

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N^o 68/4, Edição Especial Geoinformação e Análise Espacial: 863-877
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

MAPEAMENTO DE TRECHOS RODOVIÁRIOS CRÍTICOS

Mapping of Road Critic Segments

**Mariana Dias Chaves Batistão¹, Vilma Mayumi Tachibana²
& João Fernando Custodio da Silva³**

¹Universidade Estadual Paulista - UNESP

Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas
Rua Roberto Simonsen, 305, 19060-900 Presidente Prudente - SP - Brasil
mmariana.chaves@gmail.com

²Universidade Estadual Paulista - UNESP

Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) – Departamento de Estatística
Rua Roberto Simonsen, 305, 19060-900 Presidente Prudente - SP - Brasil
vilma@fct.unesp.br

³Universidade Estadual Paulista - UNESP

Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) – Departamento de Cartografia
Rua Roberto Simonsen, 305, 19060-900 Presidente Prudente - SP - Brasil
jfsilva@fct.unesp.br

Recebido em 30 de Janeiro, 2016/ Aceito em 27 de Março, 2016
Received on January 30, 2016/ Accepted on March 27, 2016

RESUMO

Organismos internacionais de saúde, e brasileiros também, consideram a alta incidência de acidentes viários uma epidemia por causa dos milhares de vítimas fatais e sobreviventes com sequelas. A quantidade no espaço urbano é preocupante, porém a letalidade dos eventos rodoviários é maior. Considerado um assunto de alta complexidade por causa das muitas variáveis que concorrem para a ocorrência dos acidentes, o estudo dos fatores determinantes não despreza nenhum tipo de contribuição calcada em ciência e tecnologia. Os registros oficiais dos acidentes rodoviários são de responsabilidade das polícias rodoviárias federal e estaduais. Os dados de acidentes no trecho km 493 a 592 da rodovia SP-270 (Raposos Tavares), do período de 2007 a 2013, foram analisados e a síntese indicou que 70% dos acidentes ocorrem em 30% do trecho, sendo o mais crítico o do km 568 ao 570. Este curto trecho crítico foi percorrido com um sistema de mapeamento móvel para obter imagens georreferenciadas para estudos e visualização. A extensão estudada foi representada em uma carta geográfica digital por subtrechos classificados de baixo, moderado e crítico. A metodologia integra diferentes fontes de dados e efetivamente contribui nos processos de tomada de decisão para fins de atenuar os riscos e a redução dos acidentes viários.

Palavras-chave: Segurança Viária, Acidente Viário, Trecho Crítico, Estatística Descritiva, Mapeamento Móvel.

ABSTRACT

Health international and also Brazilian organisms consider the high incidence of road accidents epidemics due to the thousands of fatal and injured victims. There are worries on the amount in urban areas although the lethality is higher in road events. This matter has been considered of high complexity as many variables may contribute to an accident

occurs. The studies of the determinant factors should not neglect any kind of contribution founded on science and technology. The official records of road accidents are responsibility of the federal and state road policies. 2007 to 2013 accident data from km 493 to 592 of SP-270 state road were analyzed and the synthesis indicated that 70% of the accidents occur in 30% of the whole segment and that the most critic section ranges from km 568 to 570. The critic section was traveled with a mobile mapping system to acquire georeferenced image for studies and visualization. The studied segment was represented in a digital map by sections classified as low, moderate, and critical. The methodology integrates different data sources and it effectively contributes to the decision making process to mitigate the risks and reduction of road accidents.

Keywords: Road Safety, Road Accident, Critic Section, Statistics, Mobile Mapping.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o transporte rodoviário é o modal mais utilizado para aproximadamente 60% da população e transporte de 90% dos bens (CNT, 2006). A quantidade de acidentes rodoviários supera 42 mil mortes por ano (DATASUS, 2010), relativizadas em 66 por cem mil habitantes/ano. Considerando que a infraestrutura (vias e terminais) pouco tem crescido e se moderniza lentamente, ao longo do tempo, o aumento da produção e do consumo de bens duráveis resultará no aumento da frota de veículos, que circulará em um espaço finito. É lógico supor que as chances de conflitos e acidentes aumentarão e, conseqüentemente, os meios de prevenção e minimização dos riscos terão de ser ampliados e aperfeiçoados.

A ocorrência de acidentes rodoviários é registrada em boletins de ocorrência (BO) por agentes das polícias federal e estaduais. Tais registros são quantitativos e qualitativos, em modo textual, porém são dados passíveis de espacialização. E se incorporados a uma base de dados geográficos podem ser representados em um mapa associado a outros formatos de representação e assim visualizar os trechos das rodovias com maior ou menor incidência de ocorrências.

As tecnologias que obtêm, analisam e disponibilizam dados geoespaciais – as geotecnologias – têm no tema da segurança viária um campo a explorar e contribuir decisivamente no processo de minimização de riscos de acidentes viários. Um caminho possível é o georreferenciamento desses eventos e a visualização dos trechos mais críticos.

Este é precisamente o objetivo principal da metodologia discutida neste artigo. Sua finalidade é representar cartograficamente

os trechos nos quais há maior incidência de acidentes. Estes trechos críticos são indicados por métodos estatísticos descritivos e são percorridos nos dois sentidos da rodovia por um sistema de mapeamento móvel que obtêm imagens georreferenciadas para estudos e visualização.

A utilidade é que os interessados, isto é, os gestores responsáveis, os usuários em geral e os condutores em particular, podem conhecer os dados estatísticos, com apoio cartográfico e imagético, e principalmente ficarem alertados dos trechos críticos.

A contribuição é significativa diante da miríade de elementos que compõem o tema da segurança viária. Além de se desvelar os dados, esta metodologia acrescenta imagens georreferenciadas para a visualização dos trechos viários críticos.

A metodologia que integra estatística, cartografia e mapeamento móvel foi testada em um trecho da rodovia Raposo Tavares (SP-270), próxima a Presidente Prudente, SP. O trecho crítico apontado pela metodologia ora proposta coincide com a informação disponibilizada pela Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo (PMR/SP ou simplesmente PMR neste artigo). Esta concordância corrobora, portanto, a metodologia em construção e investigação, de modo que a credencia para futuros e maiores desafios.

2. ELEMENTOS TEÓRICOS

Por se tratar de um trabalho que integra e usa conhecimentos de áreas distintas, esta seção apresenta as bases teóricas no âmbito da segurança viária, natureza dos dados, métodos estatísticos, base cartográfica, mapeamento móvel e visualização dos trechos críticos.

2.1 Segurança Viária

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB) considera trânsito a utilização de vias por pessoas, veículos e animais, isolados ou em grupos, conduzidos ou não, para fins de circulação, parada, estacionamento e operação de carga ou descarga (DENATRAN, 1997).

O acidente de trânsito é uma ocorrência que afeta diretamente o cidadão, porquanto a esse são impingidos aspectos relacionados com a morte, a incapacitação física, perdas materiais, danos morais, podendo provocar sérios comprometimentos de cunho psicológico, muitas vezes de difícil superação (DNIT; DPRF, 2010).

Ferraz *et al.* (2012) afirmam que o risco de ocorrência de um acidente depende de quatro elementos conjunturais principais: o ser humano, o veículo, a via e as condições ambientais e meteorológicas; clamam que uma política adequada de segurança no trânsito deve atuar no sentido de reduzir a exposição ao risco, forçar a diminuição da quantidade e severidade dos acidentes, bem como os danos às vítimas. Para isso, deve-se atuar em três dimensões distintas: engenharia, educação e esforço legal.

