):

- a) violações do motorista: o não cumprimento do Código de Trânsito Brasileiro (CTB), principalmente em relação à velocidade excessiva, provoca acidentes graves. Os veículos possuem uma energia cinética que precisa ser dissipada quando eles colidem com algum objeto, pois ela aumenta exponencialmente com a velocidade. Dessa forma, as altas velocidades se tornam muito perigosas em casos de acidentes, por exemplo, um veículo que circula a 60 km/h tem quatro vezes mais energia cinética do que aquele que circula a 30 km/h, por exemplo. Quando um veículo circula em uma situação de emergência, a 36 km/h, o veículo percorre 10 metros em um segundo, que é o tempo de reação mínima do motorista para colocar o pé no freio;
- b) uso de drogas e condições do motorista: a presença de álcool ou de outro tipo de droga no sangue da grande maioria das pessoas acidentadas, muitas vezes superior ao limite permitido pelo CTB, tem sido relevante em vários estudos realizados com vítimas de acidentes;
- c) imprudência do pedestre: quando os ambientes de trânsito de automóveis são utilizados por pedestres, que caminham ou agem imprudentemente;
- d) vulnerabilidade dos motociclistas: manobras arriscadas entre veículos, alta velocidade e pouca proteção do corpo do motociclista (apenas uso do capacete) fazem com que este se acidente com maior gravidade.

2.3.1.2 Veículos

Os acidentes de trânsito muitas vezes são causados pelos veículos em precário estado de manutenção, principalmente em relação a freios e suspensão (VASCONCELLOS, 2005).

Pavarino Filho (2004) mostra as divergências existentes nas questões referentes aos limites de velocidade e o potencial desenvolvido por veículos. O Estado de Direito o qual limita a velocidade nas vias a “x” km/h é o mesmo que permite a fabricação, comércio e a exploração publicitária explícita da condição dos automóveis que desenvolvem até “3x” km/h.

Na segurança das rodovias, é importante considerar que um veículo pode, por motivos alheios à vontade do motorista, perder o controle e se precipitar fora da estrada. Para evitar isso, é necessário que, além da manutenção do veículo, o projeto da via elimine obstáculos, a fim de reduzir a gravidade de impactos. Nas placas de sinalização, os suportes de fixação devem ser quebráveis, caso um veículo perca a direção (SOARES, 1975).

Os automóveis atuais são projetados com dispositivos tecnológicos para melhorar a qualidade e oferecer mais segurança aos seus usuários. São aperfeiçoamentos para se evitarem maiores danos em possíveis acidentes.

2.3.1.3 Deficiência da via pública

As características da rodovia também influenciam nos acidentes de trânsito. Os elementos que mais contribuem, segundo Santos (1998) *apud* Madalozo *et al.* (2004), são: largura da pista de rolamento, raio e grau das curvas horizontais, extensão e declividade das rampas, distância de visibilidade, volume de tráfego, velocidade de projeto, taludes laterais, pontes (principalmente largura), características do canteiro central, zonas de escape (área lateral adjacente à pista e acostamento).

Problemas de manutenção, como buracos, depressões na pista e sinalização ausente ou ineficiente e a presença de animais na pista podem provocar acidentes.

2.3.1.4 Ambientes construídos e o Meio Ambiente

Quando o ambiente de circulação utilizado por pedestres é invadido por automóveis, o número e a gravidade dos acidentes

umentam consideravelmente. Isso ocorre quando os responsáveis pelo trânsito cedem às pressões dos proprietários de automóveis e do comércio para atender à demanda e como uma forma de melhorar a circulação (VASCONCELOS, 2005; CORPAS, 2007).

Em relação ao meio ambiente, são consideradas as condições atmosféricas, de iluminação e do trânsito, por exemplo, quando a intensidade de luz, que pode ser natural ou artificial, interfere na visibilidade do motorista. As chuvas, nevoeiros também prejudicam a visão do motorista, além de tornarem a rodovia escorregadia.

2.3.1.5 Aspectos sociais e constitucionais

As divergências existentes em leis, como limites de velocidade, as quais permitem a fabricação e a comercialização de veículos que podem desenvolver velocidade até três vezes maior que a velocidade limitada para a rodovia. Também a falta de programas educacionais para eliminação de hábitos imprudentes e a atualização do conhecimento dos usuários das vias.

Vasconcellos (2005) aponta que a habilitação dos brasileiros é feita de forma precária, com métodos e materiais inadequados. Há uma tendência de as pessoas acharem que uma vez obtida a carteira de habilitação, o seu processo de aprendizado está terminado. É importante verificar que o direito de conduzir um veículo está sempre condicionado a um comportamento adequado e à necessidade de atualização ou reciclagem sempre que for necessário.

2.3.2 Classificação e estatísticas dos acidentes de trânsito

Após distinguir os elementos que mais influenciam nas ocorrências dos acidentes, é importante que sejam conhecidos os tipos de acidentes que estão contidos nos relatórios de trânsito, para que possam ser feitas as análises. Dessa forma, destaca-se a classificação dos acidentes de trânsito abordada na Norma Brasileira NBR nº 10.697/89, que conceitua os acidentes de trânsito conforme o quadro 1.

Os acidentes de trânsito caracterizam-se como eventos não intencionais. Eles podem ter consequências simples, quando envolvem acidentes sem vítimas ou com danos de pequena importância, ou consequências graves, quando envolvem feridos, vítimas fatais e com danos de grande relevância (CORPAS, 2007; DIESEL, 2005).

Quadro 1. Classificação dos acidentes de trânsito

| TIPO | DEFINIÇÃO |
|------------------------------|---|
| Atropelamento | Acidente em que o (s) pedestre (s) ou animal (is) sofre (m) o impacto de um veículo, estando pelo menos uma das partes em movimento |
| Acidente pessoal de trânsito | Todo acidente em que o pedestre sofre lesões corporais ou danos materiais desde que não haja participação de veículos ou ação criminosa |
| Colisão | Acidente em que um veículo em movimento sofre o impacto de outro veículo também em movimento |
| a) Colisão traseira | Ocorre frente contra traseira ou traseira contra traseira, quando veículos transitam no mesmo sentido ou em sentidos contrários, podendo pelo menos um deles estar em marcha ré |
| b) Colisão frontal | Colisão que ocorre frente a frente, quando os veículos transitam na mesma direção em sentidos opostos |
| c) Colisão lateral | Colisão que ocorre lateralmente, quando os veículos transitam na mesma direção, podendo ser no mesmo sentido ou em sentidos opostos. Também conhecido como abalroamento |
| d) Colisão transversal | Ocorre transversalmente, quando os veículos transitam em direções que se cruzam, ortogonal ou obliquamente |
| Engavetamento | Acidente em que há impacto entre três ou mais veículos, num mesmo sentido de circulação |
| Choque | Acidente em que há impacto de um veículo contra qualquer objeto fixo ou móvel, mas sem movimentação |
| Capotamento | Acidente em que o veículo gira sob si mesmo, em qualquer sentido, chegando a ficar com as rodas para cima, imobilizando-se em qualquer posição |
| Tombamento | Acidente em que o veículo sai de sua posição normal, imobilizando-se sobre uma de suas laterais, sua frente ou sua traseira |
| Queda | Acidente em que há impacto em razão de queda livre do veículo, ou queda de pessoas ou cargas por ela transportadas |
| Outros acidentes de trânsito | Qualquer acidente que não se enquadre nas definições de acidentes com pedestres, atropelamentos, acidente com pessoal de trânsito, capotamento, choque, colisão, colisão frontal, colisão lateral, colisão transversal, colisão traseira, engavetamento, queda e tombamento |

Fonte: ABNT (1989).

No Brasil e nos países em desenvolvimento, uma das características dos acidentes de trânsito é que a maioria das vítimas são pedestres e ciclistas. Nesses países, de 50% a 65% das vítimas fatais são pedestres, comparados com 25% nos países desenvolvidos. Esse percentual identifica a relevância da violência no trânsito, que impõe perdas sociais e econômicas elevadas em relação a quem anda a pé ou de bicicleta (VASCONCELLOS, 2005).

Vasconcellos (2005) também afirma que:

Mesmo para velocidades de impacto que poderiam ser consideradas baixas do ponto de vista do motorista – 40 km/h – a probabilidade de o pedestre vir a falecer no acidente já é de quase 40%. Para velocidades de impacto em torno de 70 km/h, essa probabilidade é de praticamente 100%. Deve-se lembrar que, na maioria dos casos, a partir de velocidades de impacto de 30 km/h os ferimentos já estão muito graves.

Os acidentes de trânsito são problemas tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento, com a diferença de que nos países desenvolvidos já foram implementadas, ao longo dos anos, muitas medidas para conter a violência no trânsito. Com isso, eles têm conseguido estabilizar os índices de acidentes, porém com custos elevados (WHO, 2004).

As estatísticas para os dados gerais dos acidentes de trânsito no Brasil, do crescimento da população e da frota de veículos, para o período de 2002 a 2008, são apresentadas na tabela 2, por meio do Anuário Estatístico realizado pelo DENATRAN (2008). Observa-se que os índices de acidentes, considerando o aumento da população e da frota, tiveram um decréscimo significativo em 2006, voltando a subir em 2007 e em 2008.

Tabela 2. Estatísticas de acidentes de trânsito no Brasil - 2000 a 2008

| ITENS | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| População | 169.590.693 | 172.385.826 | 174.632.960 | 176.871.437 | 181.581.024 | 184.184.264 | 186.770.562 | 189.612.814 | 191.480.630 |
| Frota | 29.503.503 | 31.913.003 | 34.284.967 | 36.658.501 | 39.240.875 | 42.071.961 | 45.370.640 | 49.644.025 | 54.506.661 |
| Acidentes com Vítimas | 286.994 | 307.287 | 251.876 | 333.689 | 348.583 | 383.371 | 320.333 | 376.995 | 428.970 |
| Vítimas Fatais | 20.049 | 20.039 | 18.877 | 22.629 | 25.526 | 26.409 | 19.752 | 23.286 | 33.996 |
| Vítimas Não Fatais | 358.762 | 374.557 | 318.313 | 439.065 | 474.244 | 513.510 | 404.385 | 484.900 | 619.831 |
| Veículos/100 Habitantes | 17,4 | 18,5 | 19,6 | 20,7 | 21,6 | 22,8 | 24,3 | 26,2 | 28,5 |
| Vítimas Fatais/100.000 Habitantes | 11,8 | 11,6 | 12,3 | 12,8 | 14,1 | 14,3 | 10,6 | 12,3 | 17,8 |
| Vítimas Fatais/10.000 Veículos | 6,8 | 6,3 | 6,2 | 6,2 | 6,5 | 6,3 | 4,4 | 4,7 | 6,2 |
| Vítimas Não Fatais/10.000 Veículos | 124,1 ** | 119,8 ** | 104,6" | 119,8 | 120,9 | 122,1 | 89,1 | 97,7 | 113,7 |
| Acidentes com Vítimas/10.000 Veículos | 99,3 ** | 96,2 | 75,1' | 91,0 | 88,8 | 91,1 | 70,6 | 75,8 | 78,7 |

Fontes: Anuário estatístico do Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN, Sistema Nacional de Estatística de Trânsito e Departamentos Estaduais de Trânsito – DETRAN (2008).

(') Não inclui dados do Espírito Santo e Mato Grosso.

(**) Não inclui dados do Amapá, Espírito Santo, Mato Grosso e Rio de Janeiro

Nos dados da *International Road Traffic and Accident Database* (ITARD, 2005) e *Community Database on Accidents on the Roads in Europa* (CARE, 2005), os índices de vítimas fatais por 100.000 habitantes das principais economias européias para o ano de 2005 estão abaixo do índice brasileiro, conforme podem ser analisados na tabela 3.

Tabela 3. Indicadores de Acidentes de trânsito para países selecionados - 2005

| País | Taxa de Mortes por 100.000 habitantes |
|-------------|--|
| Brasil | 14,3 |
| Itália | 10,5 |
| França | 10,2 |
| Alemanha | 8,0 |
| Dinamarca | 7,0 |
| Finlândia | 7,3 |
| Holanda | 6,4 |
| Reino Unido | 6,1 |
| Suécia | 5,9 |

Fonte: IRTAD/CARE (2005) e DENATRAN (2006)

Como já se havia comentado anteriormente, em relação aos custos dos acidentes de trânsito, o IPEA (2003) apresentou em 2001 a ordem de R\$ 3,6 bilhões, considerando apenas as aglomerações urbanas. Em outras áreas urbanas, esse montante fica em torno de R\$ 1,7 bilhões, totalizando R\$ 5,3 bilhões o custo de acidentes, sem incluir acidentes rodoviários.

Para o cálculo total dos custos foram consideradas as perdas de produção, os danos aos veículos, despesas médico-hospitalares, processos judiciais, congestionamento, Previdência Social, resgate de vítimas, remoção de veículos, danos ao mobiliário urbano e à propriedade de terceiros, despesas com outro meio de transporte, com danos à sinalização de trânsito e impacto familiar (IPEA, 2003).

Já na análise dos custos de acidentes de trânsito em rodovias brasileiras, o DENATRAN e IPEA (2006) realizaram uma pesquisa cuja estrutura básica da função de custos dos acidentes de trânsito é relativa a quatro grupos de componentes, sendo eles: *i*) as pessoas; *ii*) os veículos; *iii*) a via, e *iv*) o envolvimento de instituições públicas com o acidente.

A tabela 4 apresenta os custos totais de acidentes de trânsito em rodovias brasileiras. Desses custos, um total de aproximadamente R\$

1,4 bilhões em rodovias municipais; R\$ 6,1 bilhões em rodovias estaduais do grupo G1 (Unidades de Federação UF com cadastro completo dos acidentes de trânsito nas rodovias estaduais, com banco de dados disponível, SP, PR, SC, RS, DF, CE, ES); R\$ 7,9 bilhões em rodovias estaduais do grupo G2 (UF com indisponibilidade do banco de dados dos acidentes de trânsito); e R\$ 6,5 bilhões em rodovias federais.

Tabela 4. Custos totais dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras (R\$ dez/2005)

| Rodovias | Número de acidentes | Custo total | Custo médio por acidente |
|--------------|---------------------|----------------|--------------------------|
| Municipais | x | 1.404.463.306 | x |
| Estaduais G1 | 113.594 | 6.136.556.909 | 54.022 |
| Estaduais G2 | x | 7.973.500.465 | x |
| Federais | 110.599 | 6.512.085.050 | 58.880 |
| Total | – | 22.026.605.730 | – |

Fonte: IPEA/Denatran (2006)

2.3.3 Metodologias para redução de acidentes de trânsito

Para aumentar a segurança viária, é necessária a formulação de políticas eficientes em relação à educação, à fiscalização e à engenharia. Isso requer um planejamento adequado, que promova um trânsito mais seguro, reduzido e, se possível, elimine os acidentes de trânsito (BRANDÃO, 2007; TEIXEIRA; SILVA, 2004; QUEIROZ, 2003).

Em geral, as técnicas para análise, redução e prevenção de acidentes de trânsito apresentam procedimentos semelhantes entre si. Elas procuram investigar as causas por meio da identificação de locais críticos (BRANDÃO, 2007; QUEIROZ, 2003).

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

No Brasil, essa realidade não é diferente, e as metodologias para estudos de redução dos acidentes de trânsito, em geral, utilizam as seguintes etapas: *i) coleta, ii) identificação, iii) diagnóstico e avaliação.*

A metodologia muito utilizada é a do Ministério dos Transportes (MT), do Programa PARE de 2002, que se destaca por possuir um Manual de Procedimentos para Tratamento de Locais Críticos em Áreas Urbanas, como ressaltam os estudos de Brandão (2007) e Queiroz (2003).

Nesses procedimentos estão inseridos: levantamento e organização de dados; identificação de locais críticos; investigação de causas/soluções prováveis; recomendações de projetos de engenharia; intervenção e monitoração local. Já nas áreas rurais, destaca-se a metodologia adotada no manual de análise, diagnóstico, proposição de melhorias e avaliações econômicas dos segmentos críticos do DNER (1986) em processo de atualização.

Paro e Valente (2007) estabeleceram uma nova proposta metodológica para identificação de segmentos críticos em rodovias federais, a partir de uma adequação da metodologia utilizada pelo DNER em 1986. Essa adequação leva em consideração algumas questões, como a desagregação do ambiente, em estudo em função dos ambientes homogêneos pelo qual a rodovia cruza; a distribuição espacial dos acidentes; e a utilização do coeficiente de variação estatístico dos dados de acidentes em determinados intervalos, a fim de distinguir trechos críticos.

2.3.4 Coleta de dados dos acidentes de trânsito

A coleta de dados dos acidentes de trânsito no Brasil assim como o tratamento dos dados e os estudos são realizados baseados no conteúdo dos boletins de ocorrências (BO) utilizados pela Polícia Rodoviária Federal e Estadual. A padronização dos dados e informações objetiva sua melhora e universalização, proporcionando um estudo sobre as causas de acidentes de trânsito nas rodovias para, dessa forma, obter o sucesso do sistema. Este trará benefícios com um BO que reúne, com clareza e fidelidade, as informações necessárias para a gestão do trânsito nas diversas regiões e cidades brasileiras (MT, 2002).

Dos BO's podem ser extraídas informações que darão suporte às análises. Neles constam, em geral, os seguintes itens, conforme o MT (2002):

- hora, data e dia da semana;
- condições do tempo;
- tipo de acidente;
- severidade do acidente;

- movimentação dos envolvidos, incluindo pedestres ou ciclistas, se for o caso;
- caracterização dos veículos (tipo, estado dos pneus e outros);
- condições do pavimento (seco, molhado);
- sexo, idade e estado dos envolvidos (suspeita de ingestão de álcool ou drogas);
- descrição do acidente;
- croqui do acidente;
- número de identificação do documento/fonte.

A etapa de coleta de dados consiste em reunir e armazenar os dados de acidentes, as características físicas, geométricas e operacionais das vias e os dados de tráfego. Além disso, para o DNER (1998), a coleta de dados também diz respeito à consulta de projetos e mapas que englobam o local de estudo.

As finalidades principais da consulta a projetos, englobando o segmento em estudo, são: detalhar aspectos de ordem geométrica; complementar diagnósticos preliminares; permitir o estudo prévio de possíveis alternativas de solução; avaliar possíveis fontes de materiais – areias, materiais terrosos etc. (DNER, 1998).

Além disso, é importante coletar as informações, de forma coerente e organizada, garantindo, assim, a sua qualidade para a montagem do banco de dados da pesquisa. O bom nível dessa preparação é primordial para o desenvolvimento posterior das análises (CNT, 2007).

A capacidade e o aperfeiçoamento dos sistemas de software e hardware permitem adotar modelos de distribuição e processamento de dados. Por essa razão, a coleta de dados do sistema viário precisa incorporar arquivos com as informações qualificadas para que possam ser geradas as visualizações, com consistência, competência, precisão e acessibilidade e integração dos dados e informações (NHTSA, 2007).

No processamento de dados, a utilização de um sistema de informações que se alimente de dados numéricos e cartográficos, como o GIS, facilita o processo e pode gerar inúmeros cruzamentos de informações assim que o sistema for alimentado com os devidos dados coletados.

2.3.5 Identificação de locais críticos

Consideram-se locais críticos aqueles que apresentam padrões de acidentes iguais ou superiores a uma referência pré-estabelecida, e/ou que estejam associados a níveis de segurança viária que coloquem em risco os usuários do sistema viário (MT, 2002).

Observa-se que, nas últimas três décadas, as experiências nacionais no tratamento dos acidentes de trânsito seguem cinco linhas de atuação, entre elas, a análise por pontos críticos; por segmentos críticos; por áreas críticas; por solução tipo; e por tipo de usuário.

Os procedimentos disponíveis para identificação de locais que apresentam um padrão anormal de segurança viária baseiam-se no fato de que os acidentes, apesar de sua ampla distribuição espacial, tendem a agregar-se em determinados locais da malha viária. A identificação consiste em recuperar os dados dos acidentes, listar os locais problemáticos e estabelecer as prioridades para uma investigação direcionada (MT, 2002).

Os métodos para identificação de locais críticos encontrados na literatura são classificados em numéricos, estatísticos, técnicas do conflito (MT, 2002), e auditoria de segurança viária (BRANDÃO, 2007). Todos os métodos que serão apresentados a seguir encontram-se no Manual de Procedimento para o Tratamento de locais críticos do Programa PARE – MT (2002), exceto o de auditoria de segurança viária.

2.3.5.1 Métodos Numéricos

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

a) Métodos Numéricos Absolutos:

Dentro da categoria dos métodos numéricos absolutos, considera-se a quantidade de acidentes de forma absoluta, sem relacioná-los a qualquer outra variável. O custo social do acidente de trânsito é visto

como uma sofisticação desse método, considerando-se nesta categoria duas técnicas: Técnica do Número de Acidentes e a Técnica da Severidade de Acidentes.

- Técnica do Número de Acidentes - Esta técnica considera somente o número de ocorrências em um cruzamento ou trecho de via, em um período de tempo estabelecido, definindo-se como locais críticos aqueles com quantidade de acidentes superior à média aritmética das ocorrências registradas em cada um dos locais em análise. O método apresenta baixo custo de execução.

- Técnica da Severidade de Acidentes - Esta técnica considera a frequência e a gravidade dos acidentes, associando a cada nível de gravidade um determinado peso. Como exemplo, pode-se apresentar a metodologia do DENATRAN (1987), utilizada para determinação da periculosidade do local em acidentes, na qual se utiliza o conceito de Unidade Padrão de Severidade (UPS), definida como a soma do número de acidentes com danos materiais, com feridos e com vítimas fatais, ponderados pelos fatores apresentados a seguir:

Acidente somente danos materiais - Fator de ponderação 1;

Acidente com feridos - Fator de ponderação 5;

Acidente com vítimas fatais - Fator de ponderação 13.

Assim, a severidade em acidentes para um local em análise será expressa em UPS, conforme segue:

N° de UPS = (acidentes sem vítimas x 1) + (acidentes com vítimas não fatais x 5) + (acidentes fatais x 13).

Segundo Gold (1998), a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) de São Paulo, propõe outra ponderação com base em uma análise de casos relativos de falecimento em acidentes, com ou sem pedestres, condizentes com os pesos que seguem:

Acidente somente danos materiais - Fator de ponderação 1;

Acidente com feridos - Fator de ponderação 4;

Acidente com vítimas fatais - Fator de ponderação 6.

Onde:

N° de UPS = (acidentes sem vítimas x 1) + (acidentes com vítimas não fatais x 4) + (acidentes fatais x 6).

Os pesos atribuídos em função da gravidade dos acidentes no Guia de Redução de Acidentes com base em medidas de engenharia de baixo custo do DNER (1998), baseado em referências do *Department of Transportation* - UK (TRL) seguem:

Acidente somente danos materiais - Fator de ponderação 1;

Acidente com feridos - Fator de ponderação 3;

Acidente com vítimas fatais - Fator de ponderação 9.

Onde:

N° de UPS = (acidentes sem vítimas x 1) + (acidentes com vítimas não fatais x 3) + (acidentes fatais x 9).

b) Métodos Numéricos Relativos

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

- Técnica da Taxa de Acidente - Relaciona a quantidade de acidentes de trânsito com o volume de tráfego em cada local. Apresenta como vantagem a neutralização da influência do volume veicular no nível de acidentes, já que locais com elevados volumes de tráfego tendem a possuir maior número de acidentes. As taxas de acidentes são normalmente expressas em acidentes por milhões de veículos que trafegam por uma interseção ou acidentes por milhões de veículos e a quilometragem em um trecho de via. O período para levantamento de dados é, em geral, de um determinado ano ou os últimos 12 meses.

- Técnica da Taxa de Severidade dos Acidentes - é uma combinação da Técnica da Severidade de Acidentes e a Técnica da Taxa de Acidente. Relaciona a quantidade de acidentes, expressa em UPS, com o volume de tráfego. Expressa em UPS por milhões de veículos que trafegam por uma interseção, ou em UPS por milhões de veículos e a quilometragem em um trecho de via.

