

CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DOS ACIDENTES EM INTERSEÇÕES: ESTUDO DE CASO EM RODOVIAS DE SANTA CATARINA, NO BRASIL

Carolina Cannella Peña

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
carolina.cp@ufsc.br

Lenise Grando Goldner

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
leniseegg@yahoo.com.br

RESUMO

Os acidentes de trânsito e suas severidades estão, majoritariamente, relacionados com a disfunção de um grupo de fatores ligados ao sistema homem, veículo, via e meio-ambiente. A promoção de melhorias na mobilidade e na qualidade de vida do cidadão, visando à mitigação das ocorrências desses acidentes, ou à amenização de suas gravidades, têm sido um grande desafio da gestão e engenharia de transportes. Sabe-se que as interseções acumulam índices de acidentes expressivos e, considerando que elas integram uma pequena extensão nas vias, destacam-se como localidades de potencial periculosidade. Neste trabalho realizou-se uma análise dos acidentes de trânsito ocorridos nas interseções entre rodovias federais no estado de Santa Catarina, no Brasil, com identificação da tipologia dos acidentes e suas gravidades, assim como foi feita a caracterização física e operacional destas interseções. Além disso, foram identificadas as interseções críticas inseridas no estado de Santa Catarina. Para isso, criou-se um banco de dados contendo todas as informações levantadas sobre as interseções: os acidentes nelas ocorridos nos anos de 2007 e 2008; os volumes de tráfego das suas aproximações e a malha setorial na qual as interseções estavam inseridas (urbana ou rural). Desta forma, este estudo permitiu compreender as relações entre os tipos de acidentes ocorridos em interseções e as características físico-operacionais das mesmas, onde se identificou que interseções com maiores VMDa implicaram em um maior número de acidentes e respectivas gravidades e também que interseções inseridas em meios urbanos implicaram em maiores taxas de acidentes.

PALAVRAS-CHAVE Acidentes de trânsito em interseções, Aplicação de Sistemas de Informações Geográficas - SIG em segurança viária, Interseções críticas.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a World Health Organization (WHO, 2009), através da publicação do Relatório da Situação Mundial de Segurança Viária, mais de 1,2 milhões de pessoas morrem a cada ano nos sistemas viários em decorrência de acidentes de trânsito, e entre 20 e 50 milhões sofrem lesões não-fatais onde, na maioria das regiões, estes valores são crescentes.

Para o Brasil, este mesmo relatório mostra uma curva evolutiva dos dados de mortes em acidentes de trânsito a cada 100.000 habitantes desde o ano de 1981 até 2006, apresentando uma oscilação dos valores entre 15 e 25 mortos a cada 100.000 habitantes por ano. Para o ano de 2006 (dados mais recentes publicados no relatório) o número de mortes em acidentes de trânsito a cada 100.000 habitantes foi de 18 e considerando que o Brasil possuía, em abril de 2007, uma população de 183.987.291 (IBGE, 2007), pode-se dizer, então, que existiram aproximadamente 33.000 mortes provocadas por acidentes de tráfego nas vias brasileiras nesse ano.

Conforme dados publicados pela Confederação Nacional dos Municípios – CNM (CNM, 2009), para o ano de 2006 este número é ainda maior. Utilizando como base os dados fornecidos pelo Ministério da Saúde, o estudo descreve a ocorrência de 36.367 mortes causadas por acidentes de trânsito no país (incluindo vias federais, estaduais e municipais) e, ainda, apresenta o ranking dos 100 municípios onde existiram mais mortes, sendo que dentre os 10 (dez) municípios com os maiores índices, 7 (sete) deles estão inseridos no estado de Santa Catarina.

Além da perda de vidas, da incapacitação permanente ou temporária, dos ferimentos físicos e psicológicos e das consequências diretas na produção econômica, os acidentes de trânsito também acarretam outro tipo de prejuízo, os seus vultosos custos ao governo. O custo anual dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras (federais, estaduais e municipais), de acordo com IPEA (2006), alcançou a cifra de R\$ 22 bilhões.

A promoção de melhorias na mobilidade e na qualidade de vida do cidadão, visando à mitigação das ocorrências desses acidentes, ou à amenização de suas gravidades, têm sido um grande desafio da gestão e engenharia de tráfego, exigindo a elaboração de uma série de atividades que, em seu conjunto, podem ser denominadas gerenciamento da segurança viária (DNER, 1998).

Então, para empregar apropriadamente as melhorias integrantes de um gerenciamento rodoviário efetivo, indica-se, fundamentalmente, obedecer à premissa de que devem ser empregadas em locais que apresentem deficiências importantes em sua segurança viária e que contenham problemas que possam ser resolvidos através de ações de engenharia rodoviária.

As interseções são parte fundamental de uma rede viária visto que são locais onde ocorrem as confluências das vias e por isto há um aumento do número de movimentos conflitantes e consequentemente dos acidentes de trânsito.

Destaca-se ainda que, mesmo que em extensão as interseções ocupem pequena percentagem na quilometragem total da malha viária (se comparadas às seções), as mesmas, proporcionalmente, acabam por possuir índices de acidentes expressivos, destacando-se como localidades de potencial periculosidade.

Dada a relevância, dentro da segurança viária, da presença das interseções dentro da malha viária, este trabalho visa uma caracterização das interseções entre rodovias federais, em que ocorrem acidentes de trânsito, no que tange à sua geometria e ocupação do solo lindeiro e segurança viária a partir dos dados das rodovias inseridas no estado de Santa Catarina para que seja possível identificar a relação de suas características físico-operacionais com o perfil dos acidentes que nela ocorrem, o que permitirá um diagnóstico da situação atual das interseções de acordo com as condições de segurança viária por elas proporcionadas.

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O planejamento e execução de intervenções que objetivam a melhoria das condições de segurança rodoviária implicam numa série de atividades coordenadas e planejadas que expõem uma caracterização integral do problema.

Levando em conta que as informações necessárias para alcançar esse planejamento, e consequentes intervenções, devem revelar a extensão do problema, suas características e sua recente evolução, o Permanent International Association of Road Congresses - PIARC (2003) menciona que um plano de ação deverá descrever, primariamente, onde deverão ser focados esforços que pretenderão melhorar a situação.

Destaca-se então que, mesmo que em extensão as interseções ocupem pequena percentagem na quilometragem total da malha viária (se comparadas às seções), as mesmas proporcionalmente acabam por possuir índices de acidentes importantes, merecendo análises detalhadas sobre sua segurança viária.

Uma boa geometria da interseção combinada com um bom controle de tráfego pode resultar numa interseção eficiente e segura (TRB, 2003). Por estarem intimamente ligados aos elementos de projeto, as características físicas do entorno, a ocupação da região lindeira e aspectos operacionais da região onde a interseção está inserida são comumente variáveis contribuintes aos acidentes em interseções.