O esforço legal é de competência do Poder Legislativo do País e das autoridades com poderes de polícia que regulam e fiscalizam o cumprimento do CTB.

Aos profissionais da área de engenharia cabe a responsabilidade de projetar, executar e manter as vias para veículos e pedestres adequadas no tocante à geometria, resistência, regularidade e textura da superfície de rolamento, sinalização etc. Também cabe realizar a gestão de segurança viária (GSV), que envolve a coleta e o tratamento estatístico dos dados de acidentes, a determinação dos fatores contribuintes, a logística de socorro às vítimas, a implantação de ações visando à redução dos acidentes, sobretudo dos graves, entre outras necessidades.

A severidade é classificada em leve, grave e fatal. Acidentes leves são os que produzem apenas danos materiais e lesões que não exigem internação hospitalar. Os graves são os que, além do prejuízo patrimonial, acarretam internações prolongadas e eventualmente deixam sequelas. Os fatais são os que envolvem morte. Acredita-se que ao se combater os fatores que determinam os acidentes graves estar-se-á prevenindo também os fatais.

A dimensão educação inclui todos os níveis de formação escolar desde tenra idade – bastante ampla – até as dissertações e teses acadêmicas – obviamente restrita. Considera também os esforços de divulgação institucional, na forma de extensão de serviços à sociedade, e iniciativas e realizações com o propósito de informar a população em geral e o usuário em particular, sobretudo o condutor, de modo a influir em seu comportamento responsável no trânsito.

O presente trabalho se inspira nas dimensões da engenharia e educação. Notadamente no âmbito da GSV, as geotecnologias podem dar visibilidade aos dados estatísticos alfanuméricos descritivos, mediante a sua representação cartográfica e visualização integrada dos trechos críticos por meio de imagens georreferenciadas. Na dimensão educação, mediante a investigação e análise criteriosa dos dados, de modo a contribuir para incrementar a segurança viária com o processo metodológico ora apresentado e analisado.

2.2 A Natureza dos Dados

O infeliz evento acidente viário é oficialmente registrado em BO por agentes com poderes de polícia. As tabelas disponibilizadas pela PMR contêm dados sobre a quantidade de acidentes por tipo, situação das vítimas, pontos críticos, horários de ocorrência, data e dia da semana de ocorrência, e perímetro urbano ou zona rural. Os registros são alfanuméricos e estão organizados em formulários e planilhas (Figura 1).

km	com_vitima	sem_vitima	total_vitima	leve	grave	fatal	colis_traseira
493		2	2				
494		4	4				1
495	1	1	2		2	2	
496	1	2	3	2			
497		2	2				1
498		3	3				
499	1	13	14	1			1
500	2	8	10	2			1
501	1	9	10	1			1
502	1	2	3	1			1
503		5	5				
504	2	5	7	2			
505	2	1	3	2	1		1
506	1	3	4	1			1
507	1	1	2	1			1
508	1	2	3	2			
509		1	1				
510	1	2	3	1			1
511		11	11				1
512	1	16	17		1		2
513		5	5				1
514	1	1	2	1			1
515	2	9	11	3	1		1

Fig. 1 – Fragmento de planilha da PRM com os registros dos acidentes por quilômetro.

Tem havido esforços para tornar o registro o mais fiel possível em relação ao fato real. Na questão geográfica, os agentes alegam não ter condições operacionais de precisar o local, sobretudo em rodovias. Daí, as anotações conferem um dado aproximado, em geral, ao quilômetro cheio, ou no máximo em décimos do quilômetro, portanto da ordem de centenas de metros. Tais registros carecem de visualização espacial e ficam invisíveis em modo alfanumérico, quantitativos e qualitativos, ditos textuais ou estatísticos, sobre a ocorrência dos acidentes.

Os dados originais podem ser representados em bases cartográficas. Isto pode se dar em modo descritivo, isto é, sem nenhum processamento, ou em destaque para algum atributo de interesse, como os trechos críticos da rodovia em análise, caso que requer tratamento estatístico. Além da visualização cartográfica e dados estatísticos, imagens georreferenciadas e vídeos tomados por um sistema de mapeamento móvel são dados extras que vão se incorporar ao processo de modo a ampliar os estudos e aprofundar as análises dos trechos críticos.

2.3 Estatística Descritiva

O tratamento estatístico pode ser feito diretamente com os dados alfanuméricos. O método descritivo possibilita analisar direta, econômica e objetivamente os dados. E assim conduz rapidamente a um entendimento preliminar do problema estudado.

Considerando a carência de estudos integrados na questão da segurança viária, uma abordagem por aproximações sucessivas é coerente com a estratégia de se conhecer inicialmente os aspectos gerais e em seguida ir-se investigando os pormenores dos fatores constituintes do problema.

2.4 Mapeamento Móvel

No âmbito terrestre, os sistemas de mapeamento móvel (SMM) representam uma linha de aplicação científica e tecnológica de um método de mapeamento de vias de locomoção terrestre (ruas, rodovias e ferrovias) que vem sendo cada vez mais utilizado tanto comercialmente quanto para fins de pesquisa (SILVA *et al.*, 2001). Os SMM integram sensores de imagem e metodologia de modo a produzir uma posição espacial de qualquer detalhe na ou próximo a uma via terrestre. Isto significa um

conjunto de equipamentos, tais como câmeras digitais, receptores GNSS (Global Navigation Satellite System), plataformas inerciais, entre outros, de tal modo que quando integrados podem produzir imagens orientadas e georreferenciadas e coordenadas espaciais de qualquer atributo (OLIVEIRA *et al.*, 2003).

O pioneiro na atividade de mapeamento móvel de vias terrestres de locomoção foi o sistema GPSVan, desenvolvido por Bossler *et al.* (1991). Era composto por um par de câmeras digitais, um receptor GPS (Global Positioning System) e um sistema de armazenamento de imagens. Em 1999, Silva *et al.* (2003) desenvolveram o primeiro protótipo da unidade móvel do sistema que conta com o Laboratório de Mapeamento Móvel (LaMMov).



Fig. 2 - Placa IMU/MEMS (esq.); receptor GNSS(GPS) Shield (centro); câmera digital (dir.). Fonte: Silva *et al.* (2014).

Foi desenvolvida a UIMAGI – unidade integrada modular para aquisição de imagens georreferenciadas (SILVA *et al.*, 2014). Cada UIMAGI possui uma câmera de vídeo digital, sistema inercial de baixo custo (MEMS-Micro Electro-Mechanical System), placa Arduino e GPS (Figura 2). O par de UIMAGI pode ser afixado em qualquer veículo para obter imagens georreferenciadas para o mapeamento e visualização de ruas e rodovias (figuras 3 e 4).



Fig. 3 - Par de UIMAGI montado em suporte horizontal.



Fig. 4 – Montagem da UIMAGI em um veículo.

O mapeamento móvel pode ser inserido nas áreas em que a geoinformação é parte do processo de produção que depende do uso intensivo do sistema viário, por exemplo. Silva *et al.* (2012) arrolaram algumas importantes potencialidades e aplicações. Diante dos altos índices de acidentes rodoviários no Brasil e no mundo, esta aplicação tecnológica tende a ter expressivo benefício pedagógico, social e econômico em prol da segurança viária.

