



Solução para Avaliação de Segurança Viária em Rodovias Baseada em Múltiplos Critérios Solution for the Road Safety Evaluation on Highways Based on Multiple Criteria

Vinicius Ferreira Sales¹; Luciany Oliveira Seabra² & Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis³

^{1,3} Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica,
38500-000, Monte Carmelo, MG, Brasil

² Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil, Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica,
38500-000, Monte Carmelo, MG, Brasil

E-mails: kdsalesvinicius@gmail.com; lucianyseabra@ufu.br; rodrigogallis@ufu.br

Recebido em: 22/10/2018 Aprovado em: 21/01/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_708_722

Resumo

A segurança viária é fundamental para que os pedestres e motoristas usufruam das vias. A sua estrutura é baseada em três partes, no qual unidas contribuem para que as vias se mantenham aptas para o uso. A primeira estrutura desse conjunto é formada pela fiscalização, seguida pela conscientização e finalizada por projetos de Engenharia. Os projetos de Engenharia ficam na responsabilidade dos gestores empregarem medidas corretivas, que vislumbrem tratar as localidades em que se apresentam índices de acidentes superiores aos considerados normais. Sendo necessário promover diversas análises para que sejam direcionadas as medidas adequadas a fim de erradicar os problemas vigentes. Este trabalho teve como intuito desenvolver e aplicar uma metodologia capaz de gerar resultados que possibilitem a identificação de medidas viáveis para a melhor tomada de decisão. Elaborou-se um projeto em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) na área de estudo em um trecho da Rodovia federal BR-365 localizado entre os municípios de Monte Carmelo e Patrocínio-MG. De posse do projeto foram aplicados dois modelos contemplados na literatura que viabilizaram a identificação dos trechos críticos, e por meio desse reconhecimento esses trechos foram cartografados com o auxílio de Sistema de Mapeamento Móvel. Mediante o mapeamento dos trechos críticos foram direcionadas medidas mitigatórias como, por exemplo, adequação da sinalização horizontal e vertical com intuito de minimizar as ocorrências. Desta forma, com a aplicação do método proposto foi possível através das informações coletadas, vislumbrar medidas viáveis para melhorar a segurança viária do trecho em estudo, podendo aplicar a metodologia desenvolvida em diferentes cenários.

Palavras-chave: Segurança Viária; Sistema de Informação Geográfica; Sistema de Mapeamento Móvel

Abstract

In order to pedestrians and drivers enjoy roads, road safety becomes essential. Its structure is based on three parts, in which, together, contribute to the track remains fit for use. The first structure of this group is formed by inspection, followed by awareness and completed by Engineering projects. Each structure employs a certain purpose, but all seek the same goal. In Engineering projects, it is the managers' responsibility to employ corrective measures that it intends to treat the locations in which accident rates higher than reality. But in order to achieve this objective, it is necessary to promote various analyzes, so that the best measures are directed to eradicate the existing problems. In view of this impasse, this work is intended to direct a methodology capable of providing products that enable better decision-making. In the first instance, a GIS project was developed for a study region, which in this case was a specific section of the BR-365 located between the municipalities of Monte Carmelo and Patrocínio-MG. In possession of the project, two models contemplated in the literature were applied, which enabled the identification of critical sections and by means of this recognition, were mapped such localities with the aid of the Mobile Mapping System. Through the mapping of the critical sections, mitigating measures were directed, such as, the adequacy of horizontal and vertical signaling in order to minimize occurrences. Thus, with the application of the proposed method, it was possible through the collected information to envisage feasible measures to improve the road safety of the section under study, being able to apply the methodology developed in different scenarios.

Keywords: Road Safety; Geographic Information System; Mobile Mapping System

1 Introdução

Atualmente, a economia brasileira se encontra vinculada ao agronegócio, sendo este setor responsável por gerar grande parte das divisas ao país, dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA (2016) apontam que o agronegócio corresponde à geração de 21% do PIB total. Casarotto *et al.* (2014), afirmam que 60% do escoamento da produção referente a este polo econômico sucede por meio da malha viária existente em todo território nacional, o que promove um intenso fluxo de veículos ao longo das rodovias.