Num artigo sobre a utilização de modelos de colisões na análise de colisões transversais em interseções, os autores Abdel-Aty e Haleem (2011) apresentaram variáveis que identificaram como importantes e que afetam a segurança nessas interseções. Estas variáveis incluem volume de tráfego da via principal, tamanho da interseção, porcentagem de caminhões na aproximação principal e a localização geográfica dentro do estado.

Desta forma, a presente fundamentação teórica apresenta as múltiplas variáveis analisadas por autores em diversas partes do mundo e as influências destas variáveis sobre as interseções identificadas por estes.

2.1Acidentes em interseções

Turner, Roozenburg e Ipenz (2006) citam que, ainda que grande parte dos acidentes fatais das rodovias rurais da Nova Zelândia ocorram em *links* (trechos entre interseções), um número significativo de acidentes fatais também ocorre nas interseções (em torno de 50 acidentes fatais por ano).

Nguyen (2007) cita que, nos Estados Unidos, mais de uma morte por hora em acidentes ocorre em interseções. Na Florida, para registros feitos em 2003, Abdel-Aty et al. (2006) afirmam que 96.710 acidentes ocorreram em interseções os quais resultaram em 10.429 registros com ferimentos. De acordo com Monsere et al. (2011) ocorreram 33.808 fatalidades nas rodovias públicas estadunidenses em 2009 e, cerca de 21% destes (7.043), foram identificados como relacionados à interseção.

A variável uso do solo foi analisada de maneira a relacioná-la aos acidentes de trânsito ocorridos em interseções inseridas nesse meio pelo autor Ranck (2006) o qual cita que em Kentucky (EUA), para 7.000 interseções analisadas em 3 anos, ocorreram 19.000 acidentes, dos quais 44% em meio rural e 56% em meios urbanos.

Em Washington, desenvolveu-se outro estudo com a análise dos acidentes ocorridos durante 6 (seis) anos em interseções inseridas em 141 rodovias estaduais, onde as taxas de acidentes fatais em interseções integrantes de rodovias inseridas em meios rurais apresentaram-se mais que duas vezes mais alta que as taxas de acidentes em rodovias inseridas em meios urbanos (NGUYEN, 2007).

Nguyen (2007) analisou variáveis dos dados de acidentes em interseções em seis rodovias estaduais no estado de Washington (EUA) no período de seis anos (1999-2004) onde, a respeito do tipo de acidente, os acidentes do tipo colisão traseira foram os quais se destacaram constituindo 27% dos acidentes nas interseções.

De acordo com PIARC (2003), os diferentes tipos de rodovias e locais que constituem uma rede viária nunca possuem um mesmo nível de segurança viária. Por exemplo, a frequência de acidentes é, geralmente, maior em interseções de 4 ramos do que em interseções em 3 ramos, onde existem substancialmente um menor número de conflitos.

Relacionando a geometria das interseções com dados de acidentes ocorridos nesses locais, Ranck (2006) afirma que como uma interseção é construída, assim como ela é operada, impacta tanto no número quanto na severidade dos acidentes; neste estudo o autor apresenta que as taxas de acidentes para interseções com mais de 4 aproximações são de 2 a 8 vezes maiores do que as de 4 aproximações.

De acordo com o *Transportation Research Board* (2003) o tipo de controle de tráfego utilizado, sinalização vertical de “pare” ou “dê a preferência” ou controle semafórico, pode influenciar na tipologia dos acidentes, onde taxas de acidentes freqüentemente crescem com a implantação de semáforos, mas, em contrapartida, os acidentes são menos severos, existindo uma alternância no tipo de acidente observado, com menores ocorrências de colisões transversais e mais colisões traseiras.

2.2 Área de influência das interseções

O Institute of Transportation Engineers – ITE (1999), através do guia *Traffic Engineering Handbook*, cita que as localizações dos acidentes são normalmente identificadas em dois tipos de lugares: pontos (interseções, pontes) e seções onde, para as análises destas, o manual adota comprimentos não menores que 50 pés (15,24m) e nem maiores que 10 milhas (16,09km).

Abdel-Aty, Wang e Santos (2009) afirmam que as colisões numa interseção podem ocorrer além de seus limites, podendo ocorrer nas aproximações ou nas saídas das mesmas. PIARC (2003) também afirma que para propósitos de identificação, a dimensão de um nó (interseção) necessita ser estendida além de sua localização física incluindo a zona de influência (Figura 1) na qual os acidentes podem estar relacionados ao nó.

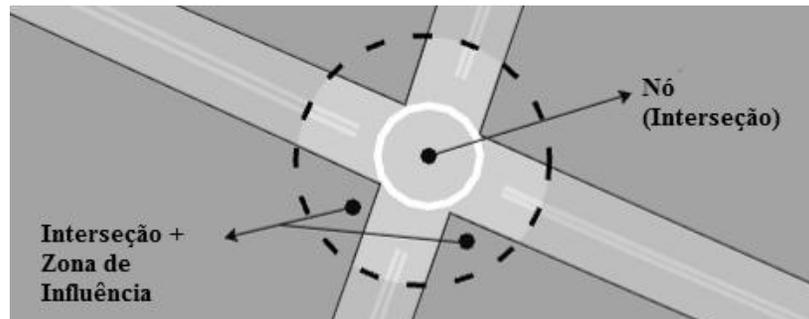


Figura 1 Zona de influência de uma interseção

A dimensão da zona de influência pode variar de alguns metros até algumas centenas de metros, dependendo das características do local. PIARC (2003) cita que zonas mais amplas reduzem a probabilidade de exclusão de acidentes relevantes, mas aumentam a probabilidade de analisar eventos irrelevantes.

A fim de investigar a distância utilizada para definir acidentes classificados como *intersection related* (que ocorrem em interseções ou estão relacionados a elas) e também se essa distância era medida do centro da interseção ou a partir do sinal de pare da interseção, Abdel-Aty, Wang e Santos (2009) conduziram uma pesquisa nos EUA questionando policiais e engenheiros de tráfego de 45 Estados Americanos sobre quais técnicas eram utilizadas para registrar esses acidentes. 28 Estados responderam ao questionário, destes, 15 estados utilizam distância como parâmetro de classificação outros estados designam um acidente como relacionado à interseção se qualquer veículo estava: em processo de parar, realizando conversão, diminuindo velocidade ou realizando qualquer tipo de manobra que fosse resultado da presença da interseção.

2.3 Identificação de interseções críticas

De acordo com Preston and Coakley (2008), historicamente, os acidentes em interseções eram abordados através de processos de melhorias na segurança viária focados em identificar 'pontos negros' que eram tipicamente definidos como locais com incomuns frequências de acidentes. O resultado deste processo, frequentemente, direcionava os investimentos na segurança das interseções. Entretanto, de acordo com os autores, um grande número de estados americanos está reavaliando seu modo de ação sobre a segurança das interseções estipulando metas para reduzir o número de mortalidade nas estradas.

O Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN (1987) recomenda a utilização de taxas de acidentes e unidades-padrão de severidade para a identificação dos chamados 'pontos negros'. Tratando especificamente de interseções, o estudo propõe que sejam utilizados no mínimo dados das interseções onde tenha havido somente 1 (um) acidente, porém fatal. Para consideração do grau de severidade dos acidentes se atribuiu um peso (tomando-se por base estudos para

determinação de custos) conforme gravidade de cada acidente, da seguinte forma: Acidentes somente com danos materiais - Peso 1; Acidentes com feridos - Peso 5; Acidentes com mortos - Peso 13. As interseções serão consideradas críticas quando possuírem taxas superiores a uma taxa média calculada.

PIARC (2003) propõe a identificação de lugares que possuam uma concentração anormal de acidentes através da definição de populações referenciais, o que envolve a identificação de locais com características similares (como, por exemplo, número de faixas, velocidade de operação, ambiente atravessado) onde se esperam performances de segurança semelhantes. Destaca-se ainda, que, sabendo que a densidade de acidentes difere entre nó (interseções, cruzamentos, etc.) e trecho (vias entre nós), estas duas localidades devem ser separadas.

Um modelo que permite estabelecer uma relação de prioridade, possibilitando hierarquizar as interseções com maior necessidade de implantação de semáforos, foi proposto por Moreira e Pereira Neto (2007). Por intermédio da prática de brainstorming, procurou-se extrair, de um grupo de decisores (técnicos que trabalham na área em estudo), os aspectos julgados relevantes para a hierarquização de cruzamentos candidatos à implantação de semáforos.

2.4 SIG – conceituação e contextualização

Conhecer os dados de infraestrutura num determinado âmbito territorial, georreferenciados e relacionados com elementos geográficos, sociológicos, econômicos, urbanísticos, ambientais, etc., fazem do SIG um elemento imprescindível para uma adequada gestão das infraestruturas e serviços (GARCÍA et al., 2006).

A utilização de um SIG tem importância fundamental no estudo dos acidentes de trânsito, visto que ele permite associar os dados (atributos) dos acidentes com suas respectivas localizações, sendo possível encontrar relações entre os acidentes e o meio ambiente onde ocorrem, além da possibilidade de utilização de estatísticas e componentes de análise espacial auxiliando nos estudos de segurança viária (SANTOS e RAIA JR., 2006).

Adicionalmente, os SIG são atrativos para a maioria das pessoas que os utilizam por serem aplicativos intuitivos e cognitivos, combinando ambiente de visualização vantajoso com uma forte estrutura analítica e de modelagem baseada na ciência da geografia. Muitas das relações espaciais entre camadas de dados podem ser facilmente obtidas por sua localização geográfica comum (ESRI, 2008).

Nos últimos anos, muitos departamentos de transportes e outras organizações relacionadas dos EUA, como a Federal Highway Administration - FHWA têm examinado a factibilidade de utilizar os SIG para planejamento de transportes, gerenciamento de sistemas e aplicações de engenharia. Em diversas localidades os SIG vêm sendo utilizados para planejar rotas de transportes, gerenciamento de pavimentos e manutenção de pontes. Entretanto, análises de acidentes de tráfego fazem parte de uma área onde, apesar de sua utilização ser ora conhecida, os SIG ainda podem ser fortemente aplicados.

Reinhold (2006) apresenta um procedimento metodológico baseado no estudo de fatores de segurança viária (atropelamentos, percepção de risco e conflitos existentes) agregados com a

aplicação de um SIG que proporciona determinar o melhor local em trechos críticos para implantação de faixas de pedestres.

Erdogan et al. (2008) utilizaram um SIG visando o gerenciamento de um sistema de análise de acidentes e determinação de *hot spot* ('pontos quentes') na cidade de Afyonkarahisar (Turquia) utilizando métodos de análise estatística. Com o uso de 7.634 registros de acidentes, de 1996 a 2006, os acidentes foram locados conforme o quilômetro em que ocorreram através da ferramenta *linear referencing* do *software* ArcGIS® 9.0. Para definição dos pontos quentes foi estipulada a condição de concentração de pelo menos 4 (quatro) acidentes num mesmo ponto, onde após sua determinação foi possível verificar que a maioria dos pontos eram travessias de vilas e pequenas cidades.

3. MÉTODO

3.1 Levantamento de Dados

A coleta de dados que fundamentou a caracterização das interseções compreendeu, além de dados de acidentes, o levantamento de: volumes de tráfego; dados relativos ao uso do solo lindeiro e investigações, levantamentos e informações complementares.

Os dados de acidentes, registrados pela Polícia Federal Rodoviária, foram adquiridos em forma de planilhas eletrônicas e referem-se aos anos de 2007 e 2008.

Os dados de Volume Médio Diário anual - VMDa foram obtidos do relatório Plano Diretor Rodoviário: Dados de Tráfego de 2007 – Rodovias Federais (DEINFRA, 2007). Este relatório apresenta os dados de tráfego, coletados no intervalo de 01/01/2007 e 06/12/2007, de 75 postos de coleta, instalados nas rodovias federais de Santa Catarina. Para obtenção dos dados de VMDa de 2008 realizaram-se projeções exponenciais com a uma taxa de crescimento anual de 3% sobre os dados de 2007.

A coleta de informações sobre as características geométricas das interseções entre rodovias federais do estado de Santa Catarina deu-se em função da observação de imagens de satélite dos programas ©Google Earth e Bing™ Maps.

O levantamento de informações, que definem os perímetros das unidades territoriais do país, foram feitos através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE que disponibiliza Mapas Municipais Estatísticos (MME), os quais, através de dados alfanuméricos e geográficos publicados em *shapefile*, apresentam o território brasileiro dividido em áreas de uso homogêneo (área urbanas e rurais).

3.2 Elaboração do banco de dados

Com o levantamento dos dados anteriormente apresentados, criou-se um banco de dados contendo todas as informações levantadas e estruturando-se todas as informações para cada interseção e, após tratamento das mesmas, utilizou-se a ferramenta de linguagem de consulta estruturada SQL (*Structured Query Language*) para realizar consultas estatísticas simples sobre os dados.

3.3 Cadastro de dados no SIG

O software utilizado no presente estudo foi o ArcGIS® 9 Desktop. O cadastro de dados iniciou-se com a criação e cadastro da planilha em Excel contendo todas as variáveis a serem plotadas nos mapas. A seguir, foram cadastrados os *shapefiles* no ArcGis: malha rodoviária e divisão político-administrativa e áreas urbanas. Finalmente foi elaborada a *layer* de pontos sobre a camada de rodovias para identificação das interseções entre rodovias federais do Estado.

3.4 Caracterização das interseções

Inicialmente, através da observação dos mapas multimodais do estado de Santa Catarina (DNIT, 2009), identificaram-se 19 interseções entre rodovias federais dentro do estado. Após esta identificação foram coletadas informações das localizações, concessões e superfície destas interseções dentro do Plano Nacional de Viação - PNV. As interseções não pavimentadas ou estaduais, onde não são realizadas coletas de informações sobre os acidentes por parte do DPRF, foram excluídas de análise totalizando-se como amostra final 14 interseções entre rodovias federais.