2.5 Visualização de Dados de Rodovias

Muitos trabalhos podem ter pouca eficiência por não serem desenvolvidos sob uma ótica cartográfica (GUERRA, 2007). França e Goldner (2006) afirmam que os acidentes de trânsito podem ser referenciados com base em um par de coordenadas geográficas ou um endereço previamente definido pelo órgão gestor, por exemplo, quilometragem (km 500 + 200 m). Devido a essa natureza espacial, podem ser analisados por um sistema que permite a ligação entre seus atributos (acidentes e tipos) e dados espaciais (localização geográfica, quilometragem etc.). Ferraz *et al.* (2012) asseveram que locais críticos, usuários críticos, datas críticas, horas críticas etc., podem ser analisados em um sistema de informações geográficas (SIG) e convenientemente mapeados.

Os programas de segurança viária visam diagnosticar e tratar esses locais com ocorrências significativas de acidentes de trânsito. A análise de todas estas informações contempla o uso de metodologias para identificar e priorizar as ações preventivas nos locais críticos, onde se concentra a maioria dos acidentes, que por sua vez são classificados de acordo com suas tipologias e

graus de severidade (MT, 2002; IHT, 1996).

No Brasil, a visualização de dados de rodovias tem sido objeto de alguns poucos interessados, geralmente instituições. Por exemplo, o *WebRotas* do DER é um sistema online com o intuito de facilitar a vida dos motoristas que trafegam por todo o território paulista (DER, 2013). Não há avaliações disponíveis. Os serviços online do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) possuem, entre outros, o sistema online para visualização de condições de rodovias, disponibilizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006). O Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans), criado em 1998, pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), desenvolve várias atividades de ensino, pesquisa e extensão. O Sistema Georreferenciado de Informações Viárias (SGV) é uma solução integrada na web que tem como objetivo principal receber, processar e disponibilizar dados e informações de tráfego relacionados à malha rodoviária federal sob jurisdição do DNIT (LABTRANS, 2013).

Como um exemplo questionável, pode-se citar o método de estimação do valor do índice de mortes por quilômetro percorrido pela frota de veículos rodoviários no Brasil desenvolvido por Bastos (2011). Para a visualização dos dados foram utilizados mapas temáticos por região do país, o que é representativo, mas entende-se que é uma informação de baixa resolução, muito generalizada para qualquer tomada de decisão e ação prática. Quando muito, auxilia na argumentação sobre a importância e urgência de ações práticas. Há outros documentos esparsos para visualizar os mapas de rodovias e atlas apresentados na Internet em arquivos no formato pdf.

Além de um banco de dados com informações textuais, são consideradas primordiais as informações visuais, como preconiza Schopf (2006), que afirma que fotografias e filmagens podem ser úteis para captar as características da via. É o caso da tecnologia de mapeamento móvel combinada com imagens aéreas.

A cartografia da ocorrência de acidentes rodoviários e a informação visual georreferenciada proveniente do SMM agregam ao estudo da segurança viária a localização precisa

e a visualização de alguns fatores contribuintes de acidentes. Ambas podem ser incorporadas ao processo de análise das condições da rodovia, vinculando-as a uma base de dados geoespaciais ou até mesmo a um sistema de informações geográficas. Assim, os locais ou trechos de ruas e rodovias com a incidência de ocorrências, conforme os registros dos órgãos públicos, notadamente a PMR, podem e devem ser levantados, analisados e cartografados. Tal aplicação integrada informa objetivamente os interessados sobre a situação física da rodovia, se o levantamento não estiver defasado em relação à real situação dos trechos, e alerta os usuários sobre os riscos de acidentes associados a cada trecho da rodovia.

3. METODOLOGIA

Essa linha de investigação foi iniciada em 2011 com um projeto de iniciação científica que cuidou da concepção preliminar de um

banco de dados geoespaciais (webSIG/SV). Nos dois anos seguintes, o sistema foi especificado e desenvolvido em trabalho de mestrado (CHAVES *et al.*, 2013; CHAVES, 2014).

3.1 Área de Estudo

A rodovia Raposo Tavares (SP-270) é uma rodovia radial, no sentido geral leste-oeste, que demanda da capital para o interior, com azimute da direção geral de 270 graus. A localização da área objeto de estudo compreendeu o trecho desta rodovia estadual (TR), entre o km 493+340 (limite municipal de Rancharia-SP) e 592+670 (limite municipal de Presidente Bernardes-SP) (Figura 5). Do km 493,34 ao km 541,50, a pista é simples com duas mãos de direção e duas faixas de trânsito, com algumas faixas adicionais, onde há aclives com inclinação superior a 7%. Do km 541,50 ao 592,68, a pista é dupla com mão única de direção e duas faixas de trânsito em cada sentido.

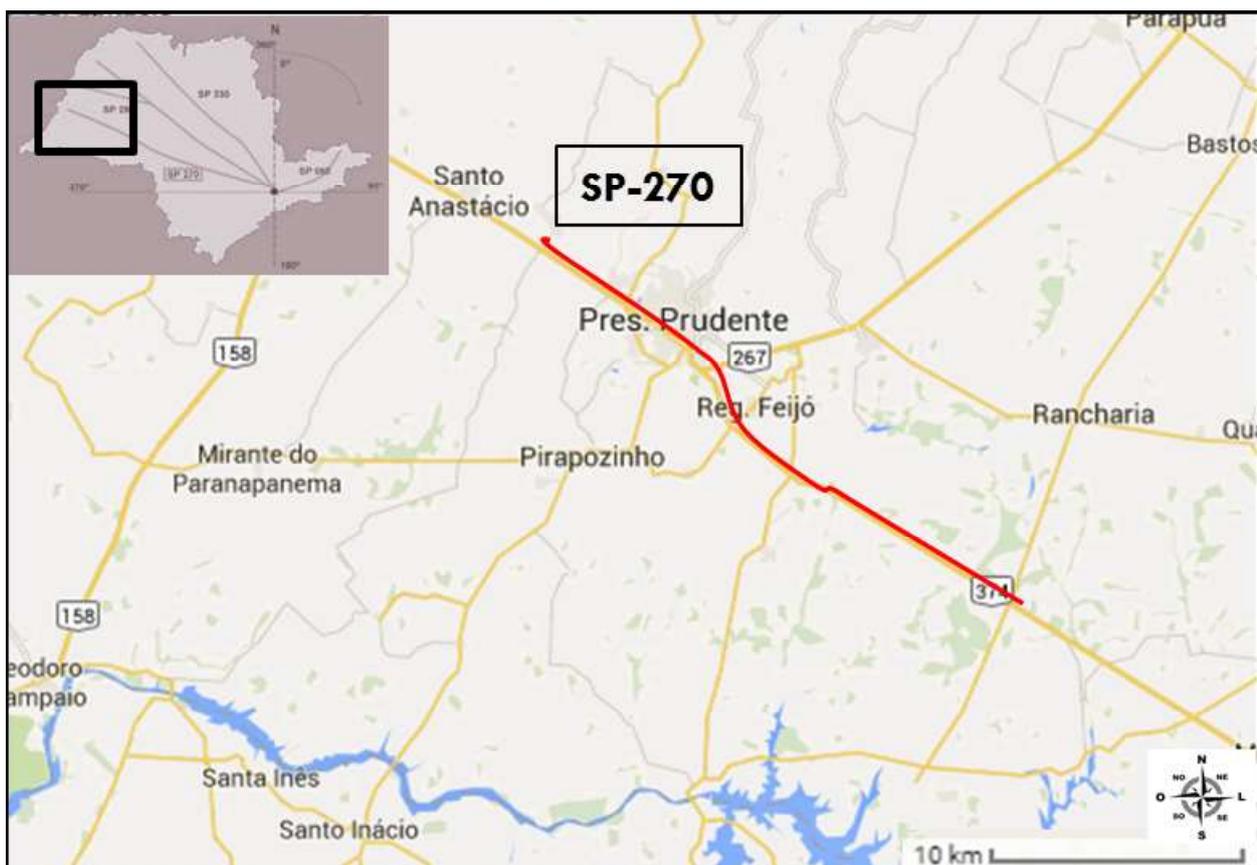


Fig. 5 – Trecho da rodovia em estudo (TR).