2.3.5.2 Métodos Estatísticos

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

Kang e Lee (2007) afirmam que muitas análises vêm usando métodos estatísticos para mensurar riscos ou quantidades de acidentes de trânsito. Há estudos com variáveis significativamente selecionadas que têm uma grande influência nos acidentes de tráfego. Nesses estudos,

é examinada a relação entre essas variáveis e os acidentes, usando análise de regressão, ou então outros métodos, baseados na teoria de redes neurais, análises de risco e análises de múltipla classificação.

Como exemplos podem ser citados os modelos de Distribuições de Poisson e Binômio Negativo, o modelo espacial, usando a aproximação Hierárquica de Full Bayes, o modelo Condicional de Auto-Regressão, o Modelo Espaço tempo, o método de Análise da Densidade de Kernel, índice do vizinho mais próximo, redes neurais, testes estatísticos encontrados na literatura (ELVIK, 2008; ERDOGAN *et al.*, 2008; KANG; LEE, 2007; VALVERDE; JOVANIS, 2006; HUANG *et al.*, 2004; HIJAR *et al.* 2000).

2.3.5.3 Método da Técnica de Conflitos

A técnica de conflitos baseia-se na relação entre acidente e suas causas e as situações de conflitos de tráfego ou de quase-acidentes e suas causas. Pode ser utilizada para identificar locais críticos potenciais, em que nenhum acidente foi registrado, e como diagnóstico auxiliar para tratamento de locais críticos em que ocorreram acidentes.

Os conflitos surgem quando duas correntes de tráfego, em um mesmo nível, divergem, convergem ou cruzam, havendo um perigo potencial de colisões ou de atropelamentos. A situação de conflito afeta a operação do tráfego como um todo, reduzindo as suas velocidades e interferindo nos aspectos de capacidade e segurança da interseção, ou trecho da via e sua área de influência (REIBNITZ, 2008).

Segundo Galeno (2002), as técnicas de conflito de tráfego buscam, de maneira diferente, eficiente e confiável, verificar por meio da pesquisa operacional e de trabalhos de campo uma forma de observação que favoreça um diagnóstico mais preciso. Além disso, as técnicas de conflito devem ser utilizadas como uma metodologia de observação dos problemas de segurança viária e não apenas como um indicador de segurança, podendo ser melhorados os projetos de trânsito, dando melhor atenção à questão do impacto que os acidentes provocam no comportamento do tráfego e não apenas na frequência dos mesmos.

Galeno (2002) destaca que entre as técnicas de conflito de tráfego existentes no exterior, as mais utilizadas são: a francesa, a sueca, a americana e a inglesa. No estudo realizado pela autora, a técnica francesa foi escolhida para a análise dos conflitos entre veículos e pedestres para a cidade de Belém, no Pará, devido às vantagens de melhor adaptação às condições brasileiras e melhor alternativa para a

pesquisa dos conflitos de tráfego que envolve pedestre, embora, o método proposto necessitou ser adaptado à realidade brasileira.

Para Domingues Jr. e Ferraz (2001), as técnicas para avaliação de conflitos de tráfego são idealizadas e testadas nos países de origem, que são geralmente países desenvolvidos, onde as condições de trânsito não levam em conta, por exemplo, a desobediência à sinalização por imprudência ou despreparo dos motoristas ou pedestres, por não ser uma situação comum em países desenvolvidos. Além disso, em países em desenvolvimento, a falta de manutenção e a precariedade do sistema viário dificultam a aplicação dessas técnicas. Por isso, não se podem comparar as condições de trânsito e os padrões de referência para avaliação do potencial de risco de acidentes em países com tantas diferenças.

No ponto de vista de Galeno (2002), a técnica de conflito de tráfego é um método complementar à análise de acidentes de trânsito e tem sido desenvolvida nos estudos de áreas críticas, especialmente indicada em países onde o registro de acidentes de trânsito é precário e não corresponde às necessidades dos engenheiros de tráfego para que possam elaborar estudos, voltados à prevenção dos acidentes.

Para Nodari (2003), os conflitos de tráfego não substituem as informações dos acidentes, uma vez que se baseiam na observação em manobras evasivas bem sucedidas e não em acidentes propriamente ditos. Além disso, as técnicas de conflito de tráfego são aplicáveis somente à análise de interseções, não sendo economicamente viáveis em segmentos de vias.

2.3.5.4 Método da Auditoria de segurança

Auditoria de segurança baseia-se na ação preventiva de verificação de fatores de risco. O auditor, especialista em análise de acidentes e segurança viária, aplica uma lista de verificação sistemática, desenvolvida para detectar deficiências importantes. A verificação pode ser realizada nas etapas de projeto, antes da liberação das vias ao tráfego, ou como revisão da segurança em vias existentes. Ou seja, desde o projeto até sua operação propriamente dita (BRANDÃO, 2007; NODARI, 2003).

Segundo Austroads (1994) *apud* Nodari (2003), a auditoria de segurança viária serve como um exame formal de vias, projetos de circulação ou qualquer esquema de tráfego que envolve os usuários das vias. “A auditoria de segurança viária se caracteriza por um processo que segue procedimentos pré-estabelecidos e que gera, necessariamente,

um relatório escrito que deve ser avaliado e respondido pelo responsável do projeto auditado. O caráter independente da equipe de auditoria tem por principal objetivo permitir que o projeto a ser auditado seja visto de forma imparcial e a partir de outra perspectiva, o que dificilmente é possível quando a auditoria é realizada por membros da equipe que desenvolveram o projeto.”

Nodari e Lindau (2003), destacam que a auditoria de segurança das rodovias e as pesquisas e práticas em auditoria em segurança viária motivam a utilização de *check-list* na identificação das características que potencializam a ocorrência de acidentes.

Além disso, os benefícios decorrentes da aplicação da auditoria de segurança viária, conforme Austroads (1994) e Hildebrand e Wilson (1999) *apud* Nodari (2003), incluem:

- redes viárias mais seguras;
- aprimoramento das técnicas e da prática de engenharia de segurança viária;
- redução da necessidade de modificar a circulação viária após a construção;
- melhoria dos padrões e normas de segurança;
- consideração explícita das necessidades de segurança dos usuários mais vulneráveis;
- difusão da consciência pela segurança entre operadores e projetistas;
- engajamento de um maior número de profissionais para a área de segurança viária;
- redução dos custos decorrentes de acidentes, incluindo os sociais e os de saúde;
- aprimoramento do projeto rodoviário;
- estímulo ao desenvolvimento de uma cultura corporativa pela segurança.

2.3.6 Diagnóstico dos acidentes de trânsito

Nas rodovias, o diagnóstico dos segmentos selecionados visa identificar o ponto exato onde ocorrem os acidentes e suas causas geradoras. Tem como finalidade básica: confirmar ou reavaliar as possíveis causas de acidentes levantados; verificar a viabilidade técnica das eventuais soluções; estudar novas soluções; efetuar avaliações expeditas de quantitativos referentes aos diversos serviços necessários à

implantação das alternativas de solução preliminarmente estudadas; verificar a existência de possíveis interferências, tais como fluxos de pedestres, presença de animais na pista etc.; efetuar eventuais contagens expeditas de tráfego (caso de interseções); verificar as condições e o estado de conservação da pista de rolamento, a existência de obstáculos à visibilidade etc.; coletar elementos referentes às características socioeconômicas da região correspondente ao segmento crítico (DNER, 1998).

O diagnóstico se compõe de três fases: análise, avaliação e proposição de medidas corretivas. A análise consiste em estudar os locais críticos de acidentes dentro de cada segmento viário, detalhando os conflitos de tráfego e os relatórios de acidentes para determinar e reconhecer as possíveis correlações entre os fatores relevantes nas ocorrências desses acidentes, conforme IHT (1996) *apud* Queiroz (2003).

Na segurança do trânsito rodoviário, além dos procedimentos clássicos para análise de segurança do trânsito, uma ou mais práticas de segurança rodoviária podem ser incorporadas às atividades de planejamento e gerenciamento da segurança viária. São elas: análise de cenários; auditoria de segurança viária; vídeo-análise (filmagens); técnicas de engenharia de conflitos; inspeção local (área crítica); inspeção do acidente (PORATH, 2002).

O resultado do diagnóstico dos acidentes pode ser apresentado através de mapas criados em um GIS.

A avaliação visa determinar o conjunto de medidas corretivas que podem solucionar os fatores que contribuem para os acidentes, realizar a avaliação econômica de custo/benefício de cada medida e selecionar as medidas a serem implementadas, conforme (QUEIROZ, 2003).

O DNER (1998) criou um Guia de Redução de Acidentes com Base nas Medidas de Engenharia de Baixo Custo, que fornece os procedimentos necessários para programas de redução de acidentes com base em análises das características dos locais onde se concentram os acidentes de trânsito. Segundo esse guia, o gerenciamento de segurança implica dois tipos de atuação para minimização dos problemas: o gerenciamento preventivo e o gerenciamento corretivo.

O gerenciamento preventivo monitora toda a rede viária. Faz a manutenção de toda a rodovia, tendo em vista um conjunto de atividades rotineiras e contínuas, mantendo o padrão de segurança, o que exige a execução de atividades. Estas, segundo o DNER (1998), são:

- montagem de cadastro de projeto e sinalização (horizontal, vertical e dispositivos de segurança da rede);
- monitoramento constante das características físicas e operacionais da malha viária e de sua sinalização,
- identificação de características que apresentam discrepâncias em relação ao padrão definido no cadastro;
- adoção de providências visando à manutenção da rede viária nos padrões definidos no cadastro.

O gerenciamento corretivo está voltado para problemas em locais específicos, identificados em função das ocorrências concentradas de acidentes em locais distintos. Essas ocorrências concentradas sugerem a possibilidade de se conseguir a redução através de intervenções localizadas na engenharia, sem modificar as características gerais da rodovia (DNER, 1998).

Com base, então, no conhecimento adquirido do segmento viário, procede-se à identificação de medidas específicas para solucionar e/ou amenizar os problemas caracterizados nas etapas anteriores. Para cada tipo de acidente cuja ocorrência seja significativa, procurar-se-á uma medida apropriada, tendo como alvo o tipo de acidente.

Para Brandão (2007), ao se proceder com intervenções no sistema de trânsito, podem surgir avanços na mobilidade e na qualidade de vida do cidadão, eliminando o número de vítimas graves e fatais e reduzindo os danos e perdas dos acidentes que não puderam ser evitados.

Após a implementação de medidas para solucionar os acidentes, a avaliação constitui etapa essencial para verificar o efeito (positivo ou negativo) de um tratamento. Com a avaliação, é possível melhorar a precisão e a confiança de previsões da efetividade do tratamento em implementações futuras (FRAMARIM *et al.*, 2003).

É necessário buscar alternativas para minorar os problemas de segurança viária. Tendo em vista que o GIS auxilia em processos de tomada de decisões através da visualização de cenários, as diferentes fases de elaboração do diagnóstico podem ser beneficiadas por esse tipo de sistema. Os próximos itens abordam a forma como o uso de um GIS pode contribuir em métodos de análise e tratamento dos acidentes de trânsito.

2.4 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (Geographic Information System – GIS)

2.4.1 Origens e aplicações de GIS

A história da tecnologia GIS está relacionada à evolução dos modos de fazer e usar mapas desde o surgimento das sociedades humanas. Nos tempos recentes, a necessidade implica organizar informações do espaço geográfico considerando objetivos militares, de registro de propriedades de terra, de gestão do uso e ocupação do solo e de circulação e transportes. Para o conhecimento das feições da superfície terrestre, usam-se os mapas. (NOGUEIRA, 2008).

Nogueira (2008) e Câmara *et al.* (2001) destacam que o início do desenvolvimento da tecnologia GIS deu-se por volta da década de 1960, nos Estados Unidos e no Canadá, onde, no Laboratório de Computação Gráfica da Universidade de Harvard, ocorreu o marco de sua criação. Porém faltavam ainda muitas soluções, tanto na infraestrutura de computadores, quanto nas soluções comerciais para o desenvolvimento de programas computacionais. Câmara *et al.* (2001) afirmam que a tecnologia foi impulsionada nos anos 1980, mas, para Nogueira (2008) e Erdogan *et al.* (2008), esse avanço se deu nos anos de 1990, quando a tecnologia GIS foi incentivada e utilizada para estudos e avaliações generalizadas.

Segundo Erdogan *et al.* (2008), a tecnologia GIS é habilitada para armazenar um vasto número de dados que podem ser facilmente acessados, compartilhados e gerenciados. É desenvolvido numa plataforma para análises, visualização e cruzamento de dados alfanuméricos e gráficos.

Para Câmara *et al.* (2001), o termo GIS é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com bases nas suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial, podendo ser referenciado por coordenadas geográficas ou espaciais, ou seja, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica.

Os GIS's vêm sendo progressivamente usados por empresas, órgãos do governo, em negócios, pesquisas, e num amplo leque de aplicações, que incluem análise de recursos ambientais, planejamento de uso do solo, análise locacional, avaliação de impostos, planejamento de infraestrutura, análise de bens imóveis, de marketing, demográfica e arqueológica (ESRI, 2008; BADIN *et al.*, 2002).

Carvalho Jr (2004) afirma que esse sistema possibilita a aquisição e gerenciamento dos dados sobre acidentes de trânsito através da tecnologia de geoprocessamento. Neste, os dados dos relatórios dos acidentes de trânsito podem ser coletados por meio das coordenadas de cada ponto onde ocorre um evento de interesse, com equipamento portátil (GPS - Global Positioning System) e transmitido para a central de geoprocessamento, via telefonia celular. Ou, então, com a localização da quilometragem ou endereço onde ocorreu o acidente. Após a entrada dos dados no computador, as informações podem ser acessadas pelo módulo de análise do GIS.

Existem programas desenvolvidos especificamente para o sistema de transportes, também programas adaptados para implementar modelos de planejamento e de sistemas de transportes. É possível manipular dados criando cenários da rede viária ou do sistema de transporte existente e futuro (ORTH, 2006; THONG e WONG, 1998).

Destaca-se o Sistema Georreferenciado de Informações Viárias – SGV, que está sendo elaborado pelo Laboratório de Transportes e Logística – LABTRANS/UFSC. Este sistema consiste em uma solução integrada na web, que disponibiliza um conjunto de ferramentas e procedimentos para acompanhamento, estudo e análises de informações viárias pelo DNIT.

Os GIS's permitem o acompanhamento gradual das análises, através dos recursos gráficos, planejamento, modelagem e cálculo de acessibilidade nos transportes. São capazes de simular o comportamento do tráfego com rapidez e flexibilidade, através da combinação de imagens de mapas, com diferentes tipos de informação. Baseiam-se em uma tecnologia de armazenamento, análise e tratamento de dados espaciais, não espaciais e temporais (SILVA, 1998).

Ainda na linha da aplicação de GIS na área de transportes, Lopes (2005) afirma que um GIS é um sistema que, além da visualização gráfica, permite o entendimento dos dados e correção de eventuais erros, integrando o planejamento urbano ao de transportes e circulação. Dessa forma, incorpora a localização espacial à análise que se deseja fazer.

2.4.2 Representação de dados em um GIS

A representação de dados em um GIS é o processamento informatizado de dados georreferenciados, utilizando técnicas e recursos computacionais para entrada, manipulação e análises das informações. No geoprocessamento (processamento da informação espacial), o dado não precisa estar disponível em mapas. Podem existir dados

representados por seus atributos geométricos (coordenadas, endereço postal, forma, etc.) e lógicos (taxonomia) dispostos no banco de dados (Nogueira, 2008).

Em um geoprocessamento são trabalhados diferentes tipos de dados dentro das áreas multidisciplinares. Câmara *et al.* (2001) classificam os tipos de dados em geoprocessamento, conforme evidencia o quadro 2.

Quadro 2. Tipos de dados em um geoprocessamento

| TIPOS DE DADOS | DESCRIÇÃO |
|------------------------------|--|
| Temáticos | Distribuição espacial de uma grandeza geográfica expressa de forma gráfica (mapas). Obtidos a partir do levantamento de campo, inseridos no sistema por digitalização ou por classificação de imagens. |
| Cadastrais | Cada elemento é um objeto geográfico que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas ou podem ter representações gráficas diferentes em mapas de escala distintas. |
| Redes | São informações associadas a serviços de utilidade pública, redes de drenagem e rodovias. |
| Modelos numéricos de terreno | Utilizados para representar quantitativamente uma grandeza que varia continuamente no espaço (associados à altimetria) ou para modelar unidades geológicas como teor de minerais, propriedades do solo ou subsolo. |
| Imagens | Obtidas por satélites, fotografias aéreas ou “scanners” aerotransportados que representam formas de captura indireta de informação espacial. |

Fonte: Câmara *et al.* (2001)

Em relação à representação dos dados em um GIS, existem dois modelos mais usados para reprodução do espaço geográfico ou mundo real. São modelos de estruturas de dados fundamentais: o modelo matricial (raster) e o modelo vetorial.

No modelo matricial, o espaço é representado como uma matriz $P(m, n)$ composto de m colunas e n linhas, onde cada célula possui um número de linha, um número de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado, e cada célula é individualmente acessada pelas suas coordenadas. A representação matricial supõe que o espaço possa ser

tratado como uma superfície plana onde cada célula está associada a uma porção do terreno (CÂMARA *et al.*, 2001).

A representação é feita por uma série de unidades com diferentes formas, podendo ser triangulares, hexagonais ou quadradas. As quadradas são as mais comuns e são designadas por célula ou pixel (Dias, 2003). Na figura 3 pode ser visualizada a representação matricial.

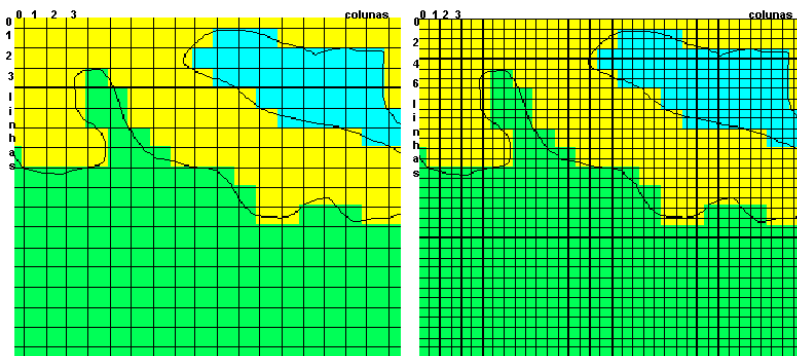


Figura 3. Diferentes representações matriciais para um mapa

Fonte: Câmara *et al.*, 2001.

No modelo vetorial, a localização e a aparência gráfica de cada objeto são representadas por um ou mais pares de coordenadas. Nesse modelo, consideram-se três elementos gráficos: ponto (nó), linha poligonal (arco) ou área (polígono). Um ponto é um par ordenado (x, y) de coordenadas espaciais, os dados de atributos (não espaciais) também podem ser arquivados para indicar o ponto que está se tratando. As linhas poligonais, arcos ou elementos lineares são um conjunto de pontos conectados e também podem ser armazenados os seus atributos. Um polígono é a região do plano limitada por uma ou mais linhas poligonais conectadas. A representação vetorial pode ser visualizada na figura 4.

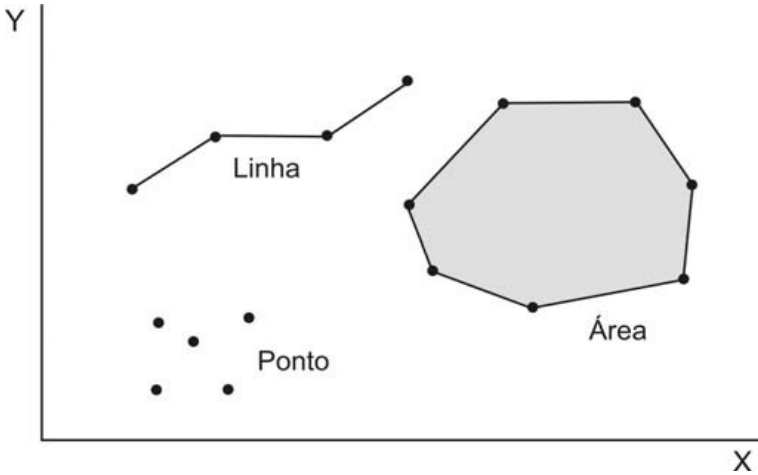


Figura 4. Elementos da representação vetorial

Fonte: Câmara *et al.* (2001).

2.4.3 Elementos de um GIS

Nogueira (2008) define um GIS como um sistema composto por elementos principais, que são: o hardware computacional (computador e periféricos de entrada e saída); módulos de software aplicativos (programas constituídos em módulos para a execução de variadas funções); as informações alfanuméricas e gráficas e o profissional responsável pela implementação e manipulação.

2.4.4 Tratamento espacial de dados de acidentes de trânsito

Nas análises de acidentes de trânsito, existem diversos métodos de tratamento espacial de dados. O procedimento de geoprocessamento geralmente envolve pelo menos três etapas distintas: o projeto conceitual, o projeto lógico e o projeto físico. Muitas vezes com terminologia diferente, mas com o objetivo de gerar um GIS (MEINBERG, 2003).

2.4.4.1 Projeto conceitual (modelagem dos dados)

Consiste na definição da forma de representação e relacionamento das entidades que serão utilizadas no banco de dados,

com vistas a permitir determinadas rotinas de manipulação dos dados. Nessa etapa, independentemente do software GIS utilizado, é desenvolvido o modelo para a construção do banco de dados geográficos, onde são representados os dados alfanuméricos e os dados gráficos (ponto, linha ou polígono) que representam entidades ou eventos localizados geograficamente.

A construção do banco de dados de um GIS classifica a variável espacial em relação aos dados dos atributos como volume de tráfego e acidentes de trânsito (KANG; LEE, 2007). Dessa forma, a base cartográfica e os demais dados devem ser preparados para que sejam manipulados em um GIS.

Essa primeira etapa, ou seja, o projeto conceitual, consiste na padronização e modelagem dos dados. São examinadas as inconsistências, verificados, organizados e corrigidos os dados dos boletins de ocorrência (gráficos e alfanuméricos) (ERDOGAN *et al.*, 2008; KANG; LEE, 2007; SANTOS; RAIA JR, 2006; QUEIROZ, 2003; MEINBERG, 2003).

2.4.4.2 Projeto lógico (estrutura do banco de dados geográficos)

Define como cada entidade será armazenada no sistema, e depende do software GIS que será utilizado. Apresenta como resultado final a estrutura do banco de dados geográfico. Implica tornar as coordenadas dos acidentes de trânsito conhecidas num dado sistema de referência cartográfica.

Este processo inicia-se com a obtenção das coordenadas (pertencentes ao sistema geodésico no qual se planeja georreferenciar). O processo consiste em associar os atributos de cada acidente existente no banco de dados relacional aos seus respectivos locais na base cartográfica, representados por objetos do tipo pontos (KANG; LEE, 2007; SANTOS; RAIA JR, 2006; QUEIROZ, 2003, MEINBERG, 2003).

O georreferenciamento pode ser realizado através de: a) acréscimo ponto a ponto (usado apenas para pequenas quantidades de dados, pois é bastante demorada); b) aplicação das rotinas disponíveis nos pacotes computacionais de GIS, a qual exige que os formatos dos arquivos estejam de acordo com as rotinas internas de cada programa de GIS, o que nem sempre é possível sem uma conversão; c) uso de programas elaborados na linguagem de programação deste pacote; e d) uso de programas especialistas, que apresentam a vantagem de se

adaptarem às necessidades do usuário, porém exigem recursos humanos com conhecimento necessário para sua adaptação (QUEIROZ, 2003).

2.4.4.3 Projeto físico (implementação dos dados)

O projeto físico consiste na construção do banco de dados geográficos idealizado anteriormente, quando é realizada: a aquisição dos dados; importação dos dados para o meio digital; associação entre os dados gráficos e alfanuméricos; e desenvolvimento de rotinas para manipulação dos dados.