Logo após, as mesmas foram classificadas conforme suas características geométricas levantadas a partir de informações das imagens aéreas observadas nos programas ©Google Earth e Bing™ Maps assim como em projetos geométricos.

Para a definição da área de influência adotou-se a análise detalhada de todas as narrativas dos acidentes verificando a variação das quilometragens de ocorrência dos acidentes relacionados à interseção em descrições das narrativas que continham textos como: acidentes em trevo, acidentes em alça, acidente em entroncamento.

3.5 Cálculo de Interseções críticas

Para cada ano da base de registros (2007 e 2008) foram identificadas as taxas de acidentes das interseções, considerando dados de acidentes inseridos em toda sua área influência, utilizando o método apresentado por DENATRAN (1987).

Esse método utiliza taxas de acidentes que levam em conta um número equivalente de acidentes em unidade padrão de severidade – UPS, as quais consideram o número de acidentes de acordo com a gravidade dos envolvidos. A esses números são alocados pesos como segue:

- Acidentes somente com danos materiais - Peso 1;
- Acidentes com feridos - Peso 5;
- Acidentes com mortos - Peso 13.

Assim, a severidade de uma interseção, expressa em UPS – Unidade Padrão de Severidade, será dada pela Equação 1:

$$\text{Severidade (nº de UPS)} = (\text{acidentes somente com danos materiais} \times 1) + (\text{acidentes com feridos} \times 5) + (\text{acidentes fatais} \times 13) \quad (1)$$

O cálculo da taxa recomendada por este manual segue a Equação 2:

$$T = \frac{n^{\circ} \text{ de UPS} \times 10^6}{(VMD_1 + VMD_2 + \dots + VMD_n)P} \quad (2)$$

Após os cálculos das taxas individuais de cada interseção, foram calculadas as taxas médias para os anos de 2007 e 2008 nas interseções. Os locais com taxas superiores ou iguais à média do grupo de interseções serão considerados interseções críticas.

A criação de grupos intencionou permitir análises comparativas, mais homogêneas possíveis, onde se compararam acidentes que ocorreram dentro de um mesmo conjunto de características da interseção e do entorno e onde para estes acidentes, pôde-se supor, que possuíram, pelo menos, um fator contribuinte em comum.

Levando em conta os métodos de definição da área de influência de uma interseção, identificados na revisão da literatura feita, adotou-se a análise detalhada de todas as narrativas dos acidentes verificando a variação das quilômetros de ocorrência dos acidentes em relação à localização da interseção. Ou seja, analisaram-se as descrições que continham algum tipo de informação que indicasse que o acidente era relacionado à interseção (ex.: trevo, alça, entroncamento, etc.) e para tais consideraram-se que tal registro relaciona-se à interseção.

Desta forma, estipularam-se áreas de influência a serem utilizadas para cada grupo de interseção (Quadro 1) utilizando a maior média dos distanciamentos máximos encontrados para cada uma das variáveis classificatórias do grupo. Por exemplo, para o grupo N3U, levou-se em conta a média dos distanciamentos máximos identificados nas interseções em nível (N), a média dos distanciamentos máximos identificados nas interseções com 3 aproximações (3) e a média dos distanciamentos máximos nas interseções inseridas em meio urbano (U), e escolheu-se o maior destes três valores como área de influência.

Tipo de interseção		Grupo	Área de influência sugerida (km)	
Em nível	3 aproximações	Urbano	N3U	2,5
		Rural	N3R	2,5
	4 ou mais aproximações	Urbano	N4U	2,8
		Rural	N4R	2,8
Em desnível	3 aproximações	Urbano	D3U	2,2
		Rural	D3R	2,5
	4 ou mais aproximações	Urbano	D4U	2,8
		Rural	D4R	2,8

Quadro 1 Área de influência sugerida conforme grupo da interseção

4. ESTUDO DE CASO: AS RODOVIAS FEDERAIS DE SANTA CATARINA

4.1 Contextualização

Para Santa Catarina, considerando todos os registros de acidentes, identificaram-se 14.415 registros no banco de dados para o ano de 2007 e 15.591 registros para o ano de 2008.

Quanto à severidade dos acidentes ocorridos nas rodovias federais de Santa Catarina para os anos de 2007 e 2008, de um total de 30.006 registros, 16.858 registros trataram de acidentes sem vítimas (56%), 12.188 com vítimas (41%), 920 com mortos (3%) e 40 (< 1%) registros possuíram esta informação como ignorado.

As estatísticas de acidentes podem sugerir desconformidades nos trechos analisados, entretanto, afirmações só podem ser feitas quando existem informações comparativas da variável analisada onde, por exemplo, só é possível afirmar que ocorrem mais acidentes em vias duplicadas do que em vias simples quando a análise leva em conta a extensão de vias duplicadas e a extensão de vias simples.

Seguindo esta afirmativa, buscou-se conhecer a frequência e gravidade dos acidentes nas interseções de Santa Catarina e também em trechos entre interseções (também chamados trechos em seção) de forma a levar em consideração também as extensões que estes trechos ocupam dentro das rodovias federais.

Assim, considerando o total de registros observados em trechos de seção e interseção, as áreas de influências pré-estabelecidas para as interseções e os dados de extensão que ocupam dentro da malha, elaborou-se a Tabela 1.

Tabela 1 Acidentes por quilômetro em SC – 2007 e 2008

	N° de acidentes				Extensão (km)	ac./ km
	2007	2008	TOTAL	%		
Interseção	1.917	2.655	4.572	15,24	148,40	31
Seção	12.498	12.936	25.434	84,76	1.996,00	13
TOTAL	14.415	15.591	30.006	100,00	2.144,40	

Da mesma forma que o total dos acidentes em relação à área que ocupa a interseção dentro da malha do estado possui alta concentração relativa, as gravidades dos acidentes obedecem ao mesmo comportamento. Dos acidentes ocorridos em 2007 e 2008 e suas distribuições em trechos em seção e interseção, as maiores concentrações dos acidentes e suas gravidades ocorrem em trechos em seção.

Entretanto, ao analisarmos os trechos e suas extensões foi possível identificar que nas interseções ocorreram, para todas as gravidades, os maiores índices de acidentes por quilômetro (Tabela 2).

Tabela 2 Total de acidentes por quilômetro de acordo com gravidade

	Acidentes/km		
	com mortos	com vítimas	sem vítimas
Seção	↓ 0,42	↓ 5,29	↓ 7,01
Interseção	↑ 0,51	↑ 11,04	↑ 19,25

4.2 Acidentes de tráfego nas interseções

Com o objetivo de aprimorar a compreensão do mecanismo envolvido num acidente de tráfego numa interseção, assim como melhor prever sua ocorrência, é importante examinar a natureza das relações entre a interseção, o meio-ambiente e fatores de tráfego como volume e tipo de veículo.