O município de Presidente Prudente, por onde passa a SP-270, possui 218.960 habitantes e uma área de 562,794 km² (IBGE, 2013). Um dos trechos mais perigosos, segundo Lemes (2011),

está compreendido entre 568 e 570 km, onde se constata acidentes graves. Este trecho crítico da rodovia está inserido no perímetro urbano do município.

Evidentemente, a proximidade da área de estudo em relação ao campus universitário também foi levada em conta para testar a metodologia. Os dados estatísticos referentes aos acidentes correspondem ao período 2007 a 2013.

3.2 Os Dados e a Base Cartográfica

A base cartográfica foi elaborada no bem conhecido formato *shapefile* com o *ArcGIS*®. Embora pertença a uma corporação privada, sua especificação está disponível gratuitamente e permite que outras ferramentas o implementem. Essa estrutura de armazenamento de dados é composta por um item como indexador (ESRI, 1998).

As coordenadas geodésicas foram observadas com o aplicativo *Google Earth* e foram confirmadas in loco nos respectivos marcos quilométricos do TR. Todavia, para fins práticos, o trecho da rodovia foi definido entre o limite de município de Rancharia (LM-R) e Presidente Bernardes (LM-PB). As coordenadas desses dois pontos também foram coletadas. A Tabela 1 apresenta as coordenadas desses quatro pontos, em SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas/ano de referência 2000).

Tabela 1: Coordenadas geodésicas dos pontos que delimitam o TR

Ponto	Latitude	Longitude
km 493	22°31'37,57"S	50°51'01,02"O
LM – R	22°31'32,31"S	50°51'10,11"O
km 592	22°00'53,46"S	51°36'36,91"O
LM – PB	22°00'53,46"S	51°36'58,22"O

A importação da base da malha rodoviária brasileira foi feita do Ministério do Meio Ambiente (MMA) por download de dados geográficos (<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>). O uso desta base se justifica pelo formato (.shp), disponibilidade, confiabilidade e quantidade dos dados, uma vez que cobre todo território brasileiro, facilitando a edição de acordo com a finalidade do trabalho.

A área que envolve o segmento da rodovia em questão foi selecionada e exportada para uma nova camada (trecho_rodovia). O *shapefile* original do MMA continha toda a malha rodoviária fragmentada em pequenas linhas, que foram transformadas em uma única linha,

operação que gerou um novo arquivo do tipo "ponto" para todo o trecho da rodovia, que por sua vez foi transformado para SIRGAS2000 a fim de padronizar o sistema de projeção das bases. Neste arquivo padronizado foram inseridos pontos de 1000 em 1000 metros, uma vez que os dados de acidentes fornecidos pela PMR correspondem a ocorrências por quilômetro.

As bases referentes aos municípios e limites do estado de São Paulo, também em SIRGAS2000, na escala 1:250.000, atualizadas até 2006, foram baixadas do IBGE (http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm).

No total, foram gerados quatro arquivos: o TR de 99 km; os locais de ocorrência de acidentes (pontos); a base cartográfica do estado de São Paulo; e os limites dos seus municípios. Por fim, as tabelas de atributos quantitativos foram importadas nos respectivos *shapefiles*.

3.3 Análise dos Acidentes

Serão apresentadas, a seguir, a análise da PMR e análise descritiva dos dados.

3.3.1 Análise da PMR

Os dados do período 2007 a 2013 foram cedidos pela PMR e já estavam organizados em cinco planilhas com a hora do acidente, dia da semana, tipo de acidente, tipo de veículo e tipo de vítima, referentes a cada quilômetro cheio da rodovia. O critério de classificação é desconhecido e ao que parece foi empírico e arbitrário, pois atribuiu a cada quilômetro cheio um número inteiro que funciona como indicador de sua severidade, isto é, um tipo de índice de risco de acidente. No segmento em estudo (TR), o valor mínimo foi igual a 0 e o máximo de 144, este considerado o mais crítico.

3.3.2 Análise Descritiva

Uma vez organizados e resumidos, os dados podem ser interpretados e gerar informações sobre o conjunto em análise. Uma das formas de se resumir essa informação é a organização de tabelas de frequências e gráficos. A tabela de frequência relaciona classes de valores, juntamente com a contagem (frequência) do número de dados que se enquadram em cada classe. Essa contagem pode gerar frequências absolutas, relativas e acumuladas relativas

(DAVILA, 2007).

A análise descritiva dos dados foi realizada a partir das planilhas da PMR. O trabalho preliminar visou estabelecer a relação planilha-mapa e levantar os possíveis trechos críticos do segmento, de acordo com as porcentagens das ocorrências.

4. RESULTADOS

Todos os resultados obtidos são descritos e discutidos nessa seção.

4.1 Segmentação do TR

No período em questão, foram registrados 1881 acidentes com 702 vítimas. Essas ocorrências foram subdivididas por tipos de vítima, gravidade, acidente, veículo e dias da semana.

Os 99 quilômetros do TR foram divididos em 10 trechos, apresentados na Tabela 2, com o número de acidentes ocorrido em cada um deles e as respectivas porcentagens em relação ao TR.

Tabela 2: TR segmentado (TS)

TS	Nº acidentes	Acidentes/Total (%)
493 --500	30	1,6
500 -- 510	48	2,6
510 -- 520	82	4,4
520 -- 530	47	2,5
530 -- 540	80	4,2
540 --550	136	7,2
550 --560	157	8,3
560 -- 570	686	36,5
570 -- 580	342	18,2
580 -- 592	273	14,5
Total (99 km)	1881	100,0

Os três últimos TS somam 32 km, ou aproximadamente um terço do TR, e respondem por quase 70% do total de acidentes. O oitavo TS (560-570) recebeu a maior concentração (36,5%).

Ferraz *et al.* (2012) afirmam que a avaliação da segurança de um local deve ser feita com base nos acidentes graves. De uma busca nos registros, os três pontos com a maior quantidade de acidentes graves foram os km 568, 575 e 585, que pertencem aos últimos três TS (Figura 6). O primeiro está no intervalo TS8 e apresentou 89 acidentes com o maior número de vítimas fatais

(6). Os outros dois trechos estão na área rural: TS9 (16 acidentes) e TS10 (11 acidentes), ambos com uma vítima fatal cada.