A manipulação dos dados em um ambiente GIS consiste na visualização, nas consultas, nas análises e nas simulações dos dados.

A definição das rotinas de manipulação dos dados deve ser prevista na modelagem dos dados, além disso, as análises do tratamento espacial dos acidentes de trânsito podem ser classificadas de quatro formas: análise de padrões pontuais; análise de superfícies (geoestatística); análise de redes; e análise de dados em áreas (QUEIROZ, 2003).

As causas de acidentes podem estar associadas a fatores aleatórios que independem do local de ocorrência do acidente, como a imprudência do motorista, e a fatores não aleatórios, vinculados a um ou mais atributos relativos ao local do acidente. O GIS permite a identificação de locais críticos através da sobreposição de diversos fatores intervenientes e de um conhecimento técnico especializado.

2.4.5 Uso e aplicações de GIS em segurança viária

Devido o alto índice de acidentes de trânsito, buscam-se soluções para a sua redução, através do entendimento de como esses fenômenos acontecem. Torna-se mais fácil atingir esse objetivo com a utilização de um GIS, associado às análises espaciais, tornando-se possível entender as inter-relações entre diversos tipos de acidentes de trânsito (SANTOS e RAIA JR, 2008).

França e Goldner (2006) afirmam que os acidentes de trânsito podem ser referenciados por um par de coordenadas geográficas ou de um endereço previamente definido pelo órgão gestor, através de um método adequado. Devido a essa natureza espacial, os acidentes de trânsito podem ser analisados por um sistema que permite a ligação entre seus atributos (tipo de acidente, hora, local, vítimas etc.) e dados espaciais (relevô, rodovia, ocupação do entorno, representados em mapas).

Erdogan *et al.* (2008) destacam que os relatórios de trânsito não são suficientes para a solução do problema, por isso a tecnologia GIS é usada como ferramenta na visualização e análise espacial de acidentes, através dos pontos, trechos ou áreas críticas na rodovia, observando-se que devem ter uma base de dados confiáveis, pois as inconsistências podem prejudicar a análise.

O GIS permite a visualização integrada de dados e informações sobre a rede viária, incluindo acidentes de trânsito, sinalização, condições da pavimentação, condições climáticas, entre outras características. Além disso, no banco de dados do sistema, podem ser incluídas localizações geográficas de identidades, como atendimentos hospitalares, escolas, urbanização, permitindo uma variedade de análises.

Queiroz (2003) afirma que os programas de segurança viária usam diversas metodologias para identificar e priorizar os locais críticos com maiores concentrações de acidentes de trânsito. Critica, porém, a utilização de modelos estatísticos tradicionais, pois estes partem do pressuposto da independência dos eventos observados, destacando-se que os acidentes de trânsito são geograficamente dependentes, ou autocorrelacionados requerendo modelos de dependência espacial nos estudos de segurança viária.

Em muitos estudos de acidentes de trânsito em rodovias, as ocorrências são agrupadas em um único espaço, próximo a uma interseção ou seção da via. Nessa concentração de eventos é que ocorre a correlação (dependência) espacial. A correlação espacial é um fenômeno que influencia seus vizinhos, numa relação de reciprocidade ou não. Os acidentes não são fatos isolados; um acidente interfere no segmento em que ocorre, influenciando segmentos vizinhos e vice-versa (SANTOS; RAIA JR, 2008; SOARES; SILVA, 2007; VALVERDE; JOVANIS, 2006; QUEIROZ, 2003).

A correlação espacial positiva (concentração) em áreas urbanas geralmente ocorre na região central dos municípios, com exceção os acidentes com vítimas fatais que ocorrem na periferia devido ao desenvolvimento de altas velocidades (SANTOS; RAIA JR, 2008; QUEIROZ *et al.*, 2004; MEINBERG, 2003; QUEIROZ; LOUREIRO, 2003).

Muitas pesquisas vêm utilizando os modelos estatísticos de análises espaciais para a estimação de áreas de risco de acidentes. A calibração desses modelos desdobra variáveis confusas e de dependência espacial, permitindo análises mais precisas.

Podem ser encontradas algumas pesquisas que destacam essa abordagem em outros países (ERDOGAN *et al.*, 2008; KANG; LEE, 2007; VALVERDE; JOVANIS, 2006; HUANG *et al.*, 2004) e também a inserção dessas metodologias em estudos no Brasil (QUEIROZ, 2003; QUEIROZ; LOUREIRO, 2003; QUEIROZ *et al.*, 2004; SANTOS; RAIA JR, 2008; SANTOS; RAIA JR, 2006; SOARES; SILVA, 2007; SOARES *et al.*, 2004).

A análise espacial dos acidentes de trânsito no município de Fortaleza, no Ceará, foi realizada através da base de dados georreferenciada dos acidentes de trânsito registrados na malha viária (espaço-temporal). Os estudos baseiam-se na metodologia de análise estatística de padrões pontuais (QUEIROZ *et al.*, 2004) e análise dos dados em áreas (QUEIROZ; LOUREIRO, 2003). Os padrões pontuais representam os agrupamentos conforme o índice do vizinho mais próximo e a quantidade de acidentes, também representados pela elipse do desvio padrão. A análise dos dados em áreas representa em escala o ranking da variação de concentrações de acidentes nas zonas de tráfego.

Pesquisas semelhantes na área de análise estatística espacial foram realizadas por Santos e Raia Jr (2006, 2008). Foram aplicadas as mesmas técnicas de análise dos acidentes de trânsito no município de São Carlos e do estudo realizado por Soares *et al.* (2004) para o município do Rio de Janeiro, identificando as dez vias mais perigosas.

A metodologia de análise de autocorrelação em redes pode ser aplicada ao caso de acidentes de trânsito, utilizando atributos vinculados à rede e à conectividade na mesma, tratando a cidade como uma rede complexa, formada pelas ruas e avenidas. Na análise em redes, os dados observados são os segmentos/arcos e não áreas ou pontos. Um estudo realizado por Soares e Silva (2007) no município de São Carlos, SP, apresentou a influência da caracterização geográfica dos acidentes de trânsito, assim como a influência da autocorrelação espacial positiva, justificando que os acidentes não são fatos isolados. Um acidente interfere no segmento em que ocorre, influenciando segmentos vizinhos e vice-versa.

Diversos órgãos públicos de engenharia de tráfego de municípios no Brasil adotam o sistema de cadastro de acidentes de trânsito, e fazem suas análises através da visualização dos eventos e manipulação dos dados em um GIS, fazendo o georreferenciamento de informações viárias e urbanas (estacionamento, cálculo volumétrico, sinalização, linhas de ônibus, pontos de ônibus e de táxi, acidentes etc.) (SOARES *et al.*, 2004; MEINBERG; 2003). Dentre eles, podem ser encontrados os estudos do Sistema de Cadastro Viário e de Acidentes de trânsito

(CAVIAR) do Sistema de Informações Geográficas Corporativo da Companhia de Engenharia de Tráfego do Município do Rio de Janeiro (CET-RIO), e o sistema da Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte (BHTRANS), denominado GeoTrans, a Empresa pública de Transporte e Circulação (EPTC) de Porto Alegre e a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) de São Paulo.

Além disso, o GIS permite armazenar informações não apenas dos acidentes de trânsito, mas também da sinalização e das características de trânsito e tráfego, como é o caso do estudo realizado por Badin *et al.* (2008), que utilizaram um GIS para o planejamento e gerenciamento de placas de sinalização viária. Através de um protótipo para o sistema viário de Joinville, SC, foi realizada a atualização de toda a sinalização vertical e a criação de um banco de dados georreferenciados, associado a cada sinalização implantada e a ser implantada, que pode ser cruzada com as informações dos acidentes de trânsito.

França (2008) aplicou um GIS na caracterização dos acidentes de trânsito em rodovias estaduais de Santa Catarina. Através do mapeamento, realizou o diagnóstico em relação à quantidade de acidentes de trânsito. Segmentando a malha rodoviária em extensões máximas de 1 km (3.145 segmentos), elaborou relatórios estatísticos de acidentes de trânsito e mapas temáticos, representando os segmentos e as suas características.

Trindade Jr (2008) elaborou um Sistema de Informações georreferenciada de acidentes de trânsito e-SIG. Através de um aplicativo disponibiliza *on-line* e por internet dados de acidentes (mapas e planilhas) aos usuários. Ressalta a dificuldade de acesso a dados precisos, atualizados e consistentes e, por isso, a criação do sistema beneficia a disseminação das informações via internet, interagindo o usuário através de questionamentos e intensificando a cultura da informação a respeito de segurança viária.

Reinhold (2006) desenvolveu uma metodologia baseada no estudo dos fatores de segurança viária, através da aplicação de um GIS que proporcionou estabelecer o melhor local para implantação de faixas de pedestres nos trechos críticos da via urbana. Para isto, na pesquisa direcionada à área central da cidade de Blumenau, SC, foram considerados os atropelamentos, a percepção de risco dos usuários e os conflitos de tráfego existentes, no período de 2000 a 2004.

Diesel (2005) trabalhou com GIS na prevenção de acidentes de trânsito, através da relação dos acidentes de trânsito com as ocorrências de precipitações pluviométricas. Levou em conta que a má qualidade

das vias (traçado, pavimentos, sinalização) é uma causa importante que se potencializa quando associada às condições climáticas adversas. A pesquisa identificou trechos críticos do sistema de rodovias federais de Santa Catarina em diferentes situações de precipitações pluviométricas.

Cardoso (1999) aplicou um GIS para análise da segurança viária da cidade de São José, SC. Através do estudo foram mapeados os acidentes de trânsito no período de 1996 a 1997, possibilitando a identificação das regiões, interseções e vias críticas. O estudo colaborou para a tomada de decisões relacionadas à rede viária municipal.

Erdogan *et al.* (2008) usou a tecnologia GIS como recurso auxiliar nos sistemas de análises de pontos críticos na cidade de Afyonkarahisar, que é uma área em desenvolvimento, abrangendo centros industriais, agricultura e áreas turísticas da Turquia. Os “pontos quentes” ou áreas críticas são estudados quando há ocorrência de pelo menos quatro acidentes de localização individual por ano na Turquia. No estudo, foram utilizadas duas metodologias para determinação dos pontos críticos: os testes estatísticos de Poisson e Bernoulli (taxas de probabilidades de acidentes em um período) e o método de cálculo da Densidade de Kernel (densidades dos acidentes em um período).

Pulugurtha *et al.* (2007) pesquisaram novas metodologias para identificar zonas com alto ranking de atropelamentos. Pulugurtha e Vanapalli (2008) identificaram concentrações de acidentes de pedestres em áreas de pontos de ônibus, na região metropolitana de Las Vegas. Utilizaram GIS para exploração e identificação dos pontos de ônibus perigosos. Eles afirmam que a maioria das viagens de ônibus começa e termina com uma caminhada, mostrando que a relação entre os atropelamentos e os corredores de ônibus representa falta de segurança para pedestres. Medidas a serem adotadas deveriam incluir calçadas e faixas de segurança e sinalização.

Hare *et al.* (2008) realizaram a visualização de análises estatísticas de acidentes fatais na Jamaica, nas proximidades de serviços médicos. Um raio de 9 km dos hospitais foi selecionado como parâmetro para determinar a distância de ocorrência de acidentes, isso por que, afirmam os autores, uma percentagem considerável dos acidentes ocorre a caminho do hospital, demonstrando a importância de implantação de pronto atendimento para esse tipo de emergência.

Dessa forma, pesquisadores vêm adotando a tecnologia GIS em seus estudos. Realizam as análises através de mapas de colisões, ou mapas de risco de acidentes de trânsito, que podem ser relacionados com fatores, como densidade populacional, condições climáticas, entre outras informações, para um determinado período de estudo. Entre esses

pesquisadores, podem ser destacados Yuan e Song (2007), Hirasawa e Asano (2003) e Koike *et al.* (2000).

Yuan e Song (2007) criaram um sistema de gerenciamento da segurança viária e de levantamento de dados baseado na tecnologia 3S (GPS, GPRS e GIS). A tecnologia Global Positioning System (GPS) é usada para detectar a posição do veículo; a General Packet Radio Service (GPRS) para transferir todo tipo de informação para a central de monitoramento; e a GIS para gerar as análises. O gerenciamento do tráfego e dos acidentes, por meio das tecnologias, pode integrar as estatísticas de acidentes de trânsito com as características das rodovias e análise de áreas críticas.

Hirasawa e Asano (2003) desenvolveram análises dos acidentes de tráfego usando GIS para segmentos de rodovias e as condições específicas das mesmas. Criaram um sistema que permite analisar a frequência dos acidentes de trânsito e as suas taxas, em função do clima, pois os acidentes tiveram aumentos consideráveis nos últimos 10 anos na cidade de Hokkaido, no Japão, principalmente no inverno, quando as temperaturas mudam com as nevascas que deixam a pista escorregadia. Dessa forma, a proposta do estudo foi a prevenção dos dias de risco, considerando a meteorologia, e a elaboração de mapas de risco, os quais sugerem novas rotas, menos perigosas, para a redução dos acidentes. Essas podem ser acessadas na internet pelos usuários.

Koike *et al.* (2000) examinaram a relação entre as reais localizações de acidentes de trânsito e a percepção das pessoas quanto à localização dos mesmos. Usaram questionários conduzidos para a percepção de locais de risco e a aplicação dessas áreas propensas à ocorrência de acidentes de trânsito, em mapas de risco, elaborados em um GIS. A área de estudo selecionada foi a capital provincial da cidade de Utsunomiya, Japão, que possui uma população de meio milhão de habitantes. O objetivo do estudo foi observar a relação entre os acidentes e a percepção de risco das pessoas para que, dessa forma, pudessem ser apresentadas as medidas de segurança necessárias aos grupos de pessoas distintos.

A maioria dos estudos consolidados e revistos com abordagem em um GIS dá maior destaque ao sistema viário urbano. Além disso, as análises em GIS para o sistema viário rural não possuem um sistema integrado com as taxas e índices de acidentes de trânsito, que é o diferencial da presente pesquisa.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se anteriormente como é organizado e qual é a situação atual do sistema rodoviário brasileiro. Deste, apenas 12% da malha viária é pavimentada, devido à precariedade do sistema, que se apresenta com baixa oferta de infraestrutura de qualidade, o que acarreta custos e perdas, econômicos e sociais, como nos acidentes de trânsito.

Em relação aos acidentes de trânsito, foram apresentados os principais fatores contribuintes para a sua ocorrência, assim como os tipos, as metodologias de análise e os respectivos diagnósticos. Destacou-se também a importância do GIS para a realização do diagnóstico, análises e gerenciamento do sistema viário e como o uso da ferramenta vem sendo aplicada no Brasil.

Os GIS's estão deixando de ser um sistema de difícil acesso, porém ainda são pouco explorados pelos órgãos gestores de trânsito e tráfego. Na pesquisa bibliográfica, foram apresentadas algumas pesquisas realizadas nas cidades brasileiras onde os órgãos públicos utilizam o sistema. Também foram registradas algumas pesquisas nacionais e internacionais aplicadas em segurança viária.

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente capítulo apresenta o procedimento metodológico que deu embasamento à elaboração da pesquisa, seguindo as etapas de trabalho que podem ser visualizadas na figura 5 através do fluxograma.

O método proposto consistiu na definição da área de estudo, na obtenção do software GIS, na obtenção da base cartográfica e coleta dos dados.

Sequencialmente partiu-se para o geoprocessamento, que ocorreu a partir da coleta de dados e da concepção do projeto conceitual, o qual consistiu em realizar a preparação da base cartográfica, a segmentação da malha rodoviária, a caracterização do ambiente, a entrada e modelagem dos dados dos acidentes de trânsito e do Volume Diário Médio Anual (VDMA) e a obtenção dos segmentos críticos a partir de dois métodos de cálculos conceituados na literatura.

Na fase de geoprocessamento também foi efetuado o projeto lógico, o qual implica organizar o banco de dados geográficos e o projeto físico. Neste, se realiza a associação dos dados gráficos e alfanuméricos, a comparação dos métodos de cálculo, a seleção dos segmentos críticos tratados e a manipulação dos dados.

Finalmente foi realizada a proposição de medidas mitigadoras comuns aos principais tipos de acidentes que ocorreram nos segmentos críticos.

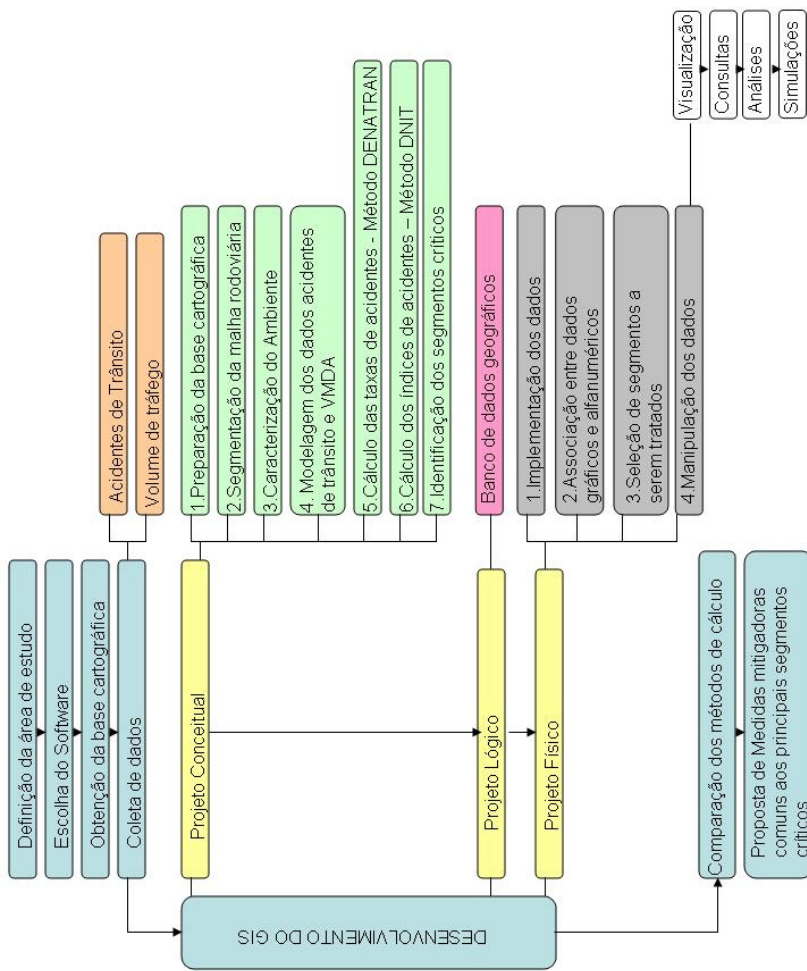


Figura 5. Fluxograma do método proposto

3.2 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Através do conhecimento do objetivo do trabalho a ser realizado, bem como dos recursos e da disponibilidade dos dados para a pesquisa, foi definida a área de estudo, ou seja, a BR-285, no trecho situado no Rio Grande do Sul, já mencionada no capítulo 1, item 1.4.

3.3 ESCOLHA DO SOFTWARE

Para o desenvolvimento do estudo, faz-se necessário a utilização de um software adequado e disponível, que possua ferramentas de análise e que permita a compatibilidade para a introdução dos dados alfanuméricos. Optou-se por um software GIS disponível e compatível para o estudo: O ArcGIS, Versão 9, que é um conjunto integrado de produtos de software GIS, produzido pela ESRI, instalado em plataforma Windows e que armazena os dados em geodatabase.

O software trabalha com um conjunto de aplicativos que contém o ArcMap (mapeamento e edição), o ArcCatalog (administra as propriedades de dados espaciais, projeta banco de dados, registros, visualização e administra dados avançados) e o ArcToolbox (conversão de dados e geoprocessamento).

Além disso, no ArcGIS estão incluídos: ArcReader, que permite ver os mapas criados com os outros produtos Arc; o ArcView, que permite ver dados espaciais, criar mapas, e performance básica de análise espacial; o ArcEditor que inclui toda a funcionalidade do ArcView, inclui ferramentas mais avançadas para manipulação de shapefiles e geodatabases; e o ArcInfo, a versão mais avançada do ArcGIS, que inclui potencialidades adicionadas para a manipulação de dados, edição e análise (ESRI, 2008).

3.4 OBTENÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA

Para a concepção de um GIS, um passo inicial de grande importância é a elaboração ou obtenção de uma base cartográfica da área de estudo. A principal função da base cartográfica é auxiliar o georreferenciamento para os mapas temáticos, que representam informações de diversas categorias.

A base cartográfica georreferenciada das rodovias foi de grande importância para elaboração deste projeto. Esse mapa digitalizado, com as devidas coordenadas, contendo a área estudada está disponibilizado geralmente nos órgãos de gestão pública.

Antes da tomada de decisão de qual base cartográfica representava melhor a malha rodoviária em estudo, analisaram-se duas bases cartográficas disponíveis, entre elas, a base cartográfica obtida no Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) de abril de 2007, do modal rodoviário brasileiro, encontrada e disponível aos pesquisadores no site do MT (2009) e a base cartográfica digital do Rio Grande do Sul, organizada por Hasenack (2006), contendo todas as rodovias do Estado. Visto que esta última representava o mundo real com melhor precisão e menos erros de topologia, optou-se por utilizá-la no estudo em questão.

A base cartográfica foi projetada por Hasenack (2006) na escala 1:250.000 em formato Geotiff, construída a partir dos dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission* - Missão do Ônibus Espacial de Topografia por Radar).

3.5 COLETA DOS DADOS

Para a construção do banco de dados da pesquisa, os dados e informações foram coletados de fontes diferenciadas, uma vez que a rodovia está condicionada não apenas a órgãos públicos, mas sob jurisdição de concessionárias privadas. O banco de dados armazena informações da malha viária, do ambiente e dos fatores de segurança viária, incluindo os acidentes de trânsito e o volume de tráfego que foram relacionados para o cálculo das taxas e índices de acidentes de trânsito. A partir de então, foram realizadas as análises, visualização e tratamento dos segmentos críticos.

3.5.1 Coleta de dados dos Acidentes de Trânsito

Para realizar a coleta dos dados dos acidentes de trânsito, foi necessário buscar informações disponíveis nos cadastros dos órgãos gestores de trânsito responsáveis pela rodovia. As informações foram coletadas com busca minuciosa sobre acidentes de trânsito nos relatórios de acidentes de trânsito, de onde foram extraídos basicamente dados sobre:

- a. Ordem, mês, ano, hora e dia da semana.
- b. Local do acidente – UF, rodovia e quilômetro.
- c. Tipo de acidente (descritos no quadro 1, item 2.3.1, Capítulo 2) e fatores contribuintes (como defeito mecânico no veículo, falta de atenção, desobediência à sinalização, animais na pista, não guardar distância de segurança, velocidade incompatível,

- dormir na pista, ultrapassagem indevida, ingestão de álcool, entre outros).
- d. Situação dos envolvidos (mortos, feridos leves, feridos graves, ileso).
 - e. Dados do local do acidente (classificação do acidente, tipo de pista, sentido da via, traçado da pista, condições da pista de rolamento, condição do tempo, fase do dia).
 - f. Tipo de veículo (bicicleta, motoneta ou ciclomotor, motocicleta, triciclo ou quadriciclo, automóvel, caminhonete ou camioneta, micro ônibus, ônibus, caminhão, reboque ou semi-reboque, caminhão-trator, tração animal, máquina agrícola, outros).

Os dados e informações dos acidentes de trânsito para a pesquisa foram coletados através das planilhas eletrônicas obtidas nos relatórios de acidentes de trânsito da 10^a Delegacia de Polícia Rodoviária Federal (DPRF), formulados a partir do sistema DATATRAN/DPRF, que possui o banco de dados de todos os boletins de ocorrência. O período escolhido para aplicação do estudo foi de 01 de janeiro de 2007 a 31 de dezembro de 2008, período em que foi implantado e que existia o banco de dados completo e digital do sistema de cadastro de acidentes de trânsito do DPRF para a BR-285.