Desta forma, considerando as interseções e suas respectivas áreas de influência, foram identificadas possíveis associações entre os acidentes de tráfego ocorridos nas 14 interseções entre rodovias federais do Estado, sua geometria e condições de tráfego das mesmas.

4.2.1 Volume de tráfego

Para as análises dos volumes médios diários das interseções, que consistiram nos somatórios de volumes de suas aproximações, identificou-se que aproximadamente 64% das interseções entre rodovias federais do Estado possuem volumes inferiores a 50.000 v.p.d.¹, conforme se observa na Figura 2.

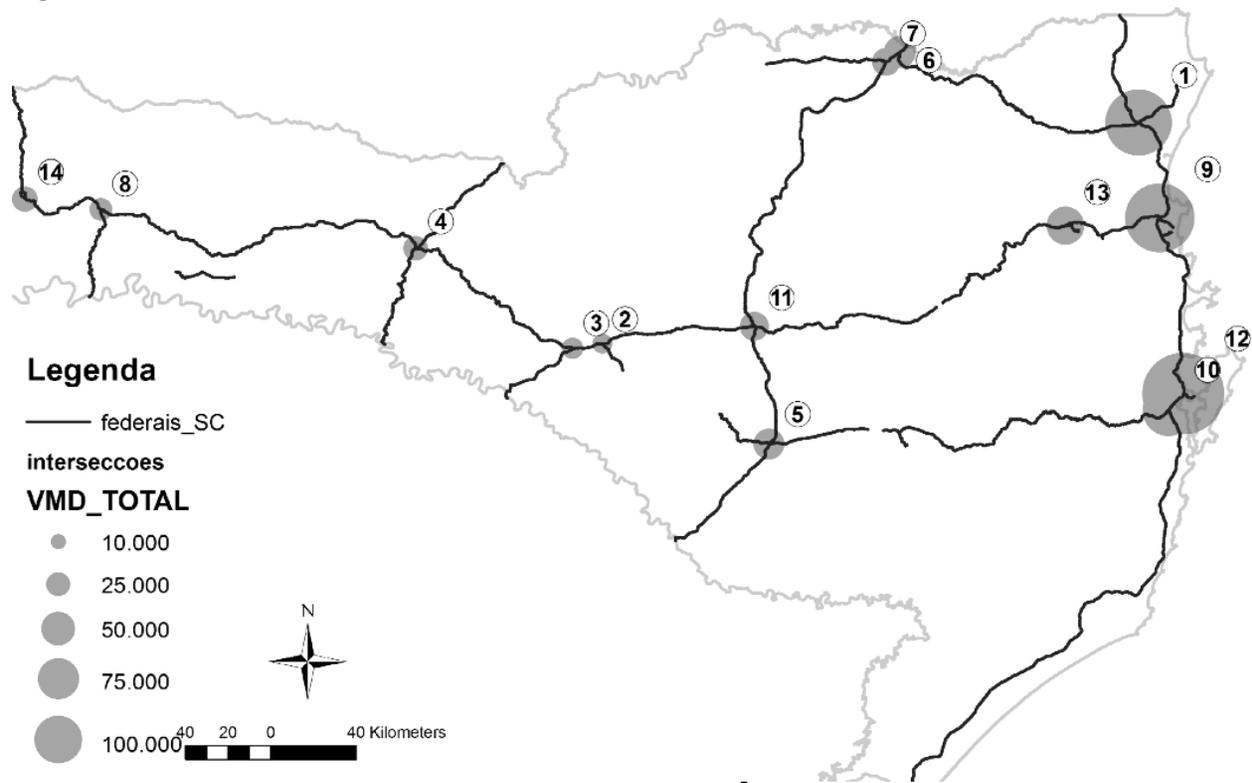


Figura 2 Distribuição de VMDa² nas interseções

As análises contaram com o cruzamento das informações de volumes e acidentes ocorridos, distribuindo os acidentes e suas gravidades (com exceção da situação 'ignorado') dentro de 3 grandes grupos de interseções que levam em conta faixas de volumes de tráfego. A Figura 3 mostra os resultados deste cruzamento, onde é possível observar, que assim como o total de acidentes, as gravidades aumentam nas interseções conforme aumenta a faixa de volume de tráfego.

¹ Veículos por dia

² Volume médio diário anual

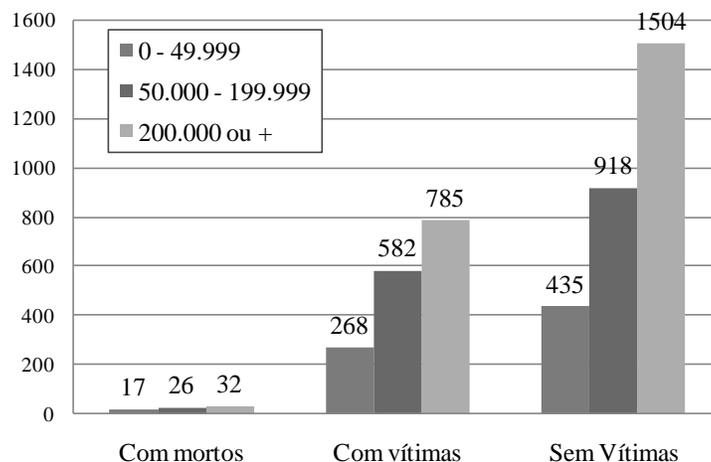


Figura 3 Acidentes conforme faixas de VMDa

4.2.2 Taxas de acidentes

Os cálculos foram feitos separadamente para os dois anos. Após os cálculos das taxas individuais de cada interseção, para o intervalo de tempo requerido, calcularam-se as taxas médias para as interseções. Nota-se que as interseções 7, 8, 10, 12 e 13 mantiveram suas taxas acima da média em ambos os anos. Já as interseções 4 e 5 possuíram suas taxas maiores que a média apenas para o ano de 2007, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 Taxas de acidentes nas interseções de SC

ID	BR1	BR2	Taxa de acidentes	
			2007	2008
1	BR280	BR101	4,60	3,00
2	BR282	BR470	3,47	5,99
3	BR470	BR282	8,60	10,07
4	BR153	BR282	12,00	12,51
5	BR116	BR282	16,26	9,60
6	BR116	BR280	11,64	6,37
7	BR116	BR280	13,87	14,43
8	BR158	BR282	20,42	15,95
9	BR470	BR101	4,76	8,29
10	BR282	BR101	16,97	31,66
11	BR470	BR116	5,08	7,92
12	BR101	BR282	20,22	25,14
13	BR470	BR477	26,68	41,14
14	BR163	BR282	2,03	1,84
Taxa média			11,90	13,85

4.2.3 Nível dos cruzamentos

Ainda que apenas 4 (29%) das 14 interseções do Estado sejam em desnível e que se espera que cruzamentos fora de nível possuam um menor número de conflitos (e consequentemente um

menor número de acidentes), as interseções em desnível do Estado apresentaram maiores concentrações de acidentes e de suas gravidades quando comparadas com as interseções em nível (Figura 4).