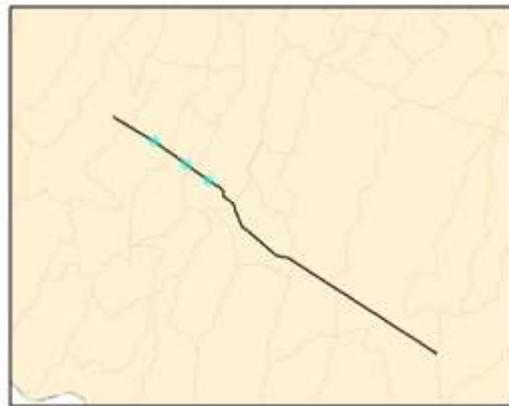


Fig. 6 – Pontos críticos por acidentes fatais; alto: resposta à busca na planilha; baixo: suas localizações em relação ao TR (CHAVES, 2014).

Para fins de aprofundar a análise de melhor resolução e refinamento em busca do trecho crítico (TC), considera-se o TS8 e suas porcentagens de cada tipo de ocorrência em relação ao TR (Quadro 1). No TS8 observam-se quase 40% do total de vítimas envolvidas nos acidentes do TR (44,3% do tipo leve, 31,3% grave, e 33% fatais). No trecho também se encontram 58,3% do total de atropelamento de pedestres e 85,7% dos engavetamentos registrados. É possível observar ainda que cerca de 60% dos acidentes do TR envolvendo ônibus, moto e bicicleta também estão localizados neste trecho de 10 quilômetros (TS8). Por fim, ele também representa em média aproximadamente 40% de todos os acidentes registrados de domingo a sábado.

4.2 Análise Descritiva do TS8

Foram observadas as ocorrências por tipos de vítima, gravidade, acidente, veículo e dias da semana, conforme segue.

Número de ocorrências (Figura 7): o número de acidentes sem vítimas é maior que os que possuem vítima, entre os quilômetros 560 e 565 e também no 570.

Quadro 1: Tipos de acidentes do TS8

Característica do acidente	Dado do acidente	TE em relação a TR (%)
Tipo de vítima	Com vítima	46,0
	Sem vítima	36,2
	Total de vítima	39,8
Gravidade	Leve	44,3
	Grave	31,3
	Fatal	33,8
Tipo de colisão	Traseira	52,2
	Frontal	28,5
	Lateral	49,3
	Outros	30,8
Tipo de acidente	Choque	36,3
	Atrop. Pedestre	58,3
	Atrop. Animais	15,0
	Tombamento	36,6
	Capotamento	45,3
	Sequência	54,5
	Engavetamento	85,7
	Outras	25,2
Tipo de veículo envolvido	Automóvel	32,6
	Camioneta	50,0
	Caminhão	40,0
	Ônibus	66,7
	Moto	64,7
	Bicicleta	66,6
	Outros	100,0
Dia da semana	Domingo	35,5
	Segunda-feira	40,0
	Terça-feira	44,1
	Quarta-feira	39,7
	Quinta-feira	40,9
	Sexta-feira	41,1
	Sábado	37,0

O tipo de colisão frontal tende a zerar após a duplicação do TR e os atropelamentos de pedestres tendem a diminuir após a construção de uma passarela.

Gravidade do acidente (Figura 8): predominam os acidentes do tipo leve, apesar de se constatarem também ocorrências de acidentes grave e fatal. Entre os km 564 e 568 há concentração de ocorrências e a maior aparece próximo do km 569.

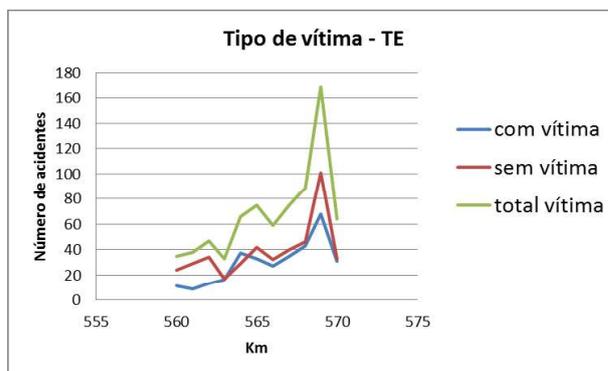


Fig. 7 - Tipificação das vítimas.

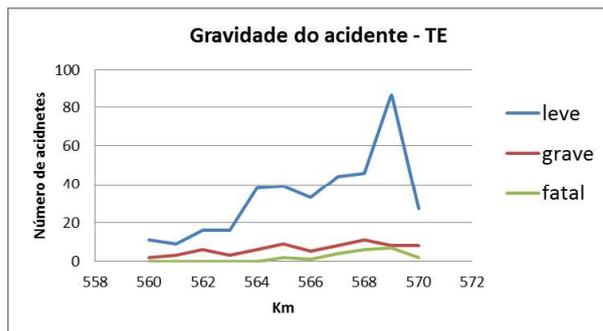


Fig. 8 – Gravidade dos acidentes.

Colisão: até o km 563 (Figura 9), o número de acidentes se mantém menor que no restante do trecho. Depois, ele aumenta nos dois quilômetros seguintes; diminui novamente no km 566 e volta a subir, até que no km 569 atinge o pico. Até aqui, não foram registrados atropelamentos de pedestres. O quilômetro 569, particularmente, a colisão traseira é o tipo de acidente que mais aparece seguido do engavetamento, capotamento e tombamento.

Dos doze tipos de acidentes, cada quilômetro apresentou em média sete tipos e o km 569 apresentou onze.

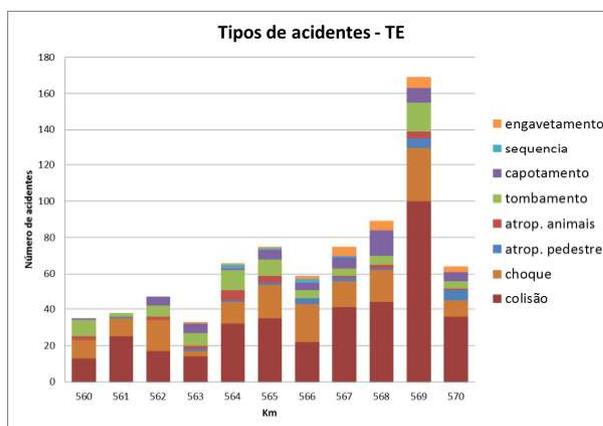


Fig. 9 – Ocorrências de acidentes/km.

Veículos (Figura 10): os automóveis estão envolvidos em 46% dos acidentes, seguidos das motos (30%). Ônibus, caminhões e bicicletas totalizaram 5%.

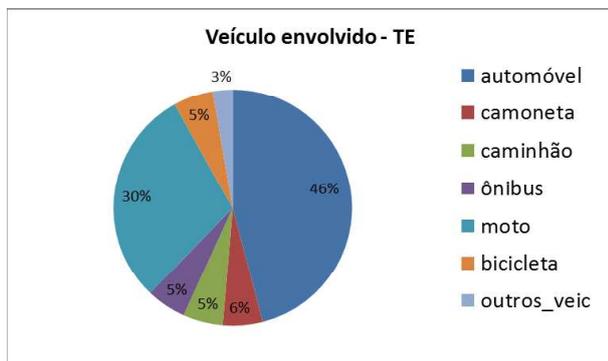


Fig. 10 – Distribuição percentual dos veículos.