O DATATRAN é um subsistema do Sistema BR-Brasil, do Núcleo de Estatística do DPRF (Coordenação Geral de Operações, Divisão de Planejamento Operacional, Núcleo de Estatística), do Ministério da Justiça. É alimentado com os dados oriundos dos Boletins de Acidentes de Trânsito (BAT's) lavrados por ocasião do atendimento aos acidentes nas rodovias federais (DENATRAN e IPEA, 2006).

O DATATRAN do DPRF é o mais importante banco de dados sobre acidentes de trânsito nas rodovias. Esses registros, disponíveis em planilhas Excel, cobrem a totalidade dos acidentes ocorridos nas rodovias federais policiadas, que, por sua vez, correspondem a mais de 90% de todo o tráfego das rodovias federais (DENATRAN e IPEA, 2006).

Apesar de reconhecer a grande dificuldade de padronização dos boletins de ocorrência dos acidentes de trânsito no Brasil, pois este procedimento já foi tentado em diversos momentos anteriores, algumas informações são consideradas imprescindíveis para que o banco de dados torne-se um instrumento gerencial eficaz e uma rica fonte de pesquisa. Alguns órgãos gestores de tráfego e trânsito não abordam, em seus relatórios, as informações a respeito dos fatores contribuintes para

os acidentes de trânsito, justificando que é necessário o conhecimento específico de um perito para saber, por exemplo, se o veículo estava com defeito mecânico, com velocidade incompatível, entre outros (DATATRAN e IPEA, 2006).

3.5.2 Coleta de dados do Volume de Tráfego

Para a coleta de dados do volume de tráfego (VDM), faz-se necessário buscar informações disponíveis nos departamentos responsáveis pela contagem de tráfego. Além disso, as informações devem conter o número total de veículos passantes pela rodovia em ambos os sentidos de fluxo. É importante que as informações do volume médio diário, anual, mensal, semanal estejam caracterizadas.

A coleta dos dados do volume de tráfego pode ser feita em um ou mais pontos de contagem ao longo de toda a via. Foi analisado o volume de tráfego em trechos em toda a rodovia, pois os veículos podem tomar diferentes direções, mudando, assim, o fluxo.

Os volumes de tráfego foram coletados em pontos onde se localizam as praças de pedágio dos polos concedidos e aos quais a rodovia está subordinada, que são: o Polo Rodoviário de Carazinho e o Polo Rodoviário de Vacaria, e nos postos de contagem do DPRF, ao longo da rodovia. Já em trechos onde não havia contagem volumétrica, foram realizadas contagens *in loco* e realizados métodos de expansão e regressão dos dados de volume de tráfego, baseados no Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (a) (2006).

O Polo Rodoviário de Concessão é compreendido pela união de rodovias com volumes de tráfego altos e baixos, assegurando, dessa forma, a viabilidade do empreendimento.

O Polo Rodoviário de Carazinho está condicionado à Concessionária Rodoviária do Planalto S.A. (COVIPLAN), e o Polo Rodoviário de Vacaria sob concessão da Concessionária de Rodovias Rodosul S.A. (RODOSUL), através do contrato consolidado com o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER/RS) e a Secretaria de Transportes do Estado do RS.

Ao longo da rodovia BR-285, encontram-se trechos distintos em concessão, os quais se destacam entre as cidades de Vacaria e Lagoa Vermelha (km 123,70 ao km 182,80), entre Passo Fundo e Carazinho (km 291,60 ao km 331,60) e entre Carazinho a Panambi (km 331,60 ao km 384,10).

A área sob concessão compreende as rodovias e respectivas faixas marginais, assim como as áreas de descanso e áreas ocupadas

com instalações administrativas. A segurança, os investimentos, a manutenção e a conservação da rodovia são de responsabilidade da concessionária que explora o trecho.

O período de coleta de dados do volume de tráfego foi o mesmo adotado para a coleta dos acidentes de trânsito, ou seja, os anos de 2007 e 2008.

3.6 DESENVOLVIMENTO DO GIS

Conforme descrito anteriormente no capítulo 2, item 2.4.4., o desenvolvimento do GIS foi baseado em três processos: o projeto conceitual, o projeto lógico e o projeto físico.

3.6.1 Projeto Conceitual

No projeto conceitual foi realizada a preparação da base cartográfica, a segmentação da malha viária, a caracterização do ambiente, a modelagem e entrada dos dados alfanuméricos dos acidentes de trânsito e do VDMA, o cálculo das taxas de acidentes de trânsito realizado com base no método numérico do DENATRAN (1987) e o cálculo dos índices de acidentes de trânsito, baseado no método estatístico do DNER (1986) adaptado por Paro (2009) para, dessa forma, obterem-se os segmentos críticos em cada método, de acordo com os segmentos homogêneos de tráfego. Cada processo dessa etapa será descrito na sequência.

3.6.1.1 Preparação da base cartográfica

Após a obtenção da base cartográfica, foram analisadas as inconsistências da mesma e corrigida a sua topologia. Pelo fato de essa base cartográfica ser vetorizada a partir de cartas georreferenciadas, foram encontrados alguns erros, como a falta de junções de linhas ou sobreposição das mesmas. Além disso, a base cartográfica foi calibrada recebendo informações a respeito da quilometragem da rodovia. Esse procedimento pode ser verificado no Apêndice A – Preparação da base cartográfica.

3.6.1.2 Segmentação da malha rodoviária

Primeiramente foram obtidos os trechos do PNV, de março de 2009, disponíveis no DNIT (2009). Cada trecho possui o quilômetro de

início e de fim, com suas extensões quilométricas conforme a homogeneidade de tráfego. Dentro de cada trecho do PNV, foram obtidos os segmentos em estudo, que variam suas extensões entre 1,00km a 1,9km (situação na qual o trecho do PNV não termina ou começa em um número inteiro) (PARO, 2009).

A *segmentação* da rodovia foi realizada de acordo com as extensões do PNV (2009). França (2008) sugere que a segmentação se realize com a utilização da diferença de um metro 0,000 a 1,000 e 1,001 a 2,000 e assim sucessivamente, pois é a precisão máxima dos registros dos acidentes de trânsito. A maioria dos acidentes é registrada com a precisão de uma casa decimal e, em muitos casos, utilizam-se duas casas. São pouquíssimos os acidentes de trânsito registrados com o uso de três casas decimais.

3.6.1.3 Caracterização do ambiente

Conforme Paro (2009), os dados do ambiente do segmento referem-se ao tipo de pista (pavimentada ou não pavimentada, duplicada ou simples) e ao ambiente (rural ou urbano) no qual o mesmo está inserido.

Em relação ao tipo de pista, foi tratado de forma diferenciada o trecho não pavimentado da rodovia BR-285, uma vez que a rodovia não possui duplicação. Em relação ao meio rural ou urbano, foi percorrida a rodovia, marcando, dessa forma, a quilometragem das zonas urbanas através dos marcos quilométricos.

3.6.1.4 Modelagem e entrada dos dados alfanuméricos dos acidentes de trânsito e do VDMA

a) Banco de Dados dos Acidentes de Trânsito

No banco de dados podem ser reeditadas as informações dos acidentes de trânsito em software específico, como a planilha do Microsoft Excel, Access, dBASE ou semelhante, que possua um link para que possa ser inserido o banco de dados no GIS (REINHOLD, 2006).

Primeiramente, no método proposto, foi utilizada a planilha do Microsoft Excel para a montagem do banco de dados; posteriormente, optou-se pelo formato dBASE, que é o formato de arquivo, o DBF, muito usado por diversos aplicativos que precisam somente de um formato para armazenar seus dados estruturalmente. Além disso, as informações foram dispostas em colunas para que cada característica

fosse posteriormente importada para o Software GIS. Nessa etapa, foram corrigidos os erros de digitalização e as inconsistências de toda a planilha, como as repetições de ocorrências. Os campos obtidos nessas colunas se referem às informações do acidente apresentado no quadro 3, e as planilhas no Apêndice B – Planilhas de Acidentes de Trânsito.

b) Banco de dados do VDM

Da mesma forma como os dados dos acidentes de trânsito foram manipulados, o VDMA de cada segmento foi digitalizado em planilha do Microsoft Excel e, posteriormente, em formato dBASE para que nas próximas etapas pudessem ser relacionados com os acidentes de trânsito. Na montagem do banco de dados, foi utilizado o VDMA, que foi relacionado com os acidentes ocorridos em cada segmento para os anos de 2007 e 2008.

Quadro 3. Campos de informações de acidentes nas planilhas do BD

| Nome do campo | Descrição |
|----------------------|---|
| Dia | Dia de ocorrência do acidente |
| Mês | Mês de ocorrência do acidente |
| Ano | Ano de ocorrência do acidente |
| Hora | Hora de ocorrência do acidente |
| Dia_Semana | Dia da semana de ocorrência do acidente |
| UF | Sigla da Unidade de Federação da Rodovia onde ocorreu o acidente |
| BR | Sigla da Rodovia onde ocorreu o acidente |
| KM | Quilômetro de referenciamento onde ocorreu o acidente |
| Tipo_de_Acidente | Descrição do tipo de acidente ocorrido: Atropelamento de pedestre ou de animal, colisão traseira, colisão frontal, colisão lateral, colisão transversal, saída de pista, engavetamento, choque, capotamento, tombamento, queda, outros. |
| Fator_Contribuinte | Defeito mecânico no veículo, falta de atenção, desobediência a sinalização, animais na pista, não guardar distância de segurança, velocidade incompatível, dormir na pista, ultrapassagem indevida, ingestão de álcool, entre outros |
| Mortos | Quantidade de mortos no acidente |

Continua Quadro 3.

| | |
|------------------------|---|
| Feridos_Leves | Quantidade de feridos leves no acidente |
| Feridos_Graves | Quantidade de feridos graves no acidente |
| Ilesos | Quantidade de pessoas ilesas no acidente |
| Classificação_Acidente | Classificação do acidente, com vítimas, sem vítimas e com mortos |
| Via_com_pista | Classificação da via em pista simples ou duplicada onde ocorreu o acidente |
| Sentido_Via | Sentido de tráfego da via em que ocorreu o acidente, crescente ou decrescente |
| Traçado_Pista | Traçado da pista em que ocorreu o acidente, reta, curva ou cruzamento |
| Condição_Pista_Rolam. | Condição da via em que ocorreu o acidente, bom, ruim ou péssimo |
| Condição_Tempo | Condições climáticas em que ocorreu o acidente, sol, chuva, nublado, outros |
| Fase_Dia | Fase do dia de ocorrência do acidente, manhã, tarde, noite, amanhecer, entardecer |
| Bicicleta | Quantidade de bicicletas envolvidas no acidente |
| Motoneta_Ciclomotor | Quantidade de motoneta e/ou ciclomotor envolvidos no acidente |
| Motocicleta | Quantidade de motocicleta envolvida no acidente |
| Triciclo_Quadriciclo | Quantidade de triciclo e/ou quadriciclo envolvidos no acidente |
| Automóvel | Quantidade de automóveis envolvidos no acidente |
| Caminhonete_Camioneta | Quantidade de caminhonete e/ou camioneta envolvidos no acidente |
| Microônibus | Quantidade de micro-ônibus envolvidos no acidente |
| Ônibus | Quantidade de ônibus envolvidos no acidente |
| Caminhão | Quantidade de caminhões envolvidos no acidente |
| Reboque_SemiReboque | Quantidade de reboque e/ou semi-reboque envolvidos no acidente |
| Caminhao_Trator | Quantidade de caminhão trator envolvidos no acidente |
| Tração_Animal | Quantidade de tração animal envolvidos no acidente |
| Máquina_Agrícola | Quantidade de máquinas agrícolas envolvidos no acidente |
| Outros | Quantidade de outros tipos de veículos envolvidos no acidente |
| Total_Feridos | Quantidade total de pessoas feridas no acidente |

3.6.1.5 Cálculo das taxas dos acidentes de trânsito

O DENATRAN (1987) recomenda alguns aspectos complementares de fundamental importância para que se leve em conta o valor da integridade física e da vida humana no trânsito, considerando o grau de severidade dos acidentes. Para tanto, foi utilizado o conceito de Unidade Padrão de Severidade (UPS) em que se atribui um peso a cada acidente, dependendo de sua gravidade.

Existem diferentes métodos que atribuem peso à severidade. Entre eles, destacam-se as metodologias apresentados na tabela 5, que trazem fatores de ponderação do DENATRAN (1987), extraídos do Manual de Identificação, Análise e Tratamento de Pontos Negros, e os fatores de ponderação do DNER (1998), extraídos do Guia de Redução de Acidentes com Base em Medidas de Engenharia de Baixo Custo. Nesta pesquisa, serão utilizados os valores de UPS do DENATRAN (1987) para o cálculo das taxas de acidentes.

Tabela 5. Valores de UPS pesquisados

| Gravidade do Acidente | Fator de Ponderação | |
|-------------------------------|---------------------|--------|
| | DENATRAN | (DNER) |
| Acidentes com danos materiais | 1 | 1 |
| Acidentes com feridos | 5 | 3 |
| Acidentes com vítimas fatais | 13 | 9 |

Assim, a severidade, expressa em UPS, adotada será obtida conforme a Equação 1. a seguir:

$$UPS = (S/V \times 1) + (C/V \times 5) + (Fatais \times 13); \quad (1)$$

Onde:

UPS: Unidade Padrão de Severidade

S/V: Acidentes de trânsito sem vítimas

C/V: Acidentes de trânsito com vítimas

Fatais: Acidentes de trânsito com vítimas fatais

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

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

Onde:

R: Taxa de severidade de acidentes

VDM: Volume diário médio de veículos passando pelo trecho

P: Período de estudo (normalmente 365 dias)

E: Extensão do trecho (em km)

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

- Deve-se selecionar, preliminarmente, todos os segmentos homogêneos na análise da rodovia;
- Calcula-se a média das taxas de acidentes de todos os segmentos homogêneos e compara-se com a taxa de acidente em cada segmento.
- Após a comparação, os segmentos que apresentarem taxas maiores que à taxa média serão denominados críticos.
- Apenas os segmentos críticos serão adotados e selecionados;

Após a compilação dos dados das taxas de acidentes de trânsito e destacados os trechos críticos para este método, foi abordado, na elaboração de análise do banco de dados do GIS, um campo de valores discriminado para as maiores taxas, buscando impor intervalos de classes para que sejam visualizados os trechos mais perigosos.

3.6.1.6 Cálculo do Índice de acidentes de trânsito

O método atualmente utilizado para determinação dos segmentos críticos das rodovias federais brasileiras foi desenvolvido pelo DNER (1986). Baseia-se na probabilidade de ocorrência de um acidente em um determinado segmento, tendo como base de comparação uma amostra estudada. Dessa forma, quando a probabilidade de ocorrência de acidentes de um segmento (P_j) for maior que a probabilidade de

ocorrência da amostra (λ), o segmento é considerado como crítico, durante um intervalo de tempo (Δt) (PARO, 2009).

Paro (2009) afirma que:

A probabilidade de um acidente pode estar associada aos fatores aleatórios e não aleatórios. Todavia, a probabilidade de ocorrência dos fatores aleatórios em diferentes segmentos possui valores muito próximos. Deste modo, quando se compara dois segmentos e a probabilidade de ocorrência de acidentes de um segmento for maior do que a probabilidade de ocorrência no outro, quer dizer que há no primeiro uma maior exposição a acidentes sob interferência de fatores não aleatórios.

Assim, no atual método do DNER, considera-se para a identificação dos segmentos críticos a interferência dos fatores não aleatórios. Com base nestes fatores e na definição do segmento crítico, apresenta-se uma regra de decisão formulada através de um teste de hipótese, que explicitará uma expressão para o índice crítico a que o modelo se propõe. Onde:

$$H_0: P_j \leq \lambda$$

$$H_1: P_j > \lambda$$

Desta forma:

H_0 e H_1 são as hipóteses a serem testadas;

P_j é a probabilidade de ocorrer um acidente no segmento j em análise, durante o intervalo de tempo Δt ;

λ é a probabilidade de ocorrer um acidente na amostra A durante um intervalo de tempo Δt .

Os índices de acidentes de trânsito para os segmentos foram calculados a partir do método estatístico do DNER (1986), que avalia as probabilidades de ocorrência de acidentes de trânsito em um determinado intervalo de tempo. Dessa forma, calculam-se o índice de acidentes do segmento analisado, conforme Equação 3, o momento de tráfego do segmento em estudo, conforme a Equação 4, e o índice crítico do segmento em estudo (amostra) na Equação 5.

- Índice de acidentes do segmento analisado:

$$I_j = \frac{\sum N_j \times 10^6}{E_j \times VDMA_j \times \Delta t} \quad (3)$$

- Momento de tráfego do segmento em estudo:

$$m = VDMA_j \times E_j \times \Delta t \times 10^{-6} \quad (4)$$

Onde:

I_j : Índice de acidentes do segmento analisado;

N_j : Número de acidentes ocorridos no segmento em estudo j

E_j : Extensão do segmento em estudo j (Varia entre 1 km a 1,9 km para rodovias federais brasileiras)

$VDMA_j$: Volume médio diário anual no segmento em estudo j

Δt : Intervalo de tempo considerado em dias na análise (365 dias)

m : Momento de tráfego do segmento em estudo

- Índice crítico do segmento em estudo (amostra):

$$IC_j = \lambda + k \sqrt{\frac{\lambda}{m} - \frac{0,5}{m}} \quad (5)$$

Onde:

IC_j : Índice crítico do segmento j em estudo;

λ : Probabilidade de ocorrência de um acidente na amostra, obtido pelo cálculo do índice de acidentes médio da classe;

k : ou z é o coeficiente estatístico. O valor de k é obtido através da tabela da curva normal, de acordo com o nível de confiança que se deseja trabalhar. Na tabela 6. podem ser observados os valores dos coeficientes associados ao nível de significância. Nesta pesquisa, utilizou-se um coeficiente $k=1,645$.

Tabela 6. Nível de significância e valores do coeficiente estatístico

| α | k ou z |
|---------------|--------|
| 0,10 ou 10% | 1,282 |
| 0,05 ou 5% | 1,645 |
| 0,01 ou 1% | 2,33 |
| 0,005 ou 0,5% | 2,576 |
| 0,001 ou 0,1% | 3,0 |

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

- Deve-se selecionar, preliminarmente, todos os segmentos homogêneos na análise da rodovia;

- Considerar como segmento crítico aquele que obtiver a seguinte relação:

- Se $I_j > IC_j$, ou seja, quando o Índice de acidentes do segmento analisado for maior que o Índice crítico do segmento em estudo (amostra), esse é considerado crítico.

3.6.2 Projeto lógico

Após todo o processo de obtenção e modelagem dos dados, parte-se para a criação do banco de dados geográficos. A informação espacial é fundamental para qualquer sistema de informação geográfica. Nesta etapa, foi definida a forma como os dados foram inseridos (georreferenciados) no sistema.

A partir da base georreferenciada, no qual foram anexadas todas as informações, o software GIS converteu um arquivo texto em coordenadas geodésicas (arquivo de pontos ou linhas). A partir desse arquivo, estabeleceu-se a rota e dividiu-se a rodovia em quilômetros, através da segmentação dinâmica, tornando possível associar qualquer informação baseada na quilometragem da rodovia, como os dados dos acidentes, volumes de tráfego e ambiente.

Para unir os dados, basta que as tabelas das demais informações contenham a rodovia a que pertencem e a quilometragem. Essas informações podem ser pontuais (marco quilométrico) ou lineares (trecho da rodovia). Os acidentes, localização de acessos, placas etc. são

informações pontuais, já a condição do pavimento, projeto geométrico, tráfego, etc. são informações lineares (LOTTI *et al.*, 2002)

Dessa forma, os acidentes de trânsito foram localizados na base cartográfica através da quilometragem de sua ocorrência, fornecida no relatório de acidentes de trânsito do DPRF, através de tabelas contendo os demais atributos relacionados a estes, em formato dBASE para serem calibrados no software GIS, conforme apresentados no quadro 3. do item 3.6.1.4.

Os segmentos devem ser localizados na base cartográfica a partir de um quilômetro de início e um quilômetro de fim, onde são pré-estabelecidas as informações pertinentes a estes e armazenadas em formato dBASE para que possa ser feita a segmentação dinâmica no software GIS. Para a preparação da segmentação dinâmica podem ser verificados os passos para elaboração no Anexo A – Referenciamento linear no ARCGIS. Essa segmentação deve já estar prevista nessa fase com todas as informações atribuídas em tabelas, conforme o Apêndice C – Planilhas de Segmentação da Rodovia, onde os campos das colunas registram informações do segmento, conforme apresentado no quadro 4.

Quadro 4. Informações dos segmentos

| Nome do campo | Descrição |
|----------------------|---|
| JOIN | Número sequencial do segmento gerado |
| RODOVIA | Sigla da rodovia em estudo |
| TRECHO_i | Nome do trecho inicial do PNV em que o segmento está inserido |
| TRECHO_f | Nome do trecho final do PNV em que o segmento está inserido |
| PNV_KM_INICIO | Quilômetro do trecho inicial do PNV em que o segmento está inserido |
| PNV_KM_FIM | Quilômetro do trecho final do PNV em que o segmento está inserido |
| PNV_EXTENSAO | Extensão do trecho do PNV em que o segmento está inserido |
| km_i | Quilômetro inicial do segmento |
| km_f | Quilômetro final do segmento |
| EXTENSAO | Extensão do segmento varia de 1km a 1,9km |
| LOCALIZACAO | Localização do segmento em meio rural ou urbano |
| AMBIENTE | Situação do segmento, pavimentado, em implementação ou planejado |

Continua Quadro 4.

| | |
|-----------------|--|
| VDMA | Volume Médio Diário Anual do segmento |
| N_ACIDENTES | Número total de acidentes ocorridos no segmento |
| AC_MORTOS | Número total de acidentes com mortos ocorridos no segmento |
| AC_FERIDOS | Número total de acidentes com feridos ocorridos no segmento |
| AC_ILESOS | Número total de acidentes com ileso ocorridos no segmento |
| R | Taxa de Severidade de Acidentes do Segmento (R) - Método DENATRAN |
| Ij | Índice de acidentes do segmento (Ij) - Método DNER |
| m | Momento de tráfego no segmento (m) -Método DNER |
| ICj | Índice crítico do segmento (Icj) - Método DNER |
| ATROP_PEDESTRE | Número total de acidentes com atropelamentos de pedestre no segmento |
| ATROP_ANIMAL | Número total de acidentes com atropelamentos de animal no segmento |
| COL_TRASEIRA | Número total de acidentes com colisão traseira no segmento |
| COL_FRONTAL | Número total de acidentes com colisão frontal no segmento |
| COL_LATERAL | Número total de acidentes com colisão lateral no segmento |
| COL_TRANSVERSAL | Número total de acidentes com colisão transversal no segmento |
| SAIDA DE PISTA | Número total de acidentes com saída de pista no segmento |
| ENGAVETAMENTO | Número total de acidentes com engavetamento no segmento |
| CHOQUE | Número total de acidentes com choque no segmento |
| CAPOTAMENTO | Número total de acidentes com capotamento no segmento |
| TOMBAMENTO | Número total de acidentes com tombamento no segmento |
| QUEDA | Número total de acidentes com queda no segmento |

Continua Quadro 4.

| | |
|----------------------|---|
| OUTROS | Número total de outros tipos de acidentes no segmento |
| SENTIDO_CRESCENTE | Número total de acidentes no sentido crescente de tráfego no segmento |
| SENTIDO_DECRESCENTE | Número total de acidentes no sentido decrescente de tráfego no segmento |
| CURVA | Número total de acidentes em curvas no segmento |
| RETA | Número total de acidentes em reta no segmento |
| CRUZAMENTO | Número total de acidentes em cruzamento no segmento |
| PISTA_BOM | Número total de acidentes em pista de rolamento em bom estado no segmento |
| PISTA_RUIM | Número total de acidentes em pista de rolamento em ruim estado no segmento |
| PISTA_REGULAR | Número total de acidentes em pista de rolamento em regular estado no segmento |
| TEMPO_BOM | Número total de acidentes com tempo bom no segmento |
| TEMPO_CHUVA | Número total de acidentes com tempo chuvoso no segmento |
| TEMPO_NUBLADO | Número total de acidentes com tempo nublado no segmento |
| TEMPO_OUTRO | Número total de acidentes com outras condições climáticas no segmento |
| DIA | Número total de acidentes ocorridos em pleno dia no segmento |
| NOITE | Número total de acidentes ocorridos em plena noite no segmento |
| AMANHECER_ENTARDECER | Número total de acidentes ocorridos ao amanhecer/entardecer no segmento |
| BICICLETA | Quantidade de bicicletas envolvidas nos acidentes no segmento |
| MOTONETA_CICLOMOTOR | Quantidade de motoneta e/ou ciclomotor envolvidos nos acidentes no segmento |
| MOTOCICLETA | Quantidade de motocicleta envolvida nos acidentes no segmento |
| TRICICLO_QUADRICICLO | Quantidade de triciclo e/ou quadriciclo envolvidos nos acidentes no segmento |

Continua Quadro 4.

| | |
|-----------------------|---|
| AUTOMOVEL | Quantidade de automóveis envolvidos nos acidentes no segmento |
| CAMINHONETE_CAMIONETA | Quantidade de caminhonete e/ou camioneta envolvidos nos acidentes no segmento |
| MICRO_ONIBUS | Quantidade de micro-ônibus envolvidos nos acidentes no segmento |
| ONIBUS | Quantidade de ônibus envolvidos nos acidentes no segmento |
| CAMINHAO | Quantidade de caminhões envolvidos nos acidentes no segmento |
| REBOQUE_SEMIREBOQUE | Quantidade de reboque e/ou semi-reboque envolvidos nos acidentes no segmento |
| CAMINHAO_TRATOR | Quantidade de caminhão trator envolvidos nos acidentes no segmento |
| TRACAO_ANIMAL | Quantidade de tração animal envolvidos nos acidentes no segmento |
| MAQUINA_AGRICOLA | Quantidade de máquinas agrícolas envolvidos nos acidentes no segmento |
| OUTROS | Quantidade de outros tipos de veículos envolvidos nos acidentes no segmento |

3.6.3 Projeto físico

No projeto físico foram concretizadas as etapas anteriormente descritas. Esse processo compreende a implementação dos dados, a associação entre dados geográficos e alfanuméricos, seleção dos segmentos críticos a serem trabalhados e a manipulação dos dados diretamente no software GIS.