Com isso, surgem problemas relacionados à segurança viária, dentre eles, os acidentes de trânsito. Do ponto de vista numérico, somente no ano de 2014 os acidentes geraram um custo de aproximadamente R\$ 12,3 bilhões, sendo que 64,7% desses custos estavam associados às vítimas, como cuidados com a saúde e perda de produção devido às lesões ou mortes, 34,7% se referem aos veículos como danos materiais e perda de cargas, além dos procedimentos de remoção dos veículos acidentados (IPEA, 2015). Também se ressalta as condições das malhas viárias existentes atualmente. Na década de 60 e 70 permitiu-se, por auspícios da Lei Joppert, que o Brasil construísse toda malha viária existente, com auxílio de investimentos por meio de impostos oriundos da arrecadação de tributos incidentes sobre a propriedade de veículos automotores e por meio do consumo de combustíveis e de lubrificantes (Lee, 2013). Entretanto, com a promulgação da Constituição Federal de 1988, os recursos empregados nesses investimentos foram extintos deixando assim as rodovias brasileiras à deriva de pequenos reparos, com exceção daquelas que foram privatizadas (Lee, 2013).

Apresenta-se a dimensão do problema vigente no país, no qual se encontra uma frota de veículos em evolução com uma malha estagnada no tempo com poucos investimentos que, somente nos anos de 2003 a 2013, é que foram atribuídos 60% do valor desejado (IPEA, 2014). Deste modo, as rodovias que eram consideradas modernas nas décadas de 60 e 70 tornaram-se obsoletas e ultrapassadas, propiciando a formação de locais inseguros nas vias, sendo res-

ponsáveis pelo crescimento do número de acidentes. Apesar das medidas que conduzem à diminuição das ocorrências, como programas de redução ou pequenos investimentos, o número de sinistros ainda persiste, o que faz ser necessária a busca das reais causas. Entretanto, para que isso aconteça de fato é preciso usar de tecnologias que permitam a coleta, processamento e representação de informações espaciais (Batistão *et al.*, 2016).

Tais tecnologias, além de gerar resultados permitem avaliar as informações quantitativas e qualitativas das rodovias, uma vez que, essas informações apresentam grande variabilidade temporal e espacial, podendo sofrer uma modificação em curto período de tempo (Chaves, 2014). Logo, a Cartografia Digital contribui para que essa variabilidade possa ser estudada por intermédio da espacialização desses eventos associados com o cadastro de suas especificidades. Dessa forma, sobre incumbência de um Sistema de Informação Geográficas (SIG), o qual associado a modelos consagrados na Literatura Científica, como por exemplo, os modelos propostos pelo DNER (1986) e DENATRAN (1987), possibilitam identificar os locais inseguros para um posterior mapeamento por meio de um Sistema de Mapeamento Móvel (SMM). Por consequência ocasionaria a geração de produtos cartográficos para que gestores, os usuários em geral e os condutores em particular pudessem conhecer os problemas recorrentes em trechos específicos das vias.

Em consonância ao estudo de identificação e tratamento dos trechos críticos, ferramentas como o SIG e o SMM contribuiriam para que essas intervenções fossem realizadas de modo eficiente, sendo possível coletar, processar e representar dados espaciais relacionados aos possíveis trechos para uma posterior análise com mapeamento móvel. Os resultados gerados pelo SMM viabilizam a proposição das medidas de mitigação nos eventuais locais identificados como críticos para que através do mapeamento destes locais, se possam direcionar medidas corretivas, potencializando assim as reduções na gravidade e no número das ocorrências através da utilização do método para identificar e mapear os principais pontos críticos de um segmento da BR-365.