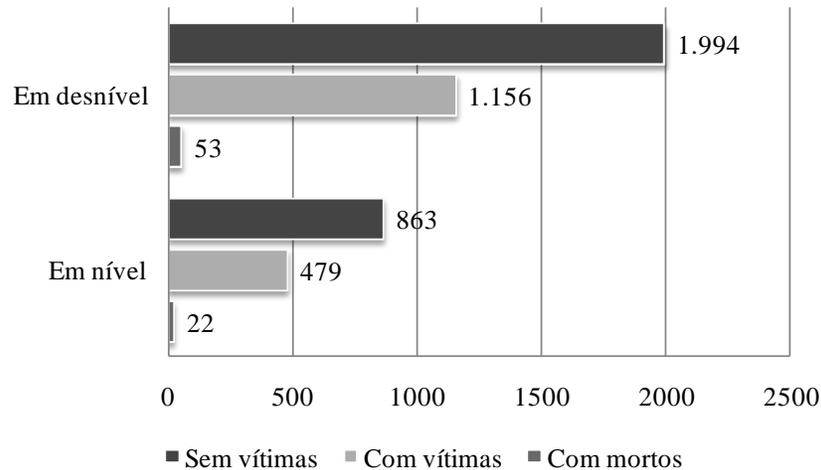


Figura 4 Acidentes conforme nível dos cruzamentos

Analisou-se também a distribuição das taxas de acidentes em interseções em nível e em desnível e este cenário pouco se alterou. Nesta análise as interseções em desnível também mostraram reter elevadas taxas de acidentes possuindo como taxa média por milhão de veículo o valor de 17,02 enquanto que nas interseções em nível a taxa média foi de 11,64. Ainda que as interseções em desnível tenham obtido uma taxa média de acidentes maior que as interseções em nível, é importante destacar que 75% das interseções em desnível estão inseridas em meios urbanizados, o que pode conferir contribuição às elevadas taxas e um predomínio da variável ocupação do solo lindeiro em relação à variável nível dos cruzamentos.

4.2.4 Uso do solo lindeiro

As travessias urbanas por si só são locais onde se esperam maiores ocorrências dos acidentes seja pela interação entre trânsito local e tráfego de passagem ou pela invasão da faixa de domínio por residências e comércio, acessos irregulares ou ainda pelos volumes altos de pedestres e bicicletas atravessando a pista em múltiplos locais.

Assim, a variável a ser analisada e tratada neste item envolve a ocupação do solo lindeiro às interseções e parte do pressuposto de que grandes concentrações de acidentes seriam identificadas em áreas urbanas. Tanto as interseções com maior número de acidentes quanto as interseções com maior número de acidentes com mortos foram identificadas em áreas urbanas (ver Figura 5).

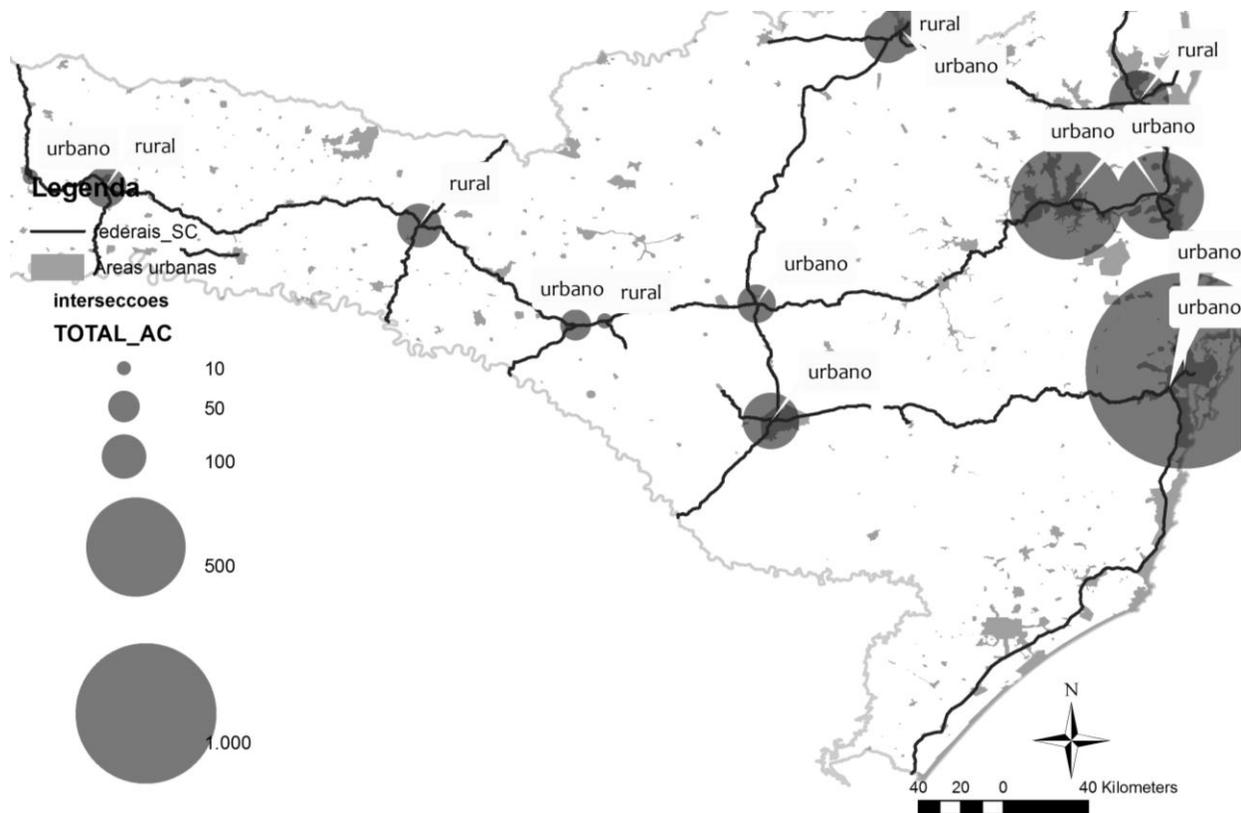


Figura 5 Total de acidentes nas interseções de acordo uso do solo

Ainda foi possível confirmar a influência de áreas urbanas sobre uma maior ocorrência dos acidentes e suas gravidades ao calcular-se a taxa média de acidentes em cada tipo de ocupação do solo, observou-se que para ambos os anos de 2007 e 2008 (Figura 6) estas foram maiores na ocupação urbana.