3.6.3.1 Implementação dos dados

O primeiro passo foi o referenciamento, realizado através do quilômetro e metro onde ocorreu o acidente e do quilômetro inicial e final de cada segmento. Através da segmentação dinâmica, em um arquivo do *shapefile* do ARCGIS, importaram-se as informações descritas nas etapas anteriores, que foram armazenadas em planilhas do formato dBASE, para que pudessem ser mapeados todos os eventos pontuais dos acidentes de trânsito e os segmentos críticos da rodovia estudada. Esses segmentos formam *layers* no GIS que podem ser

visualizadas em mapas temáticos assim como todas as características nele abordados, através da tabela de atributos.

3.6.3.2 Associação entre dados geográficos e alfanuméricos

Trabalhando diretamente com o software ARCGIS, depois de realizado o georreferenciamento dos dados alfanuméricos, estes podem ser visualizados espacialmente na base cartográfica, onde cada segmento contém as informações agregadas na tabela de atributos, que possui todo o banco de dados e pode ser consultada na ferramenta em formato de planilha.

3.6.3.3 Segmentos críticos tratados e comparação entre os métodos

Através dos estudos e da aplicação dos dois métodos para a avaliação dos acidentes de trânsito, determinaram-se os piores locais quanto à severidade dos acidentes ocorridos, assim como os segmentos críticos através da estatística utilizada, assinalando-os em mapas apropriados e verificando o comportamento dos mesmos. Foram selecionados os segmentos críticos homogêneos de tráfego para serem tratados, e desses foram selecionados os com maiores índices ou taxas.

Após foi realizada a comparação entre os métodos de cálculo, que consistiu em detectar os segmentos críticos pelo método do DENATRAN (1987), e pelo método do DNER (1986) comparar os resultados e analisar e dar ênfase aos segmentos críticos comuns aos dois métodos.

3.6.3.4 Manipulação dos dados

Nessa etapa foram realizadas a visualização, consultas, análises e simulações. Puderam ser desempenhadas diversas inter-relações entre os dados alfanuméricos e verificados espacialmente diversos cenários através das observações pré-estabelecidas. Por exemplo, a visualização espacial de segmentos críticos em áreas urbanas com atropelamentos de pedestres, ou a observância espacial da quantidade de mortos em um determinado segmento crítico em área rural etc.

Através de um GIS foram comparados os tipos de acidentes ocorridos, com a correlação das taxas de acidentes, dos índices de acidentes, da situação dos envolvidos, das condições climáticas, dos veículos. Em relação ao período referenciado, buscou-se visualizar as causas desses eventos.

As análises foram quantitativas e qualitativas, destacando análises numéricas, estatísticas e espaciais, em forma de gráficos, tabelas, mapas temáticos e interpretação dos mesmos, gerados através do GIS. Foi necessário, na elaboração do procedimento proposto, inteirar os dados com as investigações a campo. Dessa forma, foram vistoriados os principais trechos críticos, quando houve a necessidade.

Os estudos *in loco* foram úteis para indicar ou confirmar as causas, como trajetória e manobra dos motoristas, movimento e comportamento dos pedestres, sinalização existente e tipo de controle, condições do pavimento, condições de visibilidade, obstruções laterais, velocidade média desenvolvida no fluxo de tráfego, composição do tráfego, comportamentos anormais, entre outros fatores.

3.7 PROPOSTA DE MEDIDAS MITIGADORAS COMUNS

Foram analisados os segmentos críticos, os problemas da rodovia e os aspectos que influenciaram a ocorrência dos acidentes com frequência em determinado trecho. Neste foram realizadas visitas *in loco*.

Através das análises espaciais dos acidentes geradas em um GIS, solidificou-se o embasamento dos dados, para que pudessem ser visualizados os segmentos críticos. A partir de então, adotaram-se medidas mitigadoras comuns aos tipos de acidentes que ocorreram nos segmentos críticos da BR-285.

3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método exposto subsidia o embasamento para a realização de análises, seguindo a sistemática proposta. Por meio de uma base georreferenciada preparada e de um GIS foram inseridas as taxas e os índices de acidentes, assim como diversas informações alfanuméricas pertinentes, identificando os segmentos críticos ao longo da rodovia.

A partir da proposição do método baseado em GIS para análise de segmentos críticos em rodovias e da abordagem enfatizada, foi possível obter-se a visualização do contexto dos acidentes, da segmentação da malha rodoviária e realizar investigações pertinentes para buscar medidas de tratamento comuns para os tipos de acidentes que ocorrem em trechos críticos.

CAPÍTULO 4 - ANÁLISES E RESULTADOS

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O capítulo 4 apresenta as análises e resultados do estudo, qualitativos e quantitativos, através de estatísticas, representações espaciais e descrições dos eventos.

Por meio das informações adquiridas através da aplicação da proposta metodológica baseada em GIS foram apresentadas as análises descritivas e espaciais dos segmentos críticos da rodovia em estudo. A ênfase foi relacionada aos segmentos críticos com maiores taxas ou índices comuns aos dois métodos de determinação destes segmentos.

4.2 ANÁLISE E IMPORTÂNCIA DA RODOVIA EM ESTUDO

A BR-285 é uma rodovia transversal brasileira, que se inicia em Araranguá/SC, atravessa a serra e o planalto gaúcho, passando por cidades como Vacaria, Lagoa Vermelha, Passo Fundo, Carazinho, Ijuí e termina em São Borja/RS, às margens do Rio Uruguai, fronteira com a Argentina. Além de atravessar a microrregião das missões (representando 107 quilômetros) situada entre Ijuí e São Luiz Gonzaga.

A figura 6 apresenta o mapa do RS com a rodovia indicando os segmentos considerados rurais e urbanos. Como a BR-285 possui uma longa extensão, a escala do mapa necessitou ser aumentada para que pudesse ser visualizada toda a sua extensão.

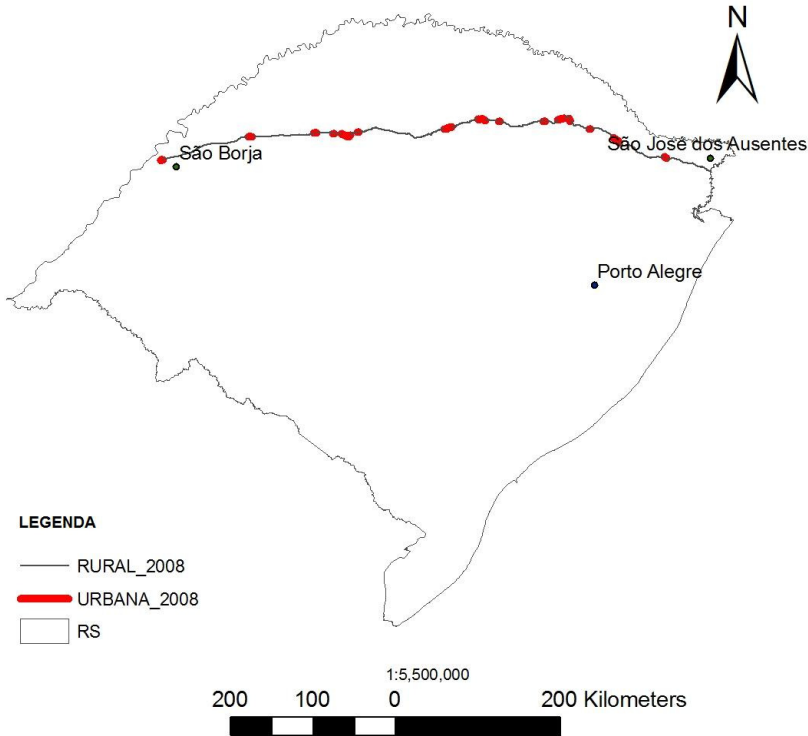


Figura 6. Segmentos urbanos e rurais da rodovia em estudo

A BR-285, sob jurisdição da 10^a Unidade de Infraestrutura Terrestre (UNIT), é uma das espinhas dorsais do sistema rodoviário gaúcho, sendo uma das rotas dos produtos comercializados através do Mercado Comum do Sul – MERCOSUL, principalmente com a Argentina, o Paraguai e o Chile. Os produtos que se destinam ou provêm do restante do país cruzam vários polos econômicos e culturais, além de zonas agrícolas, de pecuária e de parques fabris ligados à agroindústria (REVISTA ESTRADAS, 2004).

Na região das missões, por razões estratégicas, entre os anos de 1965 e 1974, a rodovia foi implantada e pavimentada pelo III Exército, através da Companhia de Estradas de Rodagem – 4 (CER – 4), do 3^o Batalhão de Engenharia Rodoviária e alguns trechos por empreiteiras. A manutenção do trecho é fiscalizada pelo DNIT e nos últimos anos tem

sido executada através de contratos específicos firmados com empresas particulares.

A plataforma de terraplenagem executada da BR-285 é de 14,00 m, com pista de rolamento de 7,00 m e acostamentos de 2,50 m. A estrutura do pavimento é constituída de sub-base de macadame hidráulico, brita graduada ou macadame betuminoso usinado a quente, com espessuras da ordem de 20 cm, da base de macadame betuminoso usinado a quente, com espessura de 10 cm e revestimento de 5,00 cm de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) (REVISTA ESTRADAS, 2004).

O Rio Grande do Sul possui um trecho ainda não pavimentado, entre Bom Jesus e São José dos Ausentes, com extensão de 54,20 km, que obteve o montante de investimentos empenhados para o exercício de construção/pavimentação em 2006. Foram investidos cinco milhões de reais, e encontra-se em obras de implementação e pavimentação, conforme informações do Departamento Nacional de Infraestrutura – DNIT (b) (2006).

No Rio Grande do Sul, observa-se que a deficiência do traçado da rede ferroviária e dutoviária e o limite de suas possibilidades de escoamento sobrecarrega o sistema rodoviário, o qual representa a diretriz modal do país.

O modal rodoviário da área em estudo obedece a diferentes áreas de desenvolvimento, conforme o tipo de região onde a rodovia está localizada. A rodovia BR-285 passa por regiões de grande importância, entre elas se destacam a região das Missões, do Planalto e dos Campos de Cima da Serra.

Na região das Missões, a BR 285 exerce uma função pioneira e serve de via de escoamento às estações da rede ferroviária. Na região do Planalto, exerce função autônoma servindo para o escoamento da produção. Nas cidades como Vacaria, Lagoa Vermelha, Carazinho e Ijuí, a estrada exige consolidação da superfície de rolamento, pois a produção tritícola é intensificada. Além disso, na região dos Campos de Cima da Serra destacam-se na divisa do Estado do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), São José dos Ausentes, Bom Jesus e Vacaria que fazem parte da rota de turismo dos campos e da região mais alta e fria do RS.

Durante o veraneio, a rodovia recebe grande fluxo de veículos de passeio provindos da Argentina em direção ao litoral do sul-brasileiro, com objetivo de turismo de férias.

4.3 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

A descrição dos dados busca formar um conjunto de características observadas ou comparadas entre dois ou mais dados. As ferramentas utilizadas para descrever os eventos nesse item foram por meio de gráficos, tabelas e sínteses de porcentagens, índices, taxas e médias. Dessa forma, buscou-se descrever as características dos acidentes de trânsito ocorridos na área e período estabelecidos no estudo.

4.3.1 Registros de acidentes de trânsito

No período de 2007 a 2008, foram analisados 1528 acidentes de trânsito ocorridos na BR-285. Destes, 768 acidentes ocorridos no ano de 2007 e 760 acidentes ocorridos em 2008, apontando uma pequena redução de 1,05% de um ano para o outro, sem considerar-se o aumento do volume de tráfego entre um ano e outro.

Os acidentes de trânsito representados como eventos pontuais nos anos de 2007 e 2008 foram georreferenciados ao longo da malha viária para que as análises pudessem ser mais detalhadas. Além disso, foi realizada a inserção dos pontos e do vetor da rodovia em uma imagem de satélite. A figura 7 representa a percepção ampliada das ocorrências na rodovia. Alguns dos pontos estão sobrepostos indicando dois ou mais acidentes no mesmo quilômetro de ocorrência.



Figura 7. Pontos de acidentes de trânsito na BR-285 para os anos de 2007 e 2008

Fonte: Adaptada do Google Earth

Quanto à severidade do total dos acidentes de trânsito ocorridos em 2007 e 2008, verifica-se que dos 1528 acidentes, 59.9% envolveram apenas acidentes com danos materiais; 36.5% envolveram feridos, e 3.6% envolveram vítimas fatais, conforme pode ser observado na figura 8.

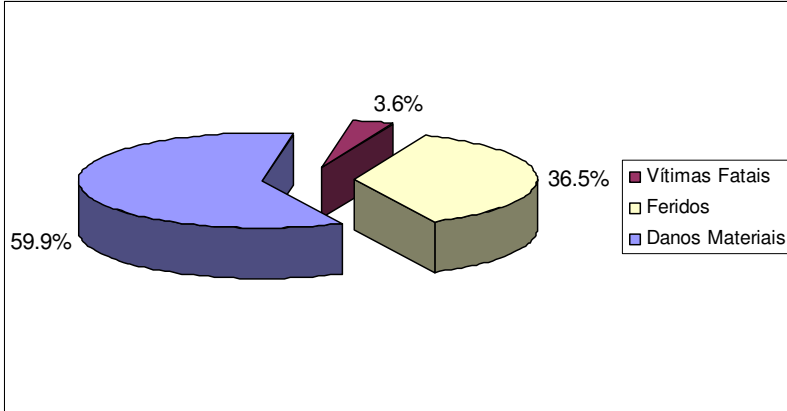


Figura 8. Percentuais de Acidentes de Trânsito por severidade ocorridos em 2007 e 2008

Para os anos de 2007 e 2008, os acidentes com danos materiais apresentaram o percentual de 57.4% e 62.4% respectivamente; os acidentes com feridos representaram 39.1% e 33.8% respectivamente; e os acidentes com vítimas fatais representaram 3.5% e 3.8% respectivamente. Observou-se que houve um aumento dos acidentes com danos materiais, reduzindo a percentagem de acidentes envolvendo feridos de 2007 para 2008. Já os acidentes com vítimas fatais apresentaram um pequeno aumento percentual de 0,3% em relação ao período citado.

As vítimas envolvidas nos acidentes totalizaram 5105 pessoas. Destas, 79.5% saíram ilesas; 13.5% feridos leves; 4.8% feridos graves; 1.4% vítimas fatais; e 0.8% foram ignorados, ou seja, não se acompanhou o processo pós-hospitalar, ou simplesmente não foi informado no relatório.

A figura 9 apresenta os tipos de acidentes de trânsito ocorridos no período referenciado. A média dos percentuais para os dois anos representa 28.4% de acidentes com saída de pista; 18.7% acidentes com colisão transversal; 17.0% acidentes com colisão traseira; 13.0% acidentes com colisão lateral; 4.7% acidentes com choque; 3.7% acidentes com colisão frontal; 3.4% acidentes com atropelamento de animal; 3.1% acidentes com tombamentos; 2.9% outros tipos de acidentes, como derramamentos de carga, incêndios etc.; 2.0% acidentes com atropelamentos de pedestre; 1.8% acidentes com capotamento; e 1.3% acidentes com queda de veículo.

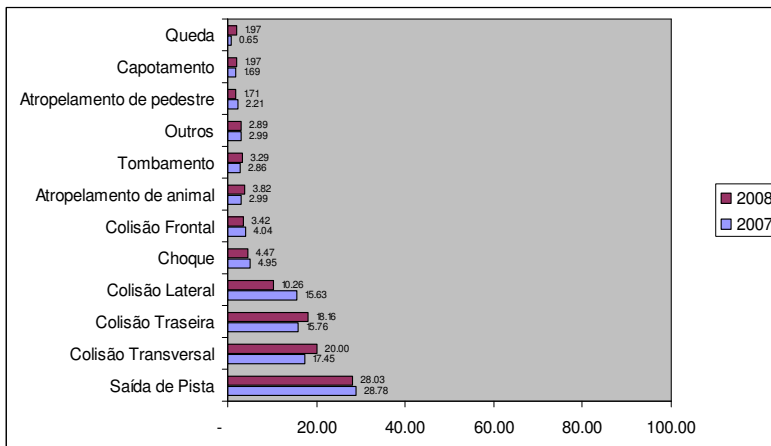


Figura 9. Percentual dos registros por tipo de acidentes ocorridos em 2007 e 2008

Os acidentes com saída de pista representaram um alto percentual (28,4%), que se justifica pela rodovia apresentar boa parte de trechos rurais e também em função de sua geometria, caracterizadas por tangentes que permitem o desenvolvimento de altas velocidades seguidas de curvas de pequeno raio, o que faz com que o veículo acabe saindo da pista ao encontrar a curva. Este é o caso apresentado na figura 10, no segmento crítico km 145+001 ao km 146+000.



LEGENDA:
● Acidentes de trânsito



Sentido Barreiros – Esmeralda

Figura 10. Segmento crítico km 145+001 ao km 146+000

A figura 11 apresenta outro caso dessa situação no trecho, no segmento localizado em área rural no trecho entre o km 140 +000 e km 141+600 e apresenta a rodovia vista em sentido de tráfego crescente e decrescente respectivamente.



Figura 11. Caracterização da geometria da rodovia km 140+000 a 141+600

Destaca-se que a ocorrência das colisões apresentou um percentual representativo. Elas ocorrem principalmente em trechos urbanos, onde a situação de tráfego é diferenciada, pois existe maior número de conflitos e o volume de tráfego e de pedestres é maior, além de que todas as interseções da rodovia são projetadas em nível, aumentando a probabilidade das colisões. A figura 12 apresenta um exemplo dessa situação.



Figura 12. Segmento crítico km 120+001 ao km 121+00

A figura 13 representa os registros dos acidentes de trânsito segundo as condições climáticas: 55.5% dos acidentes ocorreram com o tempo bom; 21.4% com o tempo nublado; 20.8% com o tempo chuvoso; e 2.3% ocorreram com outros tipos de condição climática, como neblina, nevoeiro, vento.

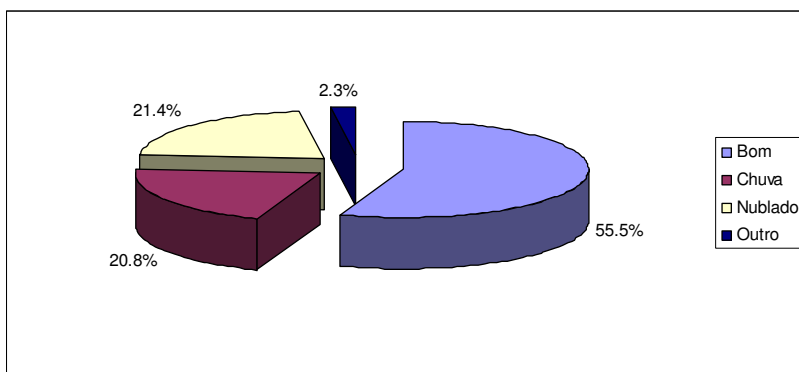


Figura 13. Percentual dos acidentes de trânsito conforme a condição climática ocorridos em 2007 e 2008

A figura 14 demonstra as percentagens de acidentes conforme o período do dia. Destes, 59,4% ocorreram durante o período diurno, representando mais da metade dos acidentes ocorridos; 30% no período noturno, e 10,7% durante o amanhecer ou entardecer.

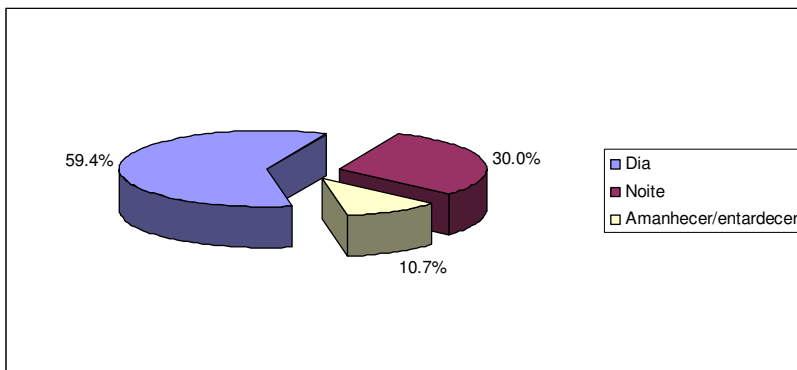


Figura 14. Percentual de acidentes de trânsito conforme a fase do dia ocorrida em 2007 e 2008

Não foi verificada a gravidade dos acidentes em relação às condições do tempo, pois não havia dados de precipitações pluviométricas para obtenção do período de dias chuvosos ou sem chuva. Por isso não foi realizada a relação do número de acidentes em tempo bom pelo número de dias de tempo bom, e a relação do número de acidentes em dias de chuva pelo número de dias de chuva. Provavelmente, os dias de chuva tornar-se-iam mais perigosos. O mesmo ocorre com fase do dia, pois o volume de tráfego de dia é alto e a chance de ocorrer acidente torna-se maior, mas não significa que seja mais perigoso.

A quantidade de veículos envolvidos nos acidentes de trânsito totalizou 2425 veículos, dos quais 51,2% envolveram automóveis; 14,3% camionete ou camioneta; 12% caminhão; 9,7% caminhão trator; 6,8% motocicletas; 2,1% ônibus; 1,6% bicicleta; 0,7% motoneta ou ciclomotor; 0,7% microônibus; 0,4% máquina agrícola; 0,3% outros tipos de veículos; 0,1% tração animal. Observa-se que reboque ou semirreboque e triciclo ou quadriciclo não estiveram presentes nas estatísticas dos acidentes ocorridos no período de 2007 e 2008, conforme a figura 15.