A Figura 11 mostra que as ocorrências se concentram entre os quilômetros 564 a 569, que identificam dois trevos de acesso à malha viária da cidade. Aparecem acidentes envolvendo automóveis e motos. A circulação dos moradores na altura deste quilômetro pode explicar o fato de ser o único trecho que envolve bicicletas em acidentes.

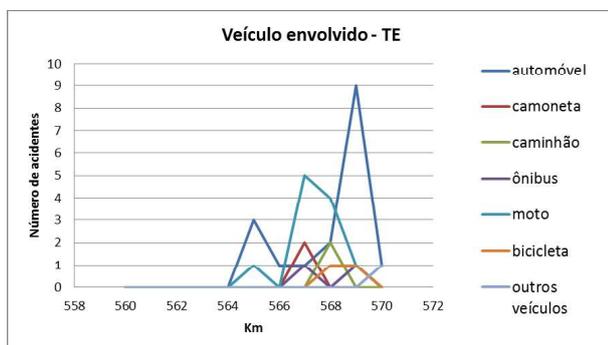


Fig. 11 - Tipo de veículo envolvido/km.

Dias da semana: o domingo é o dia de menor número médio de acidentes no período de estudo; os picos significativos são na terça e sexta-feira, principalmente nos km 565 e 569 (Figura 12).

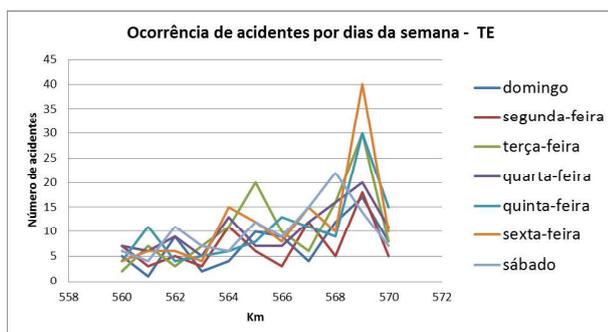


Fig. 12 – Acidentes por dia da semana.

Em síntese, grande parte dos acidentes do trecho é de gravidade leve, com tipo de colisão traseira, engavetamento e capotamento, envolvendo automóveis e motos, nas terças e sextas-feiras. No TS8, os km 568 e 570 passam a representar o aqui denominado TC, porque apresentaram a concentração maior de acidentes. Os resultados estatísticos mostram que o trecho TS8 corresponde a apenas 10% do segmento TR. Picado (2005) relata que entre 15 e 25% do total de acidentes ocorrem em apenas 5 a 10% da extensão da rede viária. TS8 supera as expectativas.

Os números indicaram porcentagens notáveis para esse trecho, caracterizando-o como responsável por cerca de 40% de todos os tipos de ocorrência de acidentes registrados no TR. Concluiu-se também que é necessária a prevenção de atropelamento de pedestres e engavetamento, já que 80% desse tipo de ocorrência se concentra no subtrecho crítico, TC (568-570).

4.3 Representação Cartográfica

Estes resultados estatísticos têm sido apropriados pelos tomadores de decisão. O que se coloca aqui é que as suas análises podem causar maior impacto nos interessados se forem visualizados e representados em mapas. Para isso, é necessário conhecer as características e a situação das rodovias, sobretudo nos seus trechos críticos e alertar o interessado na informação da quantidade de acidentes, severidade e letalidade.

Quadro 2: Índices, cores e classes de risco

Índice	Classe	Cor
0 -- 48	Baixo	Verde
48 -- 96	Moderada	Amarelo
96 -- 144	Crítica	Vermelho

Trechos do segmento receberam as cores verde, amarelo e vermelho, em função do número de ocorrências, conforme a análise das tabelas de estatísticas com a identificação dos quilômetros com os maiores índices de acidentes. A partir da classificação da PMR, intitulada “Distribuição dos pontos críticos da rodovia Raposo Tavares SP-270”, aplicou-se um filtro, também arbitrário ($144/3 = 48$), nos valores referentes ao segmento 493-592. Esta classificação, já introduzida na seção 3.3.1, é rerepresentada no Quadro 2 e Figura

13 com as classes baixa, moderada e crítica.

A escolha das cores para representação das classes de dados se fundamentou na analogia ao significado do padrão universal do sistema de cores verde, amarelo e vermelho nos sinais luminosos de trânsito. Grande parte do TR é classificada como não crítico na cor verde. Entre

os trechos verde e vermelho estão três amarelos, que se caracterizam como trechos de transição e são menores. Por fim, os trechos em vermelho, ou trechos potencialmente críticos pela classificação da PMR, aparecem em três locais, situados nos perímetros urbanos dos municípios de Rancharia, Presidente Prudente e Presidente Bernardes.

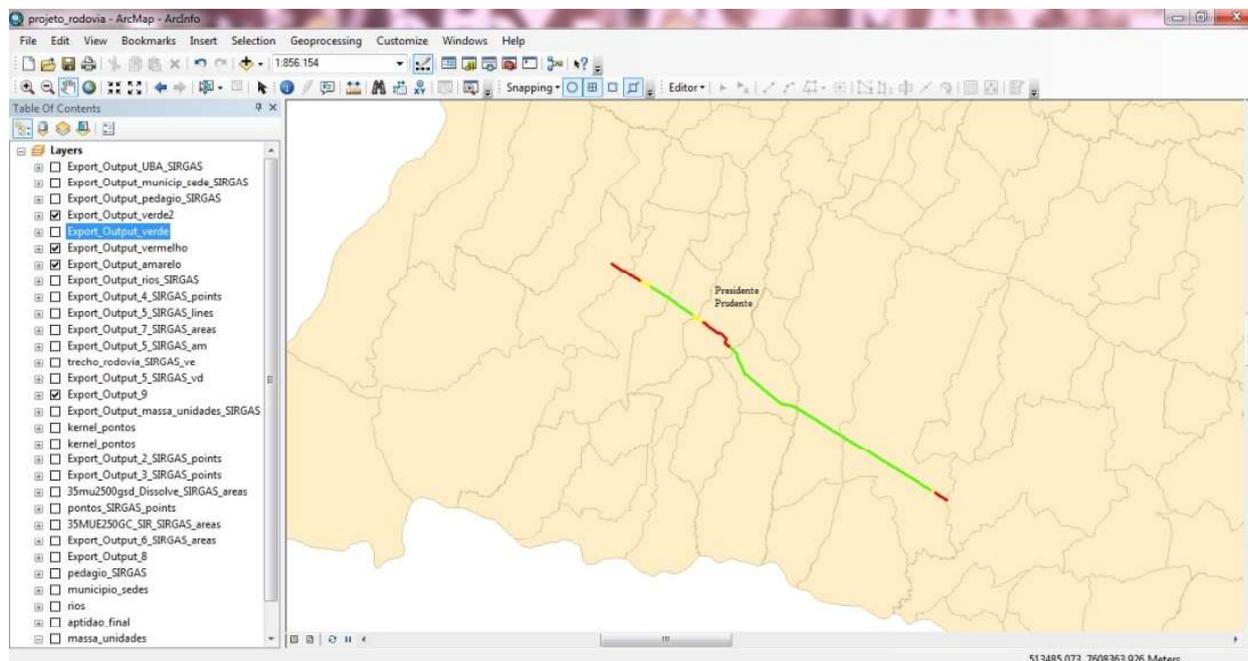


Fig. 13 – Classificação do segmento da SP-270 em trechos baixo, moderado e crítico.