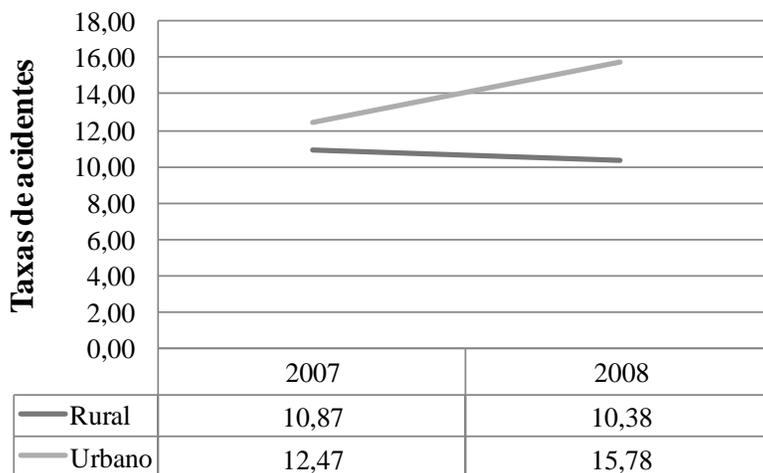


Figura 6 Taxas médias de acidentes de acordo com o uso do solo

4.2.5 Número de aproximações

Analisando as taxas de acidentes das interseções o pior comportamento quanto à segurança foi também constatado nas interseções com o menor número de aproximações como mostra a Tabela 4, em ambos os anos.

Tabela 4 Taxas médias de acidentes em interseções conforme seu número de aproximações

Taxa média de acidentes		
N de aproximações	2007	2008
3	↑15,75	↑20,63
4	↓8,05	↓7,07

A constatação de que as interseções que possuem maior número de aproximações não possuem as maiores taxas de acidentes sugere que esta variável não é predominante nos acidentes das interseções entre rodovias federais do Estado para os anos de 2007 e 2008.

4.2.6 Tipo da interseção

Após a classificação das interseções conforme suas características geométricas como exposto no item 3.6.3, identificaram-se 8 tipos de interseções no Estado. Para cada tipologia, calcularam-se suas taxas médias de acidentes as quais são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 Taxas médias de acidentes de acordo com o tipo da interseção

Tipo de Interseção	Qtidade.	Taxa média	
		2007	2008
trevo completo	2	4,68	5,65
3 ramos canalizada	3	12,92	19,07
3 ramos tipo gota	1	20,42	15,95
3 ramos rótula vazada	1	13,87	14,43
4 ramos canalizada	2	8,54	10,22
4 ramos rótula	3	9,98	5,94
diamante	1	16,97	31,66
Interconexão em t 'trombeta'	1	20,22	25,14

Dado que a representatividade de cada tipologia conta com poucas quantidades de interseções, não é possível sugerir que as variações observadas das taxas individuais anuais, ou das taxas médias por tipo de interseção, influenciam na ocorrência e gravidade dos acidentes.

4.3 Interseções críticas

Então, para empregar apropriadamente melhorias para um gerenciamento efetivo, deve-se, fundamentalmente, obedecer a premissa de que estas devem ser empregadas em locais que apresentem deficiências importantes em sua segurança viária e que contenham problemas que possam ser resolvidos através de ações de engenharia rodoviária.

O reconhecimento destes locais pode ser feito através de uma priorização de segmentos rodoviários que sejam considerados críticos, ou neste caso, de uma priorização das interseções críticas.

Assim, parte-se para o cálculo das interseções críticas utilizando as recomendações do método de DENATRAN (1987) para identificação dos então chamados pontos ‘negros’ e hoje conhecidos como pontos críticos.

Conforme exposto no Capítulo anterior, o método cita que os locais com taxas superiores ou iguais à média do grupo serão considerados interseções críticas.

Assim, as interseções que possuíram suas taxas individuais iguais ou maiores do que as taxas médias de seus grupos foram consideradas críticas. As identificações de todas as interseções críticas foram feitas para os dois anos em questão (2007 e 2008) como mostra a Tabela 6. Na Tabela é possível notar que 2 interseções (6 e 12) identificaram-se como críticas para os dados de apenas 1 ano.

Assim, a fim de apresentar as interseções mais críticas de maneira priorizada, listaram-se (Tabela 6) as interseções que se identificaram como críticas em ambos os anos, e que possuíram os maiores desvios entre suas taxas individuais e as taxas médias de seu respectivo grupo.

Tabela 6 Priorização das interseções críticas de SC

ID	BR1	BR2	Δ^*	
			2007	2008
13	BR470	BR477	9,04	15,53
8	BR158	BR282	7,84	3,83
5	BR116	BR282	7,51	3,17
7	BR116	BR280	1,29	2,31
1	BR280	BR101	0,00	0,00
4	BR153	BR282	0,00	0,00

*Taxa individual menos taxa média do grupo

5. CONCLUSÕES

Na realização deste estudo elaborou-se um banco de dados com informações sobre a malha viária federal de Santa Catarina, suas interseções e respectivas características geométricas, volumes de tráfego, bem como sua localização e identificação das interseções críticas.

O método utilizado no presente trabalho permitiu caracterizar as interseções onde, através das análises estatísticas e espaciais e a identificação das interseções críticas foi possível realizar análises sobre a segurança viária de interseções entre rodovias federais do Estado.

Visando conseguir identificar as correlações entre as interseções e os acidentes nelas ocorridos a fim de caracterizar as interseções, analisaram-se os acidentes que estavam de alguma maneira relacionados à interseção, através da análise às descrições inseridas em narrativas dos registros de acidentes levantados.

Ao cruzar os dados de acidentes com dados das características físicas e operacionais das interseções entre rodovias federais de Santa Catarina foi possível identificar que os níveis de cruzamento e o tipo ocupação da área lindeira, assim como o volume de tráfego são determinantes nas ocorrências dos acidentes nas interseções. Entretanto, os acidentes de tráfego são eventos complexos e acredita-se que suas causas são multifatoriais.

Ainda que 64% das interseções entre rodovias federais de SC possuem VMDa menor que 50.000 v.p.d., foi possível identificar a grande influência dos somatórios de VMDa das aproximações das interseções em relação aos acidentes de tráfego, onde um maior número de acidentes assim como gravidades mais severas ocorreram em interseções com faixas de volume acima de 50.000 v.p.d..

Com este estudo, foi possível observar ainda que os maiores distanciamentos dos acidentes relacionados às interseções ocorreram em interseções com maiores números de aproximações e em nível. Isso indica que estas interseções possuem maiores áreas de influência sobre as rodovias e merecem atenção especial quando de análises sobre sua segurança viária.

Os estudos comparativos que permitiram identificar e afirmar correlações foram calcados nas taxas de acidentes e variáveis físico-operacionais da interseção, levando em conta assim não só o número de acidentes mas sim sua gravidade e volume de tráfego da interseção.

Ainda que tenham sido confirmadas algumas suposições iniciais, onde comprovou-se que interseções com maiores VMDa indicaram maiores números de acidentes e suas gravidades, ou ainda que interseções inseridas em meios urbanos implicam em maiores taxas de acidentes, algumas suposições, sustentadas por estudos analisados na revisão da literatura deste trabalho, não foram constatadas nas conclusões do presente estudo.