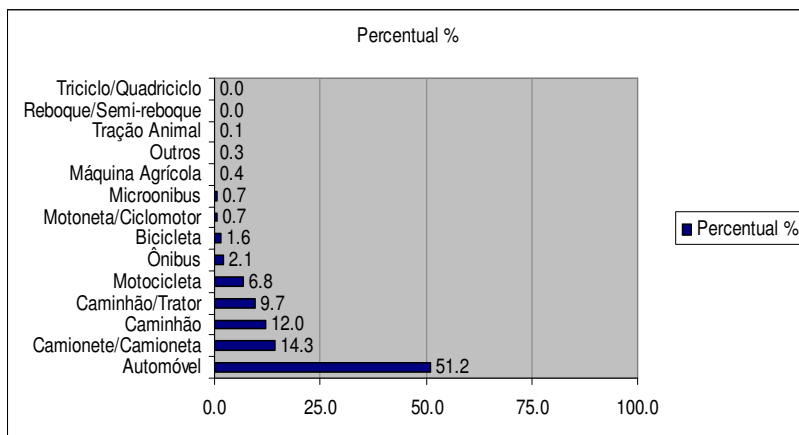


Figura 15. Percentagem de veículos envolvidos em acidentes de trânsito ocorridos em 2007 e 2008

Observou-se um grande número de automóveis envolvidos em acidentes de trânsito (51,2%), o que pode se explicar pelo incentivo cada vez mais forte que se dá à indústria automobilística e à facilidade de aquisição, com descontos, financiamentos e redução de impostos. Assim, quanto maior o número de automóveis, maior o número de acidentes. Porém, vale ressaltar que o envolvimento de veículos pesados em acidentes de trânsito, principalmente caminhões, também obteve uma taxa considerável (aproximadamente 22%), isto por que a rodovia em estudo agrega grandes volumes de tráfego deste tipo e transporta produtos para importação e exportação, destacando a produção e o transporte de grãos, altamente significativo nessa região do país.

Quando analisados os volumes de tráfego das rodovias brasileiras em geral, destaca-se um grande tráfego de veículos pesados se comparado à realidade de países desenvolvidos, que representam menores percentagens de tráfego deste tipo, pois possuem uma logística diferenciada para o transporte de cargas, com destaque para a intermodalidade, a qual envolve mais de um meio de transporte para o deslocamento e distribuição das cargas. Dessa forma, surgem os problemas de segurança, como desgaste físico do asfalto e também o tráfego lento em meses de safra de grãos quando o trânsito fica lento, e as ultrapassagens se tornam arriscadas, o que propicia o acontecimento de acidentes de trânsito.

4.3.2 Volume de tráfego

Baseado na coleta de dados especificada anteriormente no item 3.5.2., o volume de tráfego da rodovia apresentado no mapa da figura 16, através do VDMA, inclui a distribuição dos veículos passantes dividida em trechos para os anos de 2007 e 2008. Em alguns trechos, onde a rodovia possui aglomeração urbana, o VDMA apresentou um valor maior. A tabela 7 apresenta o detalhamento, indicando o quilômetro de início e o final dos trechos e respectivos volumes de tráfego.

Observou-se a carência na coleta de dados do volume de tráfego da rodovia, devido à falta de infraestrutura nos postos de contagem que impossibilitaram a aferição contínua de veículos que transitaram ao longo da rodovia. Nos dados obtidos do DPRF, os valores apresentados foram de estimativas e de regressões de contagens realizadas em alguns períodos do ano.

Nos locais onde a rodovia faz parte da iniciativa privada, ou seja, nos postos de pedágio, pode ser obtido o banco de dados atualizado. Entretanto, em pontos onde não havia dados de volume de tráfego, foram realizadas contagens *in loco* com métodos de expansão e regressão dos dados de volume de tráfego, baseados no Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (a) (2006).

A distribuição do volume de tráfego ao longo do trecho pode ser observada na tabela 7, onde foram identificados os quilômetros de início e de fim dos pontos de contagem e os respectivos volumes obtidos. Percebe-se que em segmentos urbanos, como os casos do Entr. BR-116 (Vacaria) - Entr. RS-456 (Esmeralda), Entr. RS-135 (Contorno de Passo Fundo) - Entr. RS-153 (Para Erechim), Entr. RS-155 (Ijuí) - Entr. BR-392/RS-344 (Santo Ângelo), o VDMA foi maior, pois nessas situações agregam o tráfego local juntamente com o da rodovia.

Tabela 7. Detalhamento do VDMA nos trechos

| TRECHO | | QUILOMETRAGEM | | VDMA | |
|---------------------------------------|--|---------------|----------|-------|-------|
| Início | Fim | km inicial | km final | 2007 | 2008 |
| Divisa SC/RS (Serra da Rocinha) | Entr. BR-116 (Vacaria) | 0+000 | 117+000 | 1054 | 1171 |
| Entr. BR-116 (Vacaria) | Entr. RS-456 (Esmeralda) | 117+001 | 126+000 | 10500 | 11817 |
| | Entr. RS-456 (Esmeralda) | 126+001 | 193+000 | 2115 | 2429 |
| Entr. BR-470 (Barreiros) | Entr. RS-135 (Contorno de Passo Fundo) | 193+001 | 288+300 | 3700 | 4083 |
| | Entr. RS-135 (Contorno de Passo Fundo) | 288+301 | 298+000 | 8000 | 8288 |
| Entr. RS-153 (Erechim) | Acesso a Saldanha Marinho | 298+001 | 340+000 | 4187 | 4725 |
| Acesso a Saldanha Marinho | Entr. BR-158 (Panambi) | 340+000 | 414+600 | 2336 | 2585 |
| Entr. BR-158 (Panambi) | Entr. RS-155 (Ijuí) | 414+601 | 454+000 | 4246 | 4645 |
| Entr. RS-155 (Ijuí) | Entr. BR-392/RS-344 (Santo Ângelo) | 454+001 | 466+000 | 7300 | 8000 |
| Entr. BR_392/RS-344 (Santo Ângelo) | Entr. RS-536 (São Miguel das Missões) | 466+001 | 527+900 | 4069 | 4451 |
| Entr. RS-536 (São Miguel das Missões) | Entr. BR-287 (São Borja) | 527+901 | 674+200 | 2900 | 3200 |

4.3.3 Segmentação e caracterização do ambiente

O trecho da BR-285, situado no RS, possui seu quilômetro zero na divisa do Estado de SC com o RS (Serra da Rocinha) e seu quilômetro de fim entre a BR-287 em São Borja, totalizando uma extensão de 674,2 km, conforme mencionado anteriormente. Além dessa quilometragem, existem 7,5 km no PNV considerados com a nomenclatura BR-285 que começa uma nova numeração de quilometragem entre a BR-287 em São Borja (km zero) e termina na fronteira do Brasil com a Argentina, porém não está incluído no estudo.

Da extensão total de 674.2 km que foi segmentada, totalizaram-se 641 segmentos cujas extensões variam de 1 a 1.9 km. Desses, 580 são segmentos rurais e 61 segmentos urbanos.

Na caracterização do ambiente, foi observado que a rodovia possui 16 trechos, com 61 segmentos urbanos, que passam pelos municípios de São José dos Ausentes, Bom Jesus, Vacaria, Muitos Capões, Barreiros, Lagoa Vermelha, Caseiros, Mato Castelhanao, Passo Fundo, Carazinho, Bozano, Ijuí, Coronel Barros, Entre-Ijuís (acesso), São Luiz Gonzaga e São Borja.

4.3.4 Segmentos críticos

A tabela 8 representa a quantidade de segmentos críticos obtidos em cada método de cálculo, para segmentos críticos rurais e urbanos, nos anos de 2007 e 2008. Observou-se que, em média, 14% dos segmentos rurais e 25% dos segmentos urbanos formam considerados críticos.

Tabela 8. Número de segmentos críticos

| Método | Número de segmentos críticos | | | | |
|----------------|------------------------------|-------|------|--------|------|
| | Ano | Rural | | Urbano | |
| | | 2007 | 2008 | 2007 | 2008 |
| Método DENATRA | | 80 | 93 | 20 | 24 |
| Método DNER | | 77 | 82 | 9 | 12 |

Através da aplicação do método proposto, foram criados diversos mapas temáticos os quais representam a rodovia e suas características agregadas. Optou-se pela representação dos índices e taxas críticos em intervalos de classe, desenvolvidas no GIS através de rupturas naturais, pelo método analítico de otimização de Jenks (1963), que é o método de classificação padrão e identifica as quebras entre classes utilizando uma fórmula estatística que consiste basicamente na minimização da soma de variância dentro de cada classe.

Na figura 16, podem ser observados os segmentos críticos relativos ao cálculo dos Índices críticos (Ij) obtidos através do método do DNER (1986) para o ano de 2007. Destaca-se que nas áreas rurais os índices de segmentos críticos relevantes variam de 6,484 a 12,967. Já os índices acentuados de segmentos críticos urbanos variam de 7,599 a 10,970. Não se deixou de considerar que a grande maioria dos segmentos críticos apresentou índices menores, variando de 1,853 a

2,224 para segmentos críticos rurais e de 3,875 a 4,114 para segmentos críticos urbanos.

Na figura 17, também são destacados os segmentos críticos relativos ao cálculo dos Índices críticos (Ij) por meio da aplicação do método do DNER (1986), porém para período de 2008. Nas áreas rurais, os índices de segmentos críticos relevantes variam de 3,688 a 5,128; já os índices de segmentos críticos urbanos acentuados variam de 5,813 a 8,795. Os segmentos críticos com menores índices representaram a grande maioria, variando de 1,545 a 2,010 para segmentos críticos rurais, e os valores dos índices críticos dos segmentos urbanos de menor relevância mantiveram-se constantes.

Na figura 18, podem ser observados os segmentos críticos relativos ao cálculo das taxas críticas (R) aplicadas por meio do método do DENATRAN (1987) para o ano de 2007. Observa-se que nas áreas rurais as taxas relevantes de segmentos variam de 22,237 a 38,900; já as taxas de segmentos urbanos ressaltantes variam de 20,528 a 31,342. Cabe considerar que os segmentos críticos com menores taxas representaram a grande maioria, variando de 5,167 a 8,153 para segmentos críticos rurais e de 7,041 a 7,542 para segmentos críticos urbanos.

Verificam-se, na figura 19, os segmentos críticos relativos ao cálculo das taxas críticas (R) método do DENATRAN (1987) para o período de 2008. Observa-se que nas áreas rurais as taxas de segmentos críticos relevantes variam de 16,240 a 27,023; já as taxas de segmentos urbanos relevantes variam de 12,730 a 19,904. Os segmentos críticos, em grande maioria, variam suas taxas em valores menos elevados, na ordem de 4,273 a 6,218 para segmentos críticos rurais e de 5,555 a 7,090 para segmentos críticos urbanos.

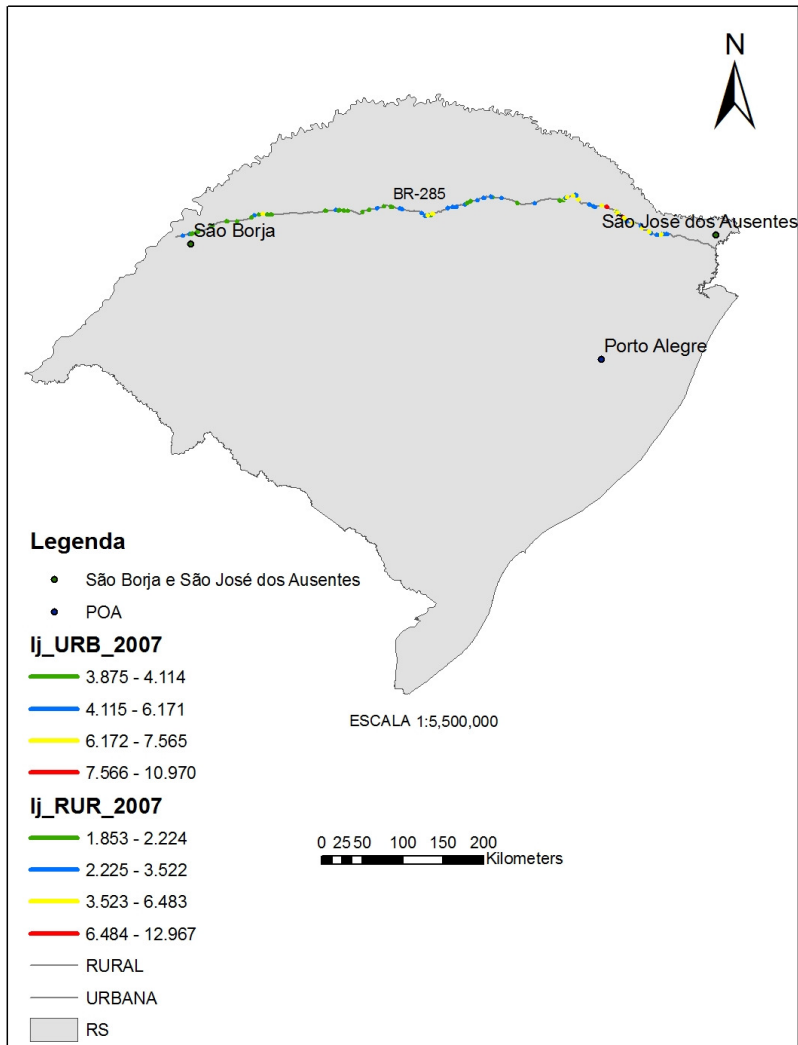


Figura 16. Mapa do Rio Grande do Sul representando os Índices de segmentos críticos urbanos e rurais da BR-285 pelo método DNER (1986) no ano de 2007.

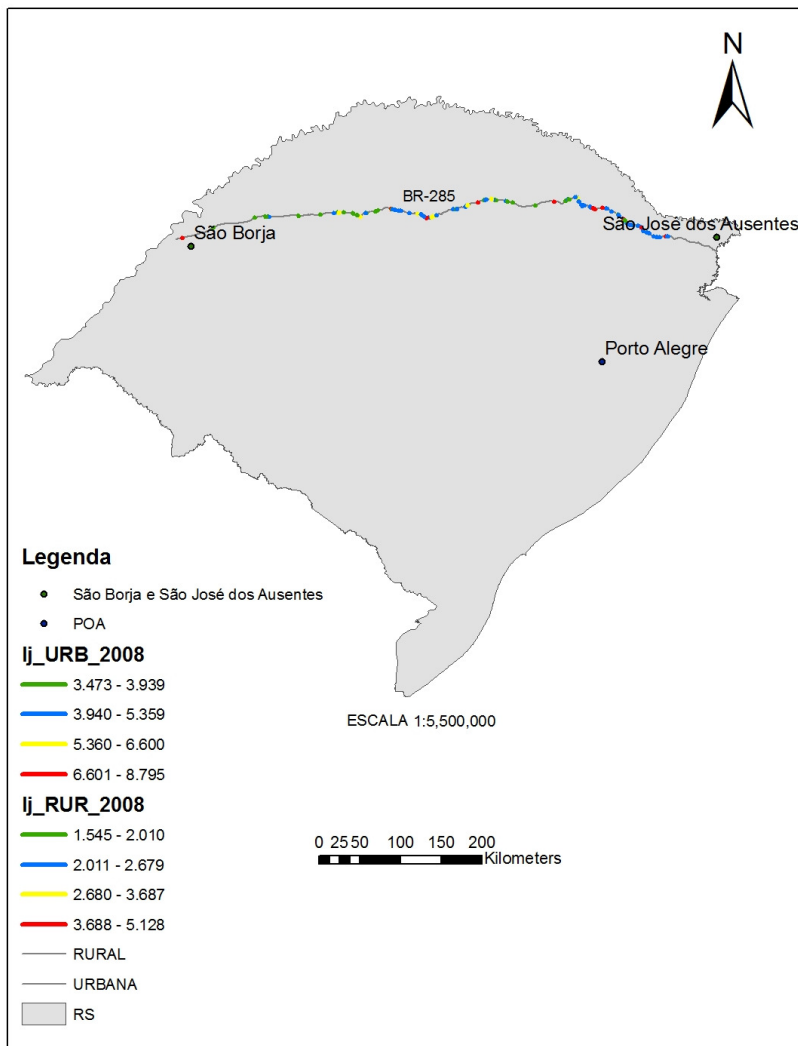


Figura 17. Mapa do Rio Grande do Sul representando os Índices de segmentos críticos urbanos e rurais da BR-285 pelo método DNER (1986) no ano de 2008.

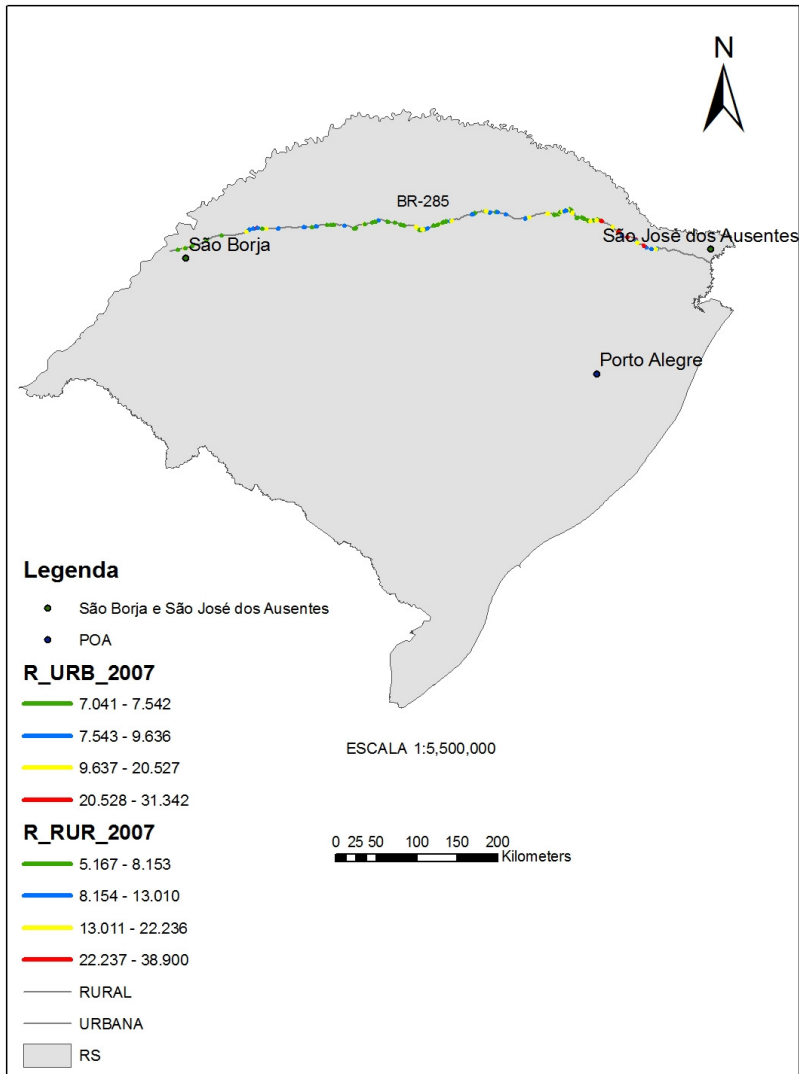


Figura 18. Mapa do Rio Grande do Sul representando as Taxas de segmentos críticos urbanos e rurais da BR-285 pelo método DENATRAN (1987) no ano de 2007.

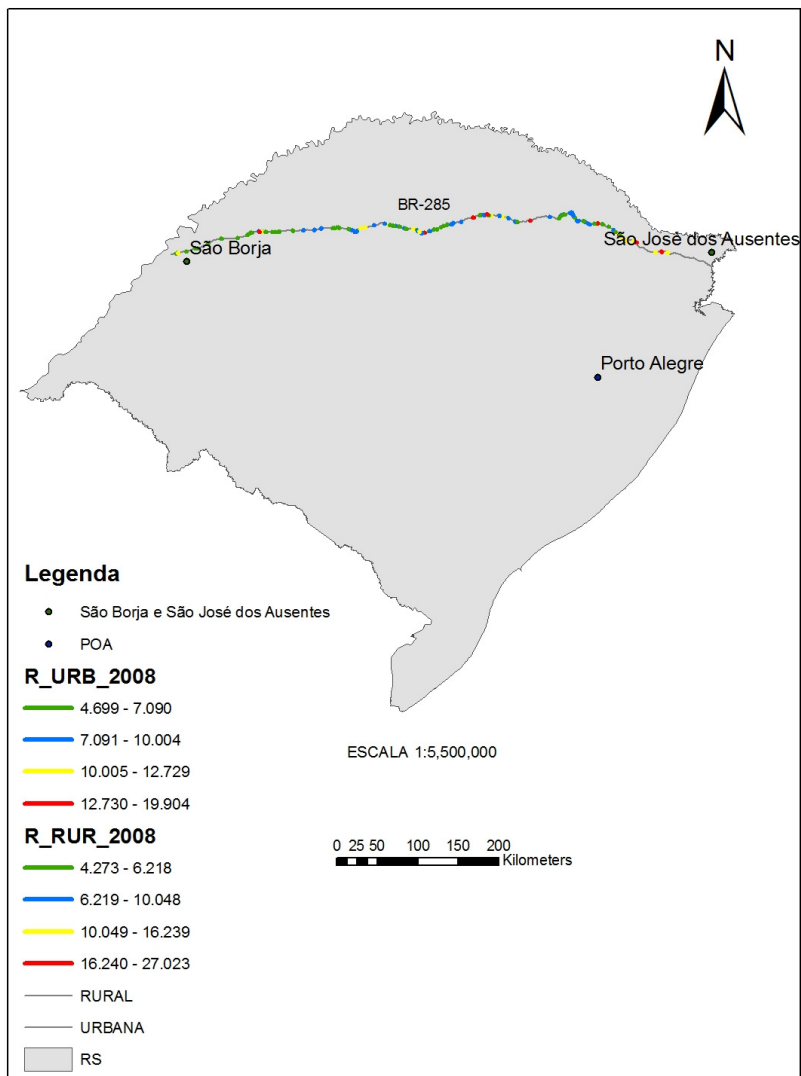


Figura 19. Mapa do Rio Grande do Sul representando as Taxas de segmentos críticos urbanos e rurais da BR-285 pelo método DENATRAN (1987) no ano de 2008

Ao trabalhar com as tabelas de atributos em um GIS, foi possível inserir todas as informações relativas a cada segmento. Além disso, os segmentos críticos obtidos encontram-se de forma sintetizada no Apêndice D – Planilhas de Segmentos Críticos. Para aperfeiçoar as análises, foi realizada a sobreposição do *shape* ou vetor da rodovia em uma imagem de satélite. Ao terminar este processo, georreferenciar as informações e obter o produto final, foi possível visualizar as informações espaciais que permitiram diagnosticar as características individuais dos segmentos, conforme o mapa da figura 20.