2 Metodologia

Quando se avalia as causas dos acidentes nas rodovias federais, fica claro que a maioria delas está associada ao fator humano. No entanto, a pesquisa efetuada pela CNT (Confederação Nacional dos Transportes) no ano de 2016, no qual o estudo englobou toda a malha federal mais as principais vias estaduais, constatou que de 58,2% dessas rodovias apresentaram algum tipo de problema no estado geral, cuja avaliação considera as condições do pavimento, da sinalização e da geometria da via. Nesse sentido, considera-se que as deficiências nas vias corroboram para que as causas dos acidentes não sejam somente vinculadas ao fator humano.

Essa baixa qualidade das rodovias está ligada diretamente com o pouco investimento federal ao longo dos anos, em que somente no ano de 2015 foram investidos 0,19% do PIB para o setor viário, enquanto o governo teve que desembolsar o dobro desse valor para ressarcir as vítimas de acidentes apenas na malha federal. O exposto acima apresenta a dimensão do problema. Com esse efeito se faz de extrema importância mapear, identificar e tratar os problemas recorrentes em trechos de incidência de acidentes, os denominados trechos críticos, uma vez que a área de estudo deste trabalho, a rodovia BR-365, serve de rota para o escoamento da produção das regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba para as demais localidades do estado mineiro. O mapeamento foi realizado com um Sistema de Mapeamento Móvel, com um conjunto de câmaras pa-

norâmicas 360° embarcada num veículo automotor com um sistema de navegação para gravar dados de posicionamento. Estes dados foram integrados no SIG Quantum GIS para auxiliar na tomada de decisões. A metodologia utilizada é descrita em detalhes a seguir.

2.1 Área de Estudo

A BR-365 é uma rodovia diagonal federal situada no sudeste do país. Inicia-se na cidade de Montes Claros/MG e termina próximo à divisa entre os estados de Minas Gerais e Goiás. Possui uma extensão total de 888 quilômetros e faz cruzamento com outras rodovias importantes como a BR-040 e a BR-364 (DNIT, 2017).

Em consequência de sua disposição geográfica, a BR-365 é considerada de vasta importância para a região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, pois, serve de ligação entre essas regiões com o Nordeste do país. Nesse sentido, a área delimitada ao estudo é um segmento situado entre os municípios de Patrocínio/MG e Monte Carmelo/MG, entre os quilômetros 473 a 524, conforme mostra a Figura 1. Ao longo desse trecho são encontrados alguns distritos urbanos, postos de gasolina e armazéns de grãos, o que acaba acarretando um tráfego muito intenso de caminhões, que somente no ano de 2015 correspondeu a 30% do volume total de veículos que transitaram na região, de acordo com o Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT).

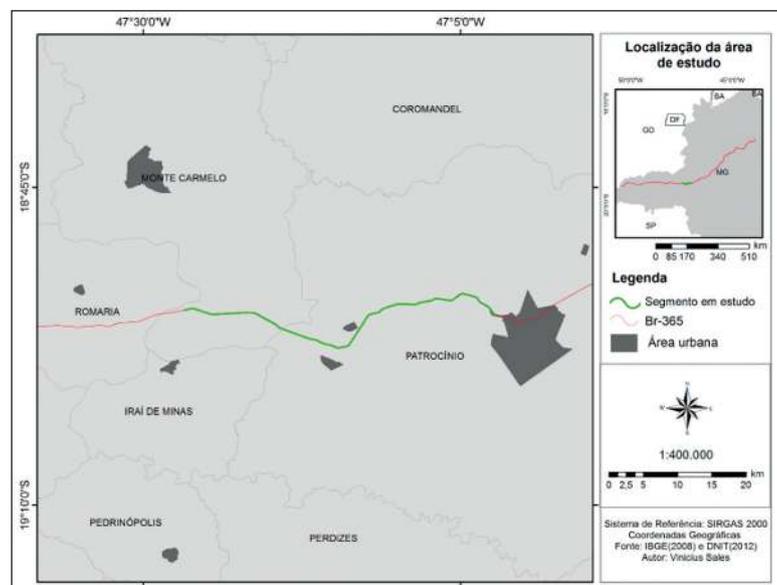


Figura 1 Localização da área de estudo.