Grandes valores de taxas de acidentes foram identificados em interseções em desnível onde se esperariam menores taxas pelos cruzamentos serem em níveis diferenciados. Também em interseções com menor número de aproximações, onde se supõe que existam menores VMDas, foram identificadas altas taxas de acidentes, dado que os maiores VMDas não estavam associados ao número de aproximações.

Pode-se supor, entretanto, que os maiores VMDas estejam relacionados com os números de faixas das rodovias ao invés do número de aproximações, uma vez que a BR-101 reteve altas taxas de acidentes em ambos anos e é uma rodovia com grandes extensões de trechos duplicadas e que variáveis como ocupação urbanizada do solo predominem na influência sobre os acidentes.

Outros fatores, entretanto, não permitiram comprovações sobre sua influência nos acidentes. A respeito da influência do tipo de interseção conforme sua geometria, não foi possível definir relações com os acidentes uma vez as tipologias são variadas dentro do Estado, não existindo representatividade de nenhum tipo de interseção.

A utilização de ferramentas SIG, assim como a disponibilidade de dados em shapefile (malha viária e ocupação do solo) permitiram análises visuais claras da interação entre as interseções, suas características e configurações dos acidentes nelas ocorridos e as áreas urbanas.

REFERÊNCIAS

ABDEL-ATY M. et al. (2006) A Simplistic Practical Approach to Identify Traffic Crash Profiles at Signalized Intersections, *ITE Journal*, Vol. 76 No. 4, pp 28-33.

ABDEL-ATY, M., WANG X. e SANTOS J. B. (2009) "Identifying Intersection Related Traffic Crashes for Accurate Safety Representation" published at the *ITE Journal* (Vol. 79 (12), pp. 38-44).

ABDEL-ATY, M., HALEEM K. (2011) Analyzing angle crashes at unsignalized intersections using machine learning techniques. Department of Civil, Environmental & Construction Engineering, University of Central Florida, Orlando, FL 32816-2450, United States. *Accident Analysis and Prevention* 43, p. 461–470.

Confederação Nacional dos Municípios - CNM (2009) Área de Estudos Técnicos. Mapeamento das mortes por acidentes de trânsito no Brasil. 22p.

Departamento Estadual de Infraestrutura - DEINFRA (2007) Plano diretor rodoviário para o estado de Santa Catarina. Rodovias Federais. Volume 1 e 2. Relatório de Dados de Tráfego de 2007. Florianópolis.

Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN (1987) Manual de Identificação, análise e tratamento de pontos negros. Ministério da Justiça, 2ª ed. Brasília.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento (1998) Guia de redução de acidentes com base em medidas de engenharia de baixo custo. - Rio de Janeiro. 140p.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. Ministério dos Transportes (Acesso em out. 2009) Custos médios gerenciais – base jan/09. Disponível em: <www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/custos-medios-gerenciais>.

ERDOGAN, S. et al. (2008) Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. *Accident Analysis and Prevention*. n. 40, p.174–181.

Environment Systems Research Institute - ESRI – (Acesso em: jan. 2010) What is ArcGIS. Technical Paper. 2008. Disponível em: <www.esri.com/library/brochures/pdfs/arcgis-desktop.pdf>.

GARCÍA, F. A. V. et al. (Acesso em: abr. 2009) Los sistemas de información geográfica en el análisis de la siniestralidad en carretera. Estudio particular para la provincia de La Coruña. In: XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. Anais eletrônicos... Laboratorio de Ingeniería Cartográfica - Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Granada, 2006. Disponível em: <cartolab.udc.es/investigacion/publicaciones-1/publicaciones>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (2007) Contagem da População – 2007. Rio de Janeiro. 311p.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA. IPEA/ DENATRAN/ ANTP (2006) Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras – Relatório Executivo. Brasília. 80 p.

Institute of Transportation Engineers – ITE (1999) Traffic Engineering Handbook. 5. ed. 704p.

MONSERE, C. M. et al. (2011) Oregon State University. Federal Highway Administration. Assessment Of Statewide Intersection Safety Performance. FHWA-OR-RD-18. 144 p. Washington.

MOREIRA, M. E. P.; PEREIRA NETO, W. de A. (2009) Modelo multicritério para a priorização de interseções candidatas a implantação de controle semaforico. 2007. Disponível em: <redpgv.coppe.ufrj.br/arquivos/Controle_Semaforico_Hierarquizacao_Impant.pdf>. Acesso em: ago.

NGUYEN, N. H. (Acesso em: 15 dez. 2009) Quantitative Safety Analysis for Intersections on Washington State Two-lane Rural Highways. Master's Thesis Defense. University of Washington. STarLab - Smart Transportation Applications & Research Laboratory. 86 leaves. Washington, 2007. Disponível em: <www.uwstarlab.org/PowerPoint/20070815_Ha_defense_v2.ppt>.

Permanent International Association of Road Congresses - PIARC. World Road Association. Technical Committee (2003) Road Safety Manual. Québec. 602p.

PRESTON H. D.; COAKLEY.R. C. (2008) Emerging Trends in Intersection Safety. ITE Journal. 78, n. 12. p. 24-8.

RANCK, F. (Acesso em: jan. 2010) New Technology and Low Cost Initiatives for safer intersections: Part - 2. In: Lifesavers Conference. FHWA - Resource Center. Anais eletrônicos.... Louisville (Kentucky), 2006. Disponível em: <lifesavers.ky.gov/lifesavers_2006/session22-ranck3.ppt>.

REINHOLD, I. R. (2006) Contribuição para alocação de faixas de pedestres em vias urbanas com a utilização de um sistema de informações geográficas, baseado no estudo dos fatores de segurança viária . Tese submetida como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 218 p. Florianópolis.

SANTOS, L.; RAIA Jr, A. A. (Acesso em: jun. 2009) Distribuição espacial dos acidentes de trânsito em São Carlos (SP): Identificação de tendências de deslocamento através da técnica de elipse de desvio padrão. Instituto de Geografia – UFU. Programa de Pós Graduação em Geografia. Caminhos de Geografia - revista on-line, Uberlândia/MG, n. 7, p. 134 – 145., 2006. Disponível em: <www.caminhosdegeografia.ig.ufu.br/include/getdoc.php?id=447&article=186&mode=pdf>.

TURNER, S.; ROOZENBURG, A. (Acesso em ago.2009) IPENZ – Institute of Professional Engineers New Zeland. Transportation Group. Rural Intersection Safety. New Zeland, 2006. Disponível em: <www.ipenz.org.nz/ipenztg/papers/2006_pdf/13_Turner_Roozenburg.pdf>.

Transportation Research Board - TRB. National Cooperative Highway Research Program Subject Areas (Acesso em: jan. 2010) Safety and Human Performance Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan Volume 5: A Guide for Addressing Unsignalized Intersection Collisions. Washington, 2003. Disponível em: <onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_500v5.pdf>.

World Health Organization - WHO (2009) Department of Violence and Injury Prevention. Library Cataloguing in Publication Data. Global status report on road safety: time for action. Geneva.