O trecho da rodovia que corta o perímetro urbano de Presidente Prudente apareceu tanto no critério da PMR, quanto na estatística descritiva, e por isso foi considerado como crítico (TC).

4.4 Imagens do Trecho Crítico

Dos três trechos críticos (Figura 13), o mais crítico foi o TC (km 568-570) e nele foi realizado o levantamento móvel em setembro de 2013. A taxa de aquisição das câmeras de vídeo do SMM foi de 2 s. No LaMMov, as imagens foram transferidas para o computador através de uma ferramenta desenvolvida pela MathWorks® para *Matlab* que faz a interface através de uma porta serial via USB (*Universal Serial Bus*) e editadas quadro a quadro (Figura 14).

O resultado do processo proporciona aos interessados, de modo integrado e articulado, os dados tabelados dos acidentes, as informações sintetizadas da análise estatística, a cartografia da rodovia com destaque para os trechos críticos e a visualização dos mesmos por meio das imagens georreferenciadas, com posicionamento

da ordem de 5 m ao longo da rodovia. Embora essa precisão possa ser substancialmente melhorada, é satisfatória na medida em que os dados originais são referidos ao quilômetro cheio. Observar e estudar a rodovia quanto aos aspectos possivelmente causadores de acidentes de uma perspectiva de precisão 5 a 10 m dentro do quilômetro é um grande passo para aprimorar os estudos e análises dos trechos críticos.

Dos fatores potencialmente determinantes de um acidente referentes ao condutor, veículo, condições ambientais e via, esta última contribui com os itens: controle oculto do tráfego (fiscalização eletro-óptica), via molhada ou alagada, desgaste da via, desvio temporário, marcação inadequada, redutor de velocidade, acostamento em desnível ou ausente, obras dentro ou no entorno da via, sinalização defeituosa, precária ou ausente, presença de óleo, areia, barro, sujeira, cascalho na via e o seu traçado. Claro está que são itens de construção, manutenção ou gestão das rodovias que podem ser visualizados nas sequências de imagens obtidas por um sistema de mapeamento móvel.



Fig. 14 - Exemplo de três pares de imagens do trecho crítico mapeado.

De posse dos dados básicos, analisados e interpretados, cabe ao cartógrafo prover a informação qualificada, reiteradamente clamada e reclamada por especialistas em segurança viária. A esses cabe a análise dos fatores contribuintes.

O resultado final é um mapa digital das rodovias com os seus trechos críticos classificados por quantidade de acidentes, severidade e letalidade, nos níveis baixo, moderado, crítico e eventualmente agudo (máximo). Alguns autores recomendam evitar, na categoria mínima, a palavra aceitável por questão de prevenir eventual acomodação ao problema e daí induzir a que se deixe de envidar os máximos esforços no combate a esses danosos eventos. Além disso, será possível associar e representar os prováveis fatores contribuintes em cada trecho.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

São apresentadas nessa seção, as conclusões, discussões sobre limitações e desafios que envolvem o tema em estudo e as propostas para a continuidade da pesquisa.

5.1 Conclusão

A metodologia investigada provou ser eficaz na medida em que produziu um resultado aderente aos dados, os quais já haviam sido interpretados pela PMR. A concordância a respeito do trecho crítico valida, ou melhor, não rejeita o processo de integração dos métodos estatísticos e representação cartográfica do segmento rodoviário estudado.

Os dados originais na forma alfanumérica (quantitativo e qualitativo) foram tratados pelo

método descritivo e classificados arbitrariamente para estabelecer três classes, o que indicou e confirmou o trecho crítico.

A visualização das imagens obtidas do trecho crítico dá aos interessados a oportunidade de análise visual para tomar as decisões cabíveis após associar ao trecho os elementos analisados (rodovia, tipo acidente, dia semana, etc.).

A incidência de trechos críticos de rodovias em áreas urbanas é relativamente comum, como o resultado deste trabalho. A contribuição, no entanto, é a possibilidade de incrementar a análise dos trechos críticos com imagens georreferenciadas. Os agentes responsáveis por suas respectivas instâncias, a saber, os projetistas, os mantenedores, os supervisores, os operadores, os fiscais, enfim quaisquer profissionais que tenham uma parcela mínima que seja na gestão da segurança viária têm condições de praticar análises sobre dados estatísticos e informações georreferenciadas.

5.2 Limitações e Questões Pendentes

A análise descritiva limita-se aos valores originais que em si não têm grande poder de discriminação, posto que esses dados são registrados à escala do quilômetro cheio. Ocorrências mais recentes têm sido estimadas e registradas à fração do décimo do quilômetro.

Há conjecturas que propõem investigar se os acidentes rodoviários obedeceriam ou seriam passíveis de se explicar por meio de relações ou hipóteses associadas ao espaço geográfico. Levine *et al.* (1995), Kim e Yamashita (2002), e Queiroz (2003) vêm comprovando que os acidentes de trânsito são geograficamente dependentes, ou auto correlacionados. Isto exige modelos que considerem a premissa da dependência espacial nos estudos de segurança viária para obter caracterizações espaciais de acidentes. Tal especulação enseja a oportunidade de investigar métodos estatísticos mais refinados quanto à questão espacial, isto é, a estatística espacial.

Além desses, a análise multivariada tem potencial para investigar eventuais correlações entre os fatores qualitativos das diversas variáveis registradas, como os tipos de vítima, gravidade, acidente, veículo e dias da semana (JOHNSON; WICHERN, 2007).

A integração desses dois métodos

estatísticos possibilitará estimar com maior precisão espacial e resolução qualitativa os trechos e locais críticos.

5.3 Próximos Desafios e Projetos Futuros

Com o apoio do sistema móvel, será possível analisar os principais fatores contribuintes dos acidentes nos trechos inferidos, com base na lista de Nodari (2003), que relaciona 297 fatores. Tais trechos críticos, quiçá com precisão da ordem de metros, serão percorridos por um SMM que obterá as imagens georreferenciadas. Essas auxiliarão a análise visual para associar os fatores contribuintes referentes à via não mais ao nível do quilômetro e sim potencialmente a uma extensão de dezenas de metros (abaixo de 0,1 km) de precisão. Ao que se sabe, pelo menos até o momento, esta possibilidade ainda não foi investigada.

Sendo o assunto de natureza complexa porquanto interagem múltiplos aspectos e distintos fatores contribuintes à ocorrência dos acidentes viários, é lógico aceitar que a prova definitiva virá com o tempo, à medida que ações mitigadoras forem tomadas, observadas e analisadas. O comportamento temporal dos dados de acidentes só será investigado se houver a criação e manutenção de bases de dados apropriadas. Essa questão temporal é instigante e desafiadora, face à dinâmica da realidade e a estanqueidade dos dados.

Como a pesquisa científica é um processo iterativo de aprendizagem em que os dados são frequentemente acrescentados ou retirados do estudo, a análise que já é interessante com uma variável, torna-se ainda mais fascinante quando envolve mais de uma. Essa necessidade de entender a relação entre muitas variáveis está ligada à análise estatística multivariada, principal foco de outra etapa da pesquisa.