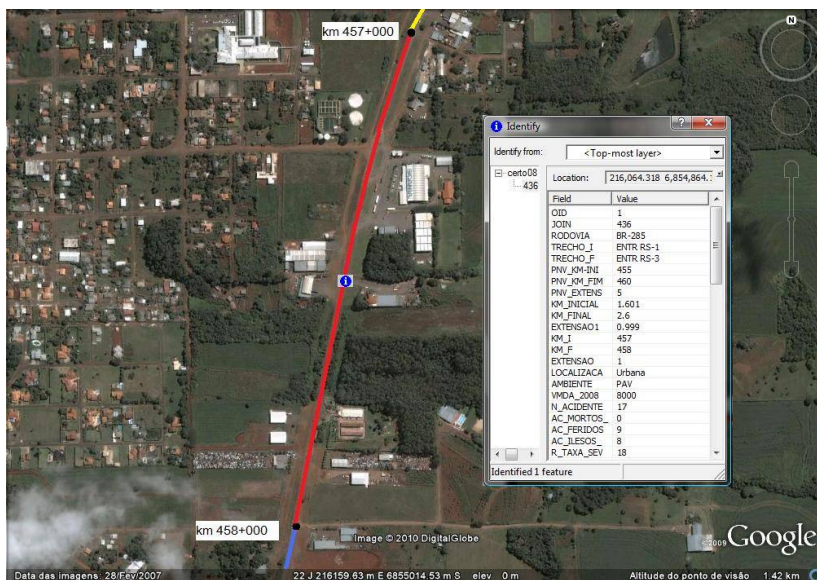


Figura 20. Imagem de Satélite com a sobreposição do vetor do GIS da Rodovia BR-285 trecho Entroncamento com a RS/155 e Entroncamento entre a RS/342 entre os km 457+000 e km 458+000

Fonte: Adaptada do Google Earth

Neste caso, apresenta-se especialmente uma interseção em uma travessia urbana, que indica que existe um conflito de trânsito devido ao intenso tráfego de veículos, o que remete à tomada de medidas preventivas a esse tipo de situação, tais como o reforço na sinalização vertical e horizontal, principalmente informando rotas com antecedência, proibição de ultrapassagens, canalização da interseção,

redução de velocidade e tratamento especial para passagens de pedestres.

Diversas análises podem ser constatadas pela sobreposição do vetor na imagem de satélite. A figura 21 apresenta o exemplo de alguns segmentos com localização urbana do município de Ijuí, RS, Brasil, onde foi apresentado o número de acidentes ocorridos no ano de 2008 e podem ser verificadas taxas, índices, dados de acidentes, de veículos, das condições climáticas, interseções, travessias e fatores que interferem na segurança dos usuários da via.

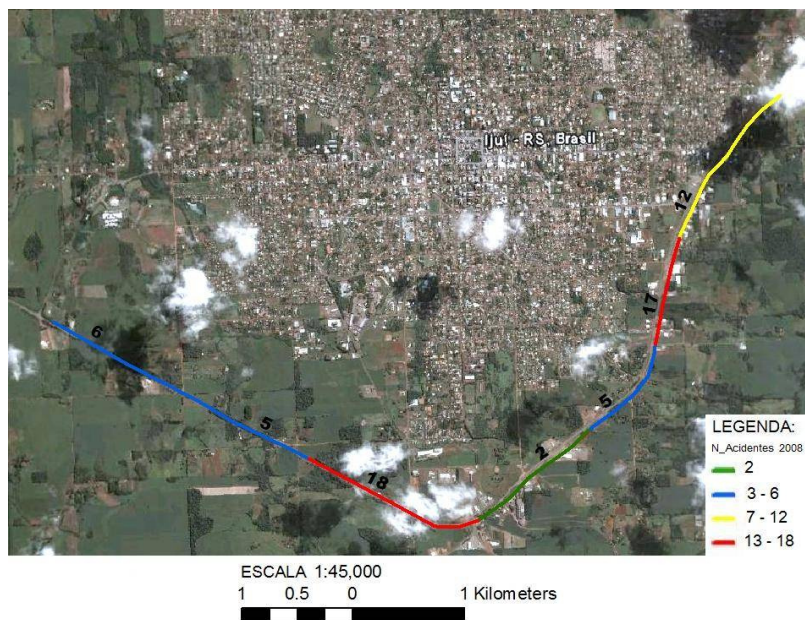


Figura 21. Imagem de Satélite com a sobreposição do vetor do GIS da Rodovia BR-285 trecho urbano de contorno da cidade de Ijuí, RS, Brasil
Fonte: Adaptada do Google Earth

Através do georreferenciamento dos eventos pontuais (acidentes de trânsito), dos segmentos, da malha viária vetorizada e das imagens de satélite, foi possível criar diversos cenários de análise em um GIS. Os detalhes de cada segmento crítico foram armazenados em tabelas de atributos, onde constam todas as informações alfanuméricas.

Nas visitas *in loco*, foram detectados ao longo da rodovia problemas na infraestrutura básica, como defeitos ou desgaste no pavimento nos acostamentos, na drenagem, na sinalização e também problemas de planejamento de interseções e acessos, ausência ou precariedade de travessias para pedestres em áreas urbanas, geometria com curvas de pequenos raios seguidas de tangentes que permitem desenvolver altas velocidades. Esses problemas prejudicam a segurança da rodovia, tanto em áreas rurais como em áreas urbanas e intensificam os acidentes de trânsito. Na figura 22 são apresentados alguns desses problemas identificados ao percorrer a rodovia.



Figura 22. Problemas na Infraestrutura básica da rodovia

Notas: (A) Geometria composta por tangente seguida de curva com pequeno raio
 (B) Deterioração do pavimento, sinalização e acostamento
 (C) Interseção em curva, com problemas de invasão da faixa de domínio e falta de visibilidade

4.3.5 Diagnóstico

Através da representação espacial foram observadas as particularidades dos principais segmentos críticos urbanos e rurais, tendo sido escolhidos 12 segmentos mais significativos em relação aos valores resultantes do cálculo das taxas (R) e dos índices críticos (I_j), conforme a tabela 9. Este processo foi adotado porque o trecho em estudo apresenta uma grande extensão, inviabilizando o detalhamento específico de cada segmento crítico. Destaca-se que os segmentos não adotados para o detalhamento carecem de uma análise detalhada que poderá ser desenvolvida em pesquisas posteriores.

Tabela 9. Segmentos críticos selecionados

| Km inicial | Km final | Extensão | Ambiente |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 65,001 | 66,000 | 0,999 | Rural |
| 85,001 | 86,000 | 0,999 | Rural |
| 108,001 | 109,000 | 0,999 | Rural |
| 111,001 | 112,000 | 0,999 | Rural |
| 120,001 | 121,000 | 0,999 | Urbano |
| 121,001 | 122,000 | 0,999 | Urbano |
| 145,001 | 146,000 | 0,999 | Rural |
| 292,001 | 293,000 | 0,999 | Urbano |
| 310,001 | 311,000 | 0,999 | Rural |
| 457,001 | 458,000 | 0,999 | Urbano |
| 570,001 | 571,000 | 0,999 | Urbano |

No detalhamento dos segmentos críticos foram adotadas as características técnicas e extraídas as principais informações que contemplam a tabela de atributo composta no GIS, conforme o modelo da tabela 10. A figura 23 representa a imagem aérea do segmento do km 121+001 ao km122+000 com a sobreposição do vetor da rodovia. As figuras 24, 25, 26 e 27 contemplam as imagens resultantes das visitas *in loco*, seguidas pela descrição da infraestrutura básica do segmento. Os demais segmentos críticos encontram-se no Apêndice E – Detalhes dos Segmentos Críticos Diagnosticados.

a) Características do segmento e das ocorrências:

Tabela 10. Segmento crítico do km 121+000 ao km122+000

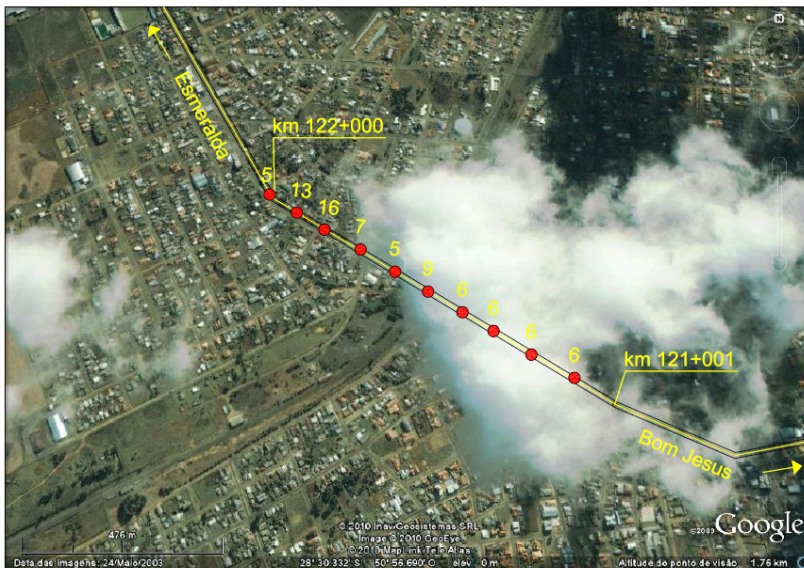
| Nome do campo | Descrição | |
|----------------------------|--|--|
| Join | 118 | |
| Rodovia | BR-285 | |
| Trecho_I | Entroncamento BR-116 (B) (Vacaria) | |
| Trecho_F | Entroncamento RS-456 (Esmeralda) | |
| Pnv_Km_Início | 118,300 | |
| Pnv_Km_Fim | 141,600 | |
| Pnv_Extensão | 23,300 | |
| Km_I | 121,001 | |
| Km_F | 122,000 | |
| Extensão | 0,999 | |
| Localização | Urbano | |
| Ambiente | Pavimentado | |
| X | Ano | |
| | 2007 | 2008 |
| VDMA | 10500 | 11817 |
| N_Acidentes | 42 | 38 |
| Ac_Mortos | - | - |
| Ac_Feridos | 15 | 12 |
| Ac_Ilesos | 27 | 26 |
| R | 26,641 | 19,904 |
| Ij | 10,970 | 8,795 |
| M | 3,829 | 4,321 |
| ICj | 3,260 | 2,873 |
| Tipos de Acidentes | Número total de acidentes em 2007 | Número total de acidentes em 2008 |
| Atropelamento de pedestres | 5 | - |
| Atropelamento de animal | - | - |
| Colisão traseira | 9 | 9 |
| Colisão frontal | 1 | 1 |
| Colisão lateral | 1 | 1 |
| Colisão transversal | 19 | 25 |
| Saída de pista | 2 | - |
| Engavetamento | - | - |

Continua Tabela 10.

| | | |
|----------------------------|--|--|
| Choque | 3 | 1 |
| Capotamento | - | - |
| Tombamento | - | - |
| Queda | - | 1 |
| Outros | 2 | - |
| Sentido da pista | Número total de acidentes em 2007 | Número total de acidentes em 2008 |
| Crescente | 20 | 14 |
| Decrescente | 22 | 24 |
| Geometria da Pista | Número total de acidentes em 2007 | Número total de acidentes em 2008 |
| Curva | 4 | 2 |
| Reta | 22 | 20 |
| Cruzamento | 16 | 16 |
| Estado da Pista | Número total de acidentes em 2007 | Número total de acidentes em 2008 |
| Bom | 24 | 25 |
| Ruim | - | 1 |
| Regular | 18 | 12 |
| Condições do tempo | Número total de acidentes em 2007 | Número total de acidentes em 2008 |
| Bom | 21 | 17 |
| Chuvoso | 3 | 6 |
| Nublado | 18 | 15 |
| Outros | - | - |
| Período do dia | Número total de acidentes em 2007 | Número total de acidentes em 2008 |
| Dia | 34 | 28 |
| Noite | 6 | 9 |
| Amanhecer/Entardecer | 2 | 1 |
| Veículos envolvidos | Número total de veículos 2007 | Número total de veículos 2008 |
| Bicicletas | 2 | - |
| Motoneta/ciclomotor | 2 | 3 |
| Motocicleta | 6 | 10 |

Continua Tabela 10.

| | | |
|---------------------------|----|----|
| Triciclo/ Quadríciclo | - | - |
| Automóvel | 44 | 45 |
| Caminhonete/ca mioneta | 13 | 2 |
| Microônibus | - | - |
| Ônibus | 1 | - |
| Caminhão | 4 | 2 |
| Reboque/semi- reboque | - | - |
| Caminhão trator | 3 | 2 |
| Tração animal | - | - |
| Máquina agrícola | - | - |
| Outros | - | - |



LEGENDA:

● Acidentes de trânsito

Nº- Número de Acidentes de trânsito ocorridos

Figura 23. Imagem aérea do segmento com a sobreposição do vetor da rodovia (km 121+001 ao km 122+000)



Figura 24. Imagem no sentido crescente da rodovia (km 121+001 ao km 122+000) (a)



Figura 25. Imagem no sentido crescente da rodovia (km 121+001 ao km 122+000) (b)



Figura 26. Imagem no sentido crescente da rodovia (km 121+001 ao km 122+000) (c)



Figura 27. Imagem no sentido crescente da rodovia (km 121+001 ao km 122+000) (d)

b) Problemas observados

Observou-se que, no segmento entre o km 121+001 ao km 122+000, houve uma maior incidência de acidentes envolvendo colisões, principalmente as transversais, traseiras e os atropelamentos. Quanto aos problemas abordados referentes a este segmento, as possíveis causas de acidentes podem ser atribuídas à relação dos defeitos, conforme os seguintes itens observados:

- Geometria: Rodovia apresenta cruzamentos com ruas locais e muitas lombadas, podendo intensificar as colisões traseiras ao momento em que um veículo freia repentinamente para evitar colidir frontalmente. Também se intensificam as colisões transversais quando um veículo tenta ingressar na via principal e acaba colidindo ortogonalmente com os veículos que trafegam na rodovia.
- Sinalização: Horizontal e vertical existente, porém desgastada com o tempo.
- Pavimentação: Pavimento em regular estado e acostamentos que servem para estacionamento local.
- Drenagem: Não possui um tratamento especial.
- Interseções e acessos: O segmento em questão apresenta diversos cruzamentos com ruas locais, porém apenas em dois deles existe um tratamento visível, ou seja, um semáforo (que não está ativo) e uma interseção de acesso a Lagoa Vermelha. Mas, ao longo do trecho existem dois pardais para controle de velocidade dos veículos.

c) Medidas corretivas

Algumas medidas poderiam ser intensificadas. A figura 26 mostra que a placa de indicação de rotas está localizada ponto em que o veículo entra na rotatória, fazendo com que o condutor tenha que tomar uma decisão muito rápida quanto ao seu destino. A informação de rotas deveria ocorrer com antecedência, assim como as faixas de pedestres poderiam ser relocadas a uma distância segura para evitar atropelamentos.

Observa-se também que existe tráfego de ciclistas. Para estes, poderiam ser previstas faixas exclusivas, as ciclovias, principalmente

nos trechos urbanos, evitando-se, desta forma, que trafeguem junto aos veículos ou irregularmente na calçada de pedestres.

Neste caso, o revestimento do pavimento também merece um tratamento adequado, assim como a pintura da sinalização horizontal e a instalação de placas de indicação de redução de velocidade e de aviso de lombadas a uma distância segura, para que os condutores dos veículos não venham a frear repentinamente, podendo ocasionar colisões traseiras.

Sugere-se a remoção das obstruções visuais, tais como veículos estacionados no acostamento, principalmente em locais onde os cruzamentos possuem pouca visibilidade, e a reabilitação do semáforo já existente. Além disso, a melhor forma de melhorar o fluxo da rodovia neste trajeto seria o projeto de contorno da cidade de Vacaria, transpondo o tráfego para evitar conflitos com o meio urbano.

4.4 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO

Em ambos os métodos de cálculo utilizados na pesquisa, ou seja, o método do DNER (1986) e o método DENATRAN (1987), consideram-se locais críticos aqueles que apresentaram padrões de acidentes iguais ou superiores a uma referência pré-estabelecida ou associada a níveis de segurança que colocaram em risco a vida dos usuários.

O método do DENATRAN (1987) levou em conta o risco de periculosidade e as tendências de ocorrências em locais mais propícios a estas. Porém, no caso de acidentes com mortes, a aplicação deste método sofre desvantagens, pois muitos dos dados de acidentes durante e após a internação hospitalar não são correlacionados com os boletins de ocorrência para que seja mantido um banco de dados sólido e confiável.

No método do DNER (1986), o modelo probabilístico determina os locais onde o risco de acidente é maior ao índice esperado ou estimado. Observou-se que, apesar da ampla distribuição espacial, os acidentes tendem a agregar-se em locais comuns e favoráveis às ocorrências de acidentes na rodovia.

Ambos os métodos exigem exaustivos levantamentos de dados. O método do DENATRAN (1987) resulta na priorização de locais onde há registro de acidentes com vítimas fatais, considerando serem estes os maiores causadores de perdas na qualidade de vida dos cidadãos e que trazem maiores custos à sociedade. Mas, por outro lado, o método do DNER(1986) permite que possam atuar nos pontos de maiores

probabilidades de ocorrências, muitas vezes com intervenções simples, mas que podem evitar perdas fatais.

A comparação dos métodos de cálculo pode ser avaliada na figura 28. Para esta pesquisa foram aplicados os dois métodos, visto que ambos trouxeram resultados e benefícios satisfatórios.

Houve coincidência na maioria dos segmentos críticos, uma vez que a fonte inicial de dados é a mesma. A dificuldade foi identificar e separar os acidentes para a aplicação do método do DENATRAN, no qual foram criadas interfaces diferenciadas para cálculo, separando acidentes com danos materiais, acidentes com vítimas não fatais e acidentes com vítimas fatais.

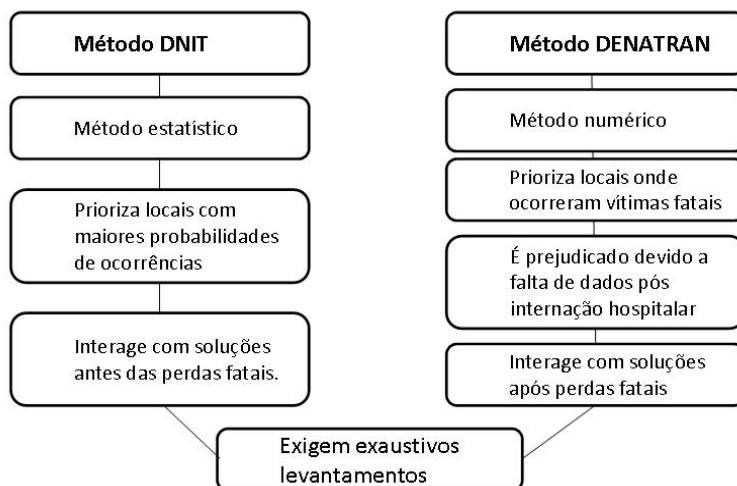


Figura 28. Comparação dos métodos de cálculo

4.5 PROPOSTA DE MEDIDAS MITIGADORAS COMUNS AOS PRINCIPAIS SEGMENTOS CRÍTICOS

Para a definição de medidas mitigadoras comuns aos principais segmentos críticos, foi realizada a pesquisa bibliográfica. Com base nas análises dos segmentos críticos e no conhecimento técnico, foram encontradas e adequadas medidas para cada tipo de acidente ocorrido nos segmentos, dando destaque às medidas mitigadoras na segurança viária de Menezes (2001), a qual foi escolhida por detalhar e aprofundar as soluções adequadas para cada caso de tipo de acidente ocorrido. Essas

medidas podem ser visualizadas detalhadamente no Anexo B – Medidas Corretivas.

Destaca-se que, no período de coleta e análise dos dados, a rodovia não havia sofrido nenhum tipo de reparo e adequação do projeto de acordo com a situação em que se encontrava e em relação às normas vigentes. Atualmente, a rodovia passa por restauração, porém algumas falhas ainda são encontradas e o desgaste e o tráfego contínuo exigem medidas cada vez mais eficazes e intensas.

Tais medidas destacam a sinalização, principalmente tratando da redução de velocidade: sinalização ostensiva de advertência em casos de curvas acentuadas; implantação de proteção lateral; utilização de LERVs; inscrições no pavimento e previsão de sinalização por condução óptica, como tachões no eixo, tachas no bordo, delineadores e refletivo prismático em caso de defensas. Além disso, muitas placas de sinalização vertical apresentavam desgaste pelo tempo e sem a devida refletividade, e a pintura das linhas de bordo e do eixo apresentava-se parcialmente apagada, em alguns casos até apagada totalmente.

Quanto à geometria, onde as curvas são muito acentuadas, existe a possibilidade de aumento do acostamento em relação ao centro da curva. Além disso, o considerável aumento do volume de tráfego faz com que a rodovia atinja níveis de serviço incompatíveis com sua geometria, apresentando, então, problemas de traçado, os quais merecem uma duplicação ou aumento de capacidade.

Além disso, em vistoria ao trecho antes de sua restauração, este apresentava o pavimento em mau estado de conservação, com muitas trincas e acostamento praticamente inexistente em alguns segmentos, provavelmente ocasionados devido ao desgaste do tempo e à falta de adequado tratamento. Esses fatores comprometem a boa drenagem superficial, gerando buracos que vão sendo fechados de maneira rotineira, o que leva a uma solução apenas paliativa. Em alguns casos onde ocorreram restaurações, muitas vezes sobrepostas, formou-se um degrau de pavimento entre a pista e o acostamento.

A constante urbanização apresenta riscos causados principalmente pelo avanço das cidades em direção à rodovia, ficando esta, com sua concepção da época imprópria para a atual conjuntura.

Muitos acessos foram estabelecidos ao longo do tempo sem atenderem às condições normativas de implantação de acessos comerciais, o que gerou pontos de conflito de veículos, como as conversões perigosas, distâncias mínimas de visibilidade não observadas, afastamentos mínimos entre acessos e pontos notáveis, como interseções, pontes, vias, não obedecidos.

Para melhorias da segurança viária, sugerem-se intervenções, como adaptação da sinalização, restauração do pavimento e acostamento, previsão de ruas laterais ou contornos de áreas urbanizadas, readequação da drenagem, visto que hoje existem áreas urbanas sem tratamentos específicos e recuos de paradas de ônibus, pois muitos pontos de paradas de ônibus não possuem refúgio para parada segura dos coletivos. Ainda nas áreas urbanizadas deveriam ser previstas passarelas próprias para pedestres e ciclovias.

O presente trabalho abordou a segurança viária através da análise dos segmentos críticos de rodovias, resultado da aplicação de dois métodos conceituados, utilizados por órgãos gestores em estudos na área de engenharia de tráfego. Além disso, o uso da tecnologia GIS possibilitou a interface de análise.

Observou-se que os volumes de tráfego em alguns trechos da rodovia excedem a sua capacidade, e os atrasos gerados, a falta de melhorias na rodovia, o uso e a ocupação do solo de forma desordenada nos trechos urbanos são fatores que favorecem a ocorrência dos acidentes de trânsito.

O estudo qualitativo e quantitativo possibilitou a obtenção dos índices e taxas críticas, por meio da aplicação de métodos numéricos e estatísticos. Além desses, foram feitas visitas *in loco* e análises pertinentes. Ao se trabalhar com taxas e índices foi considerada a relação dos acidentes com os volumes de tráfego e não apenas as quantidades de ocorrências.

Observando-se as particularidades dos acidentes ocorridos em segmentos críticos rurais e urbanos, foram verificados que muitos desses segmentos necessitam de manutenção em sua infraestrutura básica, cujas melhorias se referem ao reparo dos defeitos ou desgaste no pavimento, nos acostamentos, na drenagem, na sinalização; ao planejamento de interseções e acessos; à implementação de travessias para pedestres em áreas urbanas; à geometria, através do aumento do raio de curva para torná-la compatível com a velocidade operacional; e a acostamentos. Além da infraestrutura básica, sugere-se o aumento da capacidade e/ou duplicação em trechos críticos.

O método desenvolvido possibilitou elaborar as análises para a rodovia em estudo. Pela obtenção dos segmentos críticos, do georreferenciamento, da segmentação da malha viária e do cálculo das taxas e índices de acidentes de trânsito, foi possível criar diversas interfaces de análise, usando subsídios, como mapas temáticos, tabelas, gráficos e fotos aéreas.

O estudo buscou propor uma metodologia que pudesse integrar as informações à visualização de segmentos críticos em rodovias. Dessa forma, puderam ser visualizadas as taxas críticas para o ano de 2007 e

2008 e compará-las com os índices críticos para o período de 2007 e 2008.

Observou-se que o aumento constante da frota de veículos, os atrasos ou falta de implementação de melhorias na rodovia, a travessia de rodovias em centros urbanos devido ao uso e ocupação do solo de forma desordenada são fatores que favorecem a ocorrência dos acidentes de trânsito.

O GIS foi um meio prático no diagnóstico do problema. Por meio do conhecimento técnico, foi possível adaptar medidas mitigadoras comuns aos principais tipos de acidentes que ocorrem nos segmentos críticos para que, dessa forma, se aumentasse a segurança viária.

Além disso, não havia um estudo aprofundado sobre os acidentes de trânsito na BR-285. Por isso, enfatizaram-se os conhecimentos do funcionamento do sistema rodoviário e dos fatores causadores de acidentes, propondo-se melhorias para a solução do problema.

O trabalho apresentado possibilitou analisar espacialmente os segmentos críticos da rodovia em estudo e seu planejamento. Através de um GIS foram criadas várias interfaces de análise e de visualização de cenários dos dados alfanuméricos. A sobreposição das imagens de satélite, da malha viária, dos segmentos e dos pontos de acidentes de trânsito permitiram uma melhor percepção do problema e possibilitaram intervir a partir desse diagnóstico.

Grande parte das rodovias brasileiras excede a sua capacidade projetada, como é o caso da rodovia em estudo. Além disso, o tráfego de veículos pesados representa altos percentuais se comparados com os países desenvolvidos.

Observou-se que a região em estudo exerce uma grande importância econômica e representa uma rota em destaque no modal rodoviário do Brasil e do Mercosul. No entanto, a infraestrutura viária carece de investimentos e melhorias do setor.

Salienta-se que a insuficiência da intermodalidade, a qual envolve mais de um meio de transporte para o deslocamento e a distribuição, principalmente de cargas, sobrecarregam o sistema rodoviário e trazem problemas na infraestrutura da rodovia e na segurança viária os quais acarretam os acidentes de trânsito.

As limitações encontradas na elaboração da pesquisa destacam a coleta dos VDMs, pois existem poucos postos de contagem ou históricos atualizados ao longo da rodovia. A base cartográfica digitalizada também apresentou erros de topologia e distorções da real vetorização da via, por isso alguns ajustes tiveram que ser realizados manualmente ao diminuir escala de visualização. Foi observado que nos relatórios dos

acidentes de trânsito os dados inseridos apresentam um arredondamento no quilômetro da ocorrência, o que distorce a real localização dos acidentes. Nesse caso, o uso de GPS facilitaria a inserção pontual do acidente.

Outra dificuldade refere-se aos acidentes com vítimas fatais, pois, muitas vezes, as mortes ocorridas durante e após o procedimento hospitalar não são incluídas nos boletins de ocorrência, prejudicando a fidelidade de dados.

Também a área em estudo possui uma extensão muito longa, inviabilizando tempo hábil para uma abordagem mais detalhada no tratamento local. Além disso, poderiam ser abordadas sistemáticas diferenciadas para o tratamento dos trechos urbanos, interseções e trechos rurais.

O banco de dados aplicado para a pesquisa também poderia ter sido analisado em um período maior, mas a falta de dados digitalizados anteriores ao momento do início da pesquisa inviabilizou esse processo.

Foi um trabalho exaustivo compor todas as tabelas de atributos, uma vez que exigiu a revisão de todos os itens dos boletins de ocorrência para que pudessem ser avaliadas as discrepâncias existentes nesses.

A dificuldade de obter dados restritos às concessionárias também foi um processo que dificultou o tempo de elaboração da pesquisa, uma vez que os dados detalhados do volume de tráfego não estavam disponíveis aos usuários.

Para melhoria no acesso do sistema de informações, sugere-se que concessionárias disponham no site, através de cadastro com senha e usuário, os dados dos volumes de tráfego, horário, diário, mensal, anual. Ou seja, facilitar a democracia no processo de obtenção dos dados.

Recomenda-se ao órgão gestor público Estadual a criação de um centro de pesquisa de acidentes de trânsito independente e que realize o levantamento de dados dos BOs junto aos DPRF's, aplicando métodos de cálculo para análise de segmentos críticos baseados em metodologias e estudos que permitam a visualização dos dados, como em um GIS.

Outra solução seria aumentar os pontos de contagens de tráfego ao longo da rodovia e efetuar contagens regularmente, além de se criar um sistema de georreferenciamento dos acidentes de trânsito a partir das ocorrências.

Melhorias na infraestrutura, citada e observada ao longo do trabalho, poderiam ser intensificadas para a rodovia em estudo.

Para elaboração de trabalhos futuros, recomendam-se as seguintes sugestões:

- A pesquisa tem um banco de dados já consolidado e definido, com as respectivas análises, num respectivo período de estudo, portanto sugere-se dar continuidade a esta pesquisa, aumentando o período de estudo, alimentando o banco de dados e aplicando diferenciados métodos de cálculo, além dos já aplicados, como os de estatística espacial.
- Aplicar o método de técnica de conflitos em áreas urbanas que são locais com maior probabilidade de ocorrências devido ao maior volume de tráfego.
- Trabalhar com o banco de dados e aumentar o período de estudo para tratar apenas os trechos urbanos, verificando o planejamento urbano de transportes e de circulação.
- Pode ser trabalhada e estudada a infraestrutura da rodovia, aprofundando os fatores intervenientes, como pavimentação, drenagem, sinalização, geometria e interseções.
- Fazer uma pesquisa sobre o tráfego de veículos pesados, uma vez que este representa um grande percentual envolvido em acidentes de trânsito, e as contagens de tráfego revelam o aumento contínuo da frota destes.
- Desenvolver estudos para obtenção de segmentos críticos baseados em GIS para toda a malha rodoviária do RS.
- Desenvolver e colocar no BO do acidente de trânsito uma lista com códigos de fatores contribuintes para acidentes em áreas rurais.

Portanto, a presente pesquisa poderá ter um papel importante nos estudos de infraestrutura e gerência viária, principalmente por tratar de um problema que afeta continuamente a segurança dos usuários das vias por meio dos acidentes de trânsito.

No Brasil, as técnicas para abordagens estatísticas, juntamente com a percepção e capacidade de elaboração e armazenagem de banco de dados em um GIS são pouco exploradas por parte de órgãos e instituições gestores do trânsito. As análises mais recentes em relação a essa percepção são geralmente aplicadas a áreas urbanas. Porém, vale ressaltar que, a partir de uma atualização constante do sistema, da inserção do GPS para captação mais precisa dos dados das ocorrências de acidentes, podem ser realizados diversos cenários e a partir da

metodologia proposta se obter os segmentos críticos de toda a malha viária.

O GIS proposto torna-se assim uma ferramenta importante para o gerenciamento da segurança viária. Ele pode ser expandido, aperfeiçoado e aplicado em rodovias de diferentes cenários, de diferentes localizações, em todo o país.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Pesquisa de acidente de trânsito.** Terminologia. NBR 10.697. 1989.

ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos. **Política Nacional de Trânsito.** 2003.

BADIN, N. T.; MANIQUE Jr, T.; BASTOS, L. C., FRANÇA, R. M. de; OLAH, W. **Utilização de um sistema de informação geográfica para planejamento e gerenciamento de placas de sinalização viária: estudo de caso em Joinville.** Anais do XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba, PR. 2002.

BAGINSKI, L. E. **Sistema de Cadastro e Análise de Acidentes de Trânsito.** Dissertação de mestrado em Engenharia dos Transportes, COPPE. Rio de Janeiro, RJ. 1995.

BRANDÃO, L.M. **Discussão sobre métodos para identificação de locais críticos em acidentes de trânsito no Brasil.** Trabalho apresentado na disciplina de Infraestrutura viária IC 201 A. Campinas, SC. 2007.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação.** São José dos Campos, SP. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html>. Acesso em Nov/2008.

CARDOSO, G. **Utilização de um Sistema de Informações Geográficas visando o gerenciamento da segurança viária no município de São José – SC.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, PPGEC, UFSC. Florianópolis, SC. 1999.

CARE – Community Database on Accidents on the Roads in Europa. Accident statistics: Historical series – rate by population. 2005. Disponível em: http://europa.eu.int/comm/transport/care/statistics/series/fatal1991_rate/index_en.htm. Acesso em Março de 2009.

CARVALHO Jr, L. F. **Sistema de aquisição e gerenciamento de dados sobre acidentes de trânsito através da tecnologia do geoprocessamento.** Trabalho de conclusão de curso de Engenharia da Computação. UnicenP, Curitiba, PR. 2004.

CNT – Confederação Nacional dos Transportes. **Relatório Gerencial de Pesquisa Rodoviária CNT/SEST/SENAT.** 2007. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 23 Mar. 2009.

CORPAS, F. **Acidentes de trânsito, o grande mal que pode ser evitado.** 2007. Disponível em: <www.atividadesrodoviaras.pro.br/acidentetransito.html>. Acesso em: 10 out. 2007.

CORREA, F; RAIA JR, A. A. **Desenvolvimento de Modelos de Viagens Urbanas com Uso de Redes Neurais Artificiais.** Anais do XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET, Brasília. 2006.

DAER – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. **Relatório sobre acidentes de trânsito em rodovias do Rio Grande do Sul.** 2009. Disponível em: http://www.daer.rs.gov.br/site/controle_estudos_estatisticos_acidentes_transito.php> Acesso em: 18 Dez. 2010.

DENATRAN – Departamento Nacional de Transportes. **Manual de Identificação, Análise e Tratamento de Pontos Negros.** Departamento Nacional de Trânsito, Brasília, DF. 1987.

DENATRAN – Departamento Nacional de Transportes. **Direção Defensiva.** Trânsito seguro é direito de todos. 2005.

DENATRAN – Departamento Nacional de Transportes. **Anuário estatístico de acidentes de trânsito – Brasil – RENAEST – 2006.** Roraima, 2006.

DIAS, M. E. F. **Modelos de dados raster ou vetorial no desenvolvimento de um SIG, Aplicação ao setor das sondagens geológicas do Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos.** Trabalho final de Pós-Graduação em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica, ISEGI – UNL. Lisboa, Portugal. 2003.

DIESEL, L. E. **SIG na prevenção a acidentes de trânsito**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, PPGEC, UFSC. Florianópolis, SC. 2005.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de análise, diagnóstico, proposição de melhorias e avaliações econômicas dos segmentos críticos**. Rio de Janeiro: DCTec. 1988.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Guia de redução de acidentes de trânsito com base em medidas de baixo custo**. Rio de Janeiro: DCTec. 1998.

DNER – Divisão de Engenharia e Segurança de Trânsito. **Um Modelo para Identificação dos Segmentos Críticos de Uma Rede de Rodovias**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Diretoria de Trânsito, Rio de Janeiro: DEST/Dr.T. 1986.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Relatório de extensões do sistema rodoviário nacional rede do PNV**. 2005. Disponível em:<<http://www.dnit.gov.br/menu/rodovias/planejamentos/rede>> Acesso em: 16 Fev. 2009.

DNIT (a) – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Manual de estudos de tráfego**. 2006. (IPR. Publ., 723) 384 p., Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DNIT (b) – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNIT investe em obras no Rio Grande do Sul**. 2006. Disponível em:<<http://www.dnit.gov.br/noticias/investmentossul/view?searchterm=BR-285>> Acesso em: 13 Fev. 2009.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Divisão em trechos do PNV versão 2008**. 2010. Disponível em:<http://www.dnit.gov.br/menu/rodovias/rodoviasfederais/PNV2008_Internet.xls> Acesso em: 16 Mar. 2009.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Anuário estatístico de rodovias federais**. 2009. Disponível em <http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviarias/estatisticas-de-acidentes/anuario-2009.pdf> Acesso em: 12 Fev. 2011.

DOMINGUES Jr., M.; FERRAZ, A. C. P. **Técnica MDJ para avaliação de conflitos de tráfego em interseções no Brasil.** Anais do XV Congresso de Pesquisa e ensino em Transportes – ANPET, Campinas, SP. 2001.

ELVIK, R. **A survey of operational definitions of hazardous road locations in some European countries.** Accident Analysis and Prevention 40 p.1830–1835. 2008.

ERDOGAN, S.; YILMAZ, I.; BAYBURA,T.; GULLU, M. **Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar.** Accident Analysis and Prevention 40, 174–181. 2008.

ESRI – GIS and Mapping Software. **Geography Matters.** USA. 2008. Disponível em: <<http://www.gis.com/whatisgis/geographymatters.pdf>> Acesso em: 30 Jan. 2009.

FRAMARIM, C. da S.; CARDOSO, G.; LINDAU, L.A. **Impacto dos controladores eletrônicos de velocidade na redução dos acidentes.** Anais do XVII Congresso de Pesquisa e ensino em Transportes – ANPET, Rio de Janeiro. 2003.

FRANÇA, A. M.; GOLDNER, L.G. **Caracterização dos acidentes de trânsito em rodovias utilizando um sistema de informações geográficas.** Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, UFSC Florianópolis, SC. 2006.

FRANÇA, A. M. **Diagnóstico dos acidentes de trânsito nas rodovias estaduais de Santa Catarina utilizando um sistema de informação geográfica.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, PPGEC, UFSC. Florianópolis, SC. 2008.

FREIRE, L.H.C.V. **Análise de tratamentos adotados em travessias urbanas – rodovias arteriais – que atravessam pequenas e médias cidades no RS.** Dissertação de mestrado profissionalizante da Escola de Engenharia, UFRGS. Porto Alegre. 2003.

GALENO, S. P. **Uma técnica de conflitos de tráfego aplicada aos pedestres – o caso de um corredor urbano de Belém.** Dissertação de mestrado em Engenharia dos Transportes, COPPE. Rio de Janeiro. 2002.

GOLD, P. A. **Segurança de trânsito – aplicações de engenharia para reduzir acidentes. Banco Interamericano de Desenvolvimento.** Washington, D.C. 1998.

GOLDNER, L. G. **Acidentes de tráfego.** Módulo 2, Notas de aula da disciplina de Engenharia de tráfego do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PPGEC, UFSC. Florianópolis, SC.

HARE, K.; SAMPSONS, S.; GRAHAM, K. **Proximity to medical services: Spatial analysis of fatal accidents, Jamaica.** 28^o Annual ESRI International User Conference. 2008.

Hasenack, H. **Base Cartográfica Digital do Rio Grande do Sul.** Editora UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. 2006.

HIJAR, M.; CARRILLO, C.; FLORES, M.; ANAYA, R.; LOPEZ, V. **Risk factors in highway traffic accidents: a case control study.** Accident Analysis and Prevention 32, p. 703-709. 2000.

HIRASAWA, M. and ASANO, M. **Development of traffic accident analysis system using GIS.** Traffic Engineering Division, Civil Engineering Research Institute of Hokkaido. Hokkaido, Japão. 2003. Disponível em: <<http://www.easts.info/2003proceedings/papers/1193.pdf>> Acesso em: 24 Mar. 2009.

HUANG, B.; CHEU, R. L.; PAN, X. **GIS – Based Model for incidente response units dispatching.** Journal of Public Transportation, Vol. p.148-152. 2004.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas.** Brasília, DF. 2003.

IPEA e DENATRAN. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras.** Brasília, DF. 2006.

ITARD – International Road Traffic and Accident Database. Selected risk values for the year 2005. Disponível em: <http://www.bast.de/htdocs/fachthemen/irtad/English/englisch.html>. Acesso em Março de 2009.

ITE – Institute of Transportation Engineers. **The Traffic Safety Toolbox: A Primer on Traffic Safety**, 2ª Ed. Washington, D.C. 1993.

Jenks, G.F. Generalization in statistical mapping. **Annals of the Association of American Geographers**. 1963. p. 53: 15-26.

KANG, S.; LEE, S. M. **Introducing based risk indices into the highway traffic accident analysis**. Computing in Engineering, p. 465-477. 2007.

KOIKE, H.; MORIMOTO, A.; HANZAWA, Y.; SHIRAISHI, N. **Development of hazard map using GIS to reduce traffic accidents**. American Society of Civil Engineers, ASCE Publications. 2000. Disponível em: <<http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?0002803>> Acesso em: 10 Mar. 2009.

LOPES, S. B. **Efeitos da dependência espacial em modelos de previsão de demanda por transporte**. Dissertação de Mestrado. EESC/USP. São Carlos, SP. 2005.

LOTTI, C. P.; WIDMER, J. A.; SCHAAL, R. E. **Propostas de um método de sistematização e levantamento de dados para o estudo da relação de acidentes com as características geométricas da rodovia**. Anais do XVI Congresso de Pesquisa e ensino em Transportes – ANPET, Natal, RN. 2002.

MADALOZO, H.C.; DYMINSKI, A.S.; RIBEIRO, E.P. **Análise de curvas horizontais de rodovias, para melhoramento de projeto e operação, utilizando redes neurais artificiais**. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e ensino em Transportes – ANPET, Florianópolis, SC. 2004.

MEINBERG, F. F. **Ferramentas para a análise de acidentes de trânsito com o uso de um sistema de informação geográfico**. Informática Pública, vol. 5(1): 79-99. 2003.

MENEZES, F. A. B. De. **Análise e Tratamento de Trechos Rodoviários Críticos em Ambientes de Grandes Centros Urbanos**. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2001.

MT – Ministério dos Transportes. **Manual de Procedimento para o Tratamento de Locais Críticos, Programa de redução dos acidentes de trânsito, PARE.** 2002.

MT – Ministério dos Transportes. **Base cartográfica georreferenciada.** 2009. Disponível em <<http://www.transportes.gov.br/>>. Acesso em: 13 Mar. 2010.

NHTSA - National Highway Traffic Safety. **Traffic Records, A Highway Safety Program Advisory.** DOT, USA. 2007. Disponível em: < <http://www.nhtsa.dot.gov/people/perform/pdfs/Advisory.pdf>> Acesso em: 21 Jan. 2009.

NODARI, C. T. **Método de Avaliação da Segurança Potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, UFRGS. Porto Alegre. 2003.

NODARI, C. T.; LINDAU, L.A. **Identificação e avaliação de características físicas da rodovia que influenciam na segurança viária.** Anais do XVII Congresso de Pesquisa e ensino em Transportes – ANPET, Rio de Janeiro. 2003.

NOGUEIRA, R. E. **Cartografia: Representação, comunicação e visualização de dados espaciais.** Florianópolis, SC. Editora da UFSC. 2ª Edição Revista. 2008.

ORTH, D. M.; GRAZIANO, L. A. G.; SILVA JR, S. R. da. **Metodologia de Aplicação do SIG para Acidentes de Trânsito.** Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, UFSC Florianópolis, SC. 2006.

PARO, L. S. M. e VALENTE, A. M. **Contribuição metodológica para identificação de segmentos críticos em rodovias.** Anais do XXI Congresso de Pesquisa e ensino em Transportes – ANPET, Rio de Janeiro. 2007.

PARO, L. S. M. **Contribuição metodológica para identificação de segmentos críticos em rodovias.** 2009. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, PPGECC, UFSC. Florianópolis, SC.

PAVARINO FILHO, R. V. **Aspectos da educação de trânsito decorrentes das proposições das teorias da segurança: problemas e alternativas.** Departamento Nacional de Trânsito DENATRAN, 2004.

PORATH, R. **Sistemas de Gerência de segurança para o trânsito rodoviário, o modelo SGS/TR.** Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, UFSC. Florianópolis, SC. 2002.

PULUGURTHA, S. S.; KRISHNAKUMAR, V. K.; NAMBISAN, S. S. **New methods to identify and rank high pedestrian crash zones: An illustration.** Accident Analysis and Prevention 39 p. 800–811. 2007.

PULUGURTHA, S. S.; VANAPALLI, V. V. **Hazardous Bus Stops Identification: An Illustration Using GIS.** Journal of Public Transportation, Vol. 11, No. 2. 2008.

QUEIROZ, M. P. **Análise espacial dos acidentes de trânsito no município de Fortaleza.** Dissertação de mestrado, UFC, Fortaleza, CE. 2003.

QUEIROZ, M. P.; LOUREIRO, C. F. G. **Análise espacial exploratória dos acidentes de trânsito agregados nas zonas de tráfego de Fortaleza.** Anais do XVII Congresso de Pesquisa e ensino em Transportes – ANPET, Rio de Janeiro. 2003.

QUEIROZ, M. P.; LOUREIRO, C. F. G.; YAMASHITA, Y. **Caracterização de padrões pontuais de acidentes de trânsito aplicando as ferramentas de análise espacial.** Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e ensino em Transportes – ANPET, Florianópolis, SC. 2004.

REIBNITZ, R. R. **Métodos alternativos de previsão do uso do solo e sistema viário.** Trabalho apresentado na disciplina de Estrutura Urbana e Gerência Viária ECV4406, do PPGE, UFSC. Florianópolis, SC. 2008.

REINHOLD, I. R. **Contribuição para alocação de faixas de pedestres em vias urbanas com a utilização de um sistema de informações geográficas, baseado no estudo de fatores de segurança viária.** Tese de doutorado em Engenharia Civil, PPGE, UFSC. Florianópolis, SC. 2006.

REVISTA ESTRADAS. **Transportes e Turismo: Região das Missões**. Ano 4, No. 07, p 04-05, Porto Alegre, RS. 2004.

ROSA, C. N.; LINDAU, L. A. **Custos humanos em acidentes de trânsito: valores estimados para investimentos e praticados em tribunais**. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e ensino em Transportes – ANPET, Florianópolis, SC. 2004.

SANTOS, L.; RAIJA Jr, A. A. **Identificação de pontos críticos de acidentes de trânsito no município de São Carlos – SP – Brasil: análise comparativa entre um banco de dados relacional – BDR e a técnica de agrupamentos pontuais**. Anais do 2^o Congresso Luso-Brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado, sustentável. Braga, Portugal. 2006.

SANTOS, L.; RAIJA Jr, A. A. **Análise de acidentes de trânsito com o uso de SIG e estatística espacial: caso da cidade de São Carlos, Brasil**. Anais do XV Congresso Panamericano de Engenharia de Trânsito e Transporte - PANAM, Cartagena de Índias, Colômbia. 2008.

SILVA, A. N. R. da. **Sistemas de Informações Geográficas para Planejamento de Transportes**. EESC/USP. São Carlos, SP. 1998.

SOARES, L.R. **Engenharia de Tráfego**. Rio de Janeiro: Almeida Neves-Editores, LTDA. 1975.

SOARES, A. L.; COSTA, G. A. O. P.; TONIOLI, F. **Cadastro viário geo-referenciado com ênfase em acidentes**. Anais do II Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aracaju, SE. 2004.

SOARES, A. J.; SILVA, A. N. R. **Análise de autocorrelação em redes aplicada ao caso de acidentes urbanos de trânsito**. Anais do XXI Congresso de Pesquisa e ensino em Transportes – ANPET, Rio de Janeiro. 2007.

TEIXEIRA, K.M.; SILVA, A. N. R. da. **Planejamento auxiliado por computador: Uma Aplicação do software strategizer para um problema de transportes**. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e ensino em Transportes – ANPET, Florianópolis, SC. 2004.

THONG, C. M. e W. G. Wong. **Using GIS to design a Traffic Information Database for Urban Transport Planning.** Comput, Environ and Urban Systems, vol. 21, n. 6, pp.425-443. 1997.

TRINDADE JR, R. E. **e-SIG – Sistema de Informações Georreferenciadas de Acidentes de Trânsito.** Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2008.

VALVERDE, J. A.; JOVANIS, P. P. **Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania.** Accident Analysis and Prevention 38, p.618-625. 2006.

VASCONCELLOS, E. A. **A cidade o transporte e o trânsito.** São Paulo: Polivros. 2005.

YUAN, B. and SONG, W. **Study on Road Traffic Safety Management and Rescue System based on 3S Technology.** American Society of Civil Engineers, ASCE Publications. 2007. Disponível em: <<http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?0703115>> Acesso em: 10 Mar. 2009.

WHO - World Health Organization. **World report on road traffic injury prevention.** 2004. Disponível em: <http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/en/index.html> Acesso em 12 Fev. 2009.