Em andamento, e já em fase de conclusão, os mesmos dados do trecho rodoviário serão utilizados para a aplicação de dois métodos de estatística multivariada: componentes principais e análise fatorial. A intenção de se trabalhar com as componentes principais é reduzir a dimensão das variáveis originais. Quanto à análise fatorial, de representar adequadamente os dados por um pequeno número de fatores.

Essa pesquisa será útil para o trabalho com os novos dados obtidos junto à PMR, mais

detalhados em relação aos aqui apresentados. Referem-se a segmentos de quatro rodovias estaduais no oeste do estado de São Paulo. Os interessados, sejam os gestores responsáveis, sejam os profissionais técnicos, a própria PMR, outros usuários e até mesmo os condutores, certamente terão com esta metodologia técnica-científica, atualmente em construção, acesso aos documentos georreferenciados, para tomar de decisões de modo a minorar o risco de acidentes viários.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio à pesquisa e bolsa de iniciação científica e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas (PPGCC) pelo suporte no desenvolvimento desta pesquisa.

À Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo, na pessoa do (então) Capitão João Carlos Lemes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTOS, J. T. **Geografia da mortalidade no trânsito no Brasil**. 150p. Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.

BOSSLER, J. D.; GOAD, C.; JOHNSON, P.; NOVAK, K.. GPS and GIS map the nation's highways. In: **GeoInfoSystems**. March, 1991. p. 26-37.

CHAVES, M. D. **Desenvolvimento de um sistema de informações georreferenciadas de segurança viária**. Dissertação, mestrado. 163p. 2014. Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas. Unesp. Presidente Prudente, SP. Disponível em: http://www2.fct.unesp.br/pos/cartografia/docs/teses/d_chaves_md.pdf.

CHAVES, M. D.; SILVA, J. F. C.; SHIMABUKURO M. H. WebSIG/SV: um sistema web de informações georreferenciadas de segurança viária. In: 8º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões, CBR&C e BRASVIAS. v.1, p. 1-11. **Anais...** Santos, 2013.

CNT (Confederação Nacional dos Transportes). **Pesquisa rodoviária 2006**. Disponível em: <http://www.sistemacnt.org.br/pesquisacntrodovias/2006/>. Acessado em: out/2012.

DATASUS. **Estatísticas vitais – 2010**. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0205>. Acessado em: ago/2015.

DAVILA, V. H. L. **Estatística descritiva**. Departamento de Estatística. IMECC. UNICAMP. Campinas, 2007. 60p.

DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito). Ministério da Justiça. **Código de Trânsito Brasileiro**, Lei n.9503, de 23 de setembro de 1997, Brasília, 1997.

DER. Departamento de Estradas de Rodagem – Secretaria dos transportes. **Classificação e codificação de rodovias estaduais**. São Paulo, 2005.

DER. **Serviços online - Web Rotas**. Departamento de Estradas de Rodagem – Secretaria de Logística e Transportes, 2013. Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br/website/Servicos/webrotas.asp> x. Acessado em: mar/2013.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DPRF. Departamento de Polícia Rodoviária Federal. **Acidentes por quilômetro (resumido) – 01/01/2010 a 30/06/2010**. Disponível em: www.dnit.gov.br. Acessado em: out/2012.

DNIT. **Manual de estudos de tráfego**. Ministério dos Transportes – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2006.

ESRI. **Shapefile technical description** - An ESRI white paper, 1998. Disponível em: <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>. Acessado em: nov/2012.

FERRAZ, A. C. P.; RAIA JR, A.; BEZERRA, B.; BASTOS, T.; RODRIGUES, K.. **Segurança viária**. 322p. Suprema gráfica e editora, São Carlos. 2012.

FRANÇA, A. M.; GOLDNER L. G. Caracterização dos acidentes de trânsito em rodovias utilizando um sistema de informações

- geográficas. In: do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, v.1, p.1-20. **Anais...** Florianópolis, 2006.
- GUERRA, H. O. **Análise para o desenvolvimento de um sistema de gerência de banco de dados geográficos de infra-estrutura de transportes.** 179p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Brasília, 2007.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades@.** Disponível em: http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?co_dmun=354140. Acessado em: abr/2013.
- IHT. Guidelines for the safety audit of highways. Institution of Highways and Transportation. International Edition. Londres, Inglaterra, 1996.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis.** 794p. New Jersey: Prentice-Hall, 6th.ed., 2007.
- KIM, K.; BOSKI, J.; YAMASHITA, E. A typology of motorcycle crashes: rider characteristics, environmental factors and spatial patterns. In: **72nd. Transportation research board annual meeting (CD-ROM)**, Washington, D. C., EUA, 2002.
- LABTRANS. **Sistema de georreferenciamento de informações viárias-SGV.** Laboratório de Transportes e Logística, UFSC. Florianópolis, 2013. Disponível em: <http://www.labtrans.ufsc.br/>. Acessado em: mar/2013.
- LEMES, J. C. **Polícia registra 200 multas por excesso de velocidade no 1º dia de operação.** Presidente Prudente: iFronteira. 2011. Disponível em: <http://www.ifronteira.com/noticia-regiao-566>. Acessado em: out/2011.
- LEVINE, N.; KIM, K. E.; NITZ, L. H. Spatial analysis of Honolulu motor vehicle crashes: **I. Spatial patterns.** Honolulu, 1995.
- MT. Ministério dos Transportes. **Programa para de redução de acidentes – procedimentos para o tratamento de locais críticos de acidentes de trânsito.** Brasília, 2002.
- NODARI, C. T. **Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples.** 221p. Tese (Doutorado). Programa de PósGraduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.
- OLIVEIRA, E.B.; BARBOSA, R.L.; GALLIS, R.B.A.; SILVA, J.F.C. Interseção fotogramétrica em um banco de imagens georreferenciadas. In: **Revista Brasileira Cartografia.**, v.55, n.1, p. 62-71, 2003.
- PICADO, J. **Manual la ingeniería de tránsito y la gestion de seguridad vial.** San José, Costa Rica, 2005.
- QUEIROZ, M. P. **Análise espacial dos acidentes de trânsito do município de Fortaleza.** 141p. Dissertação (Mestrado). Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2003.
- SCHOPF, A. R. **Proposição de uma lista de verificação para revisão de segurança viária de rodovias.** 189p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.
- SILVA, J. F. C. ; CRUZ, E.C. ; CHAVES, M.D. ; NETO, M.C.L. ; MELO, E.R. ; SHIMABUKURO, M.H. Aplicações e potencialidades do mapeamento móvel. In: Simpósio Brasileiro de Geomática. p. 175-180. **Anais...** Presidente Prudente, 2012.
- SILVA, J. F. C. ; BLASECHI, V. ; NETO, M.C.L. Integração de sensores passivos para o mapeamento fotogramétrico terrestre móvel. In: Congresso Brasileiro de Cartografia. p. 439-451. **Anais...** Gramado, 2014.
- SILVA, J. F. C. ; CAMARGO, P.O.; GALLIS, R.B.A.; GUARDIA, M.C.; REISS, M.L.L.; SILVA, R.A.C. Mapeamento de ruas com um sistema móvel de mapeamento digital. In: **Revista Brasileira Cartografia**, v. 53; p. 82-91. 2001.
- SILVA, J.F.C.; CAMARGO, P.O.; GALLIS, R.B.A. Development of a low-cost mobile mapping system: a South American experience. **Photogrammetric Record**, v.18,n.101, p.5-26. 2003.