2.2 Sistema de Mapeamento Móvel

O mapeamento móvel é um método destinado à obtenção de imagens georreferenciadas ou coordenadas de atributos, com auxílio de uma plataforma móvel, composta por sensores (Silva *et al.*, 2001). Este método propicia aquisição de conjunto de pares de imagens que possibilitam realizar medidas e análises de feições para o mapeamento topográfico, como também uma avaliação da situação das vias de transporte (Oliveira, 2003). É constituído por sensores como receptores GNSS (Global Navigation Satellite System), um sistema de navegação inercial (INS) e vídeo câmaras acoplados em uma plataforma móvel sob os auspícios de um microcomputador (Silva *et al.*, 2001). A Figura 2 retrata a plataforma móvel após instalação do sistema.



Figura 2 Sistema de Mapeamento Móvel.

O receptor GNSS tem a finalidade de promover a identificação da posição do veículo, enquanto INS mede a orientação angular do sensor de imageamento e também complementa as posições quando os dados GNSS estão prejudicados. Enquanto isso, as câmaras têm a responsabilidade de capturar as imagens continuamente ao longo da via (Silva *et al.*, 2001). Barbosa (2006), afirma que o sincronismo dos sensores de posicionamento com os sensores de imageamento permitirá a reconstrução tridimensional de pontos correspondentes nas imagens, uma vez que este sincronismo fornecerá o parâmetro de orientação exterior. Em laboratório são tratados e visualizados os dados levantados em campo. Porém, não é uma tarefa fácil, já que a quantidade de informação é bastante elevada proporcionando um grande esforço computacional (Oliveira, 2003).

A maioria dos benefícios gerados pelo SMM está relacionada com os locais onde a plataforma móvel consegue transitar, como ruas, rodovias, ferrovias e hidrovias e dessa forma é possível mapear e promover aplicações destinadas a essas trajetórias, como também características físicas, como largura das faixas, largura do acostamento, distancia de visibilidade de parada e ultrapassagem no seu entorno (Silva *et al.*, 2012). De acordo com Batistão *et al.* (2016), uma das possíveis contribuições do SMM seria no estudo e diagnósticos aplicados na segurança viária, uma vez que essa tecnologia corroboraria com os diagnósticos das causas dos acidentes nas vias, promovendo benefício pedagógico, social e econômico em prol da segurança nas rodovias. Deste modo, ao associar a plataforma SIG e o SMM proporcionariam técnicas e métodos que viabilizariam análises dos trechos críticos, uma vez que havendo uma plataforma SIG agregada com métodos estáticos e/ou matemáticos forneceria a identificação das localidades, enquanto o mapeamento móvel agenciaria o diagnóstico das possíveis interferências.

2.3 SIG na Segurança Viária

O SIG é aplicado para aqueles sistemas que são aptos a trabalhar com informações geográficas, que permitem selecionar atributos espaciais não apenas por suas coordenadas geográficas ou espaciais, mas também por meio das características alfanuméricas (Câmara *et al.*, 2001). Erdogan *et al.*, (2008), afirmam que os SIGs armazenam um grande número de dados em um banco de dados e associá-los a uma feição cartográfica, possibilitando realizar cruzamentos, visualizações e análises dos mesmos. Em consequência do seu vasto conjunto de utilidades, o SIG vem sendo empregado por vários setores da sociedade, como empresas e órgãos públicos, a fim de promover ações voltadas para o planejamento e uso do solo, análise dos recursos ambientais, avaliações de impostos, análise de bens imóveis, marketing, análise demográfica, estudo de hábitat, análise arqueológica e planejamento na área de infraestrutura e transporte (Badin *et al.*, 2002).

Lopes (2005) menciona em sua obra, que a aplicação do SIG na área de transporte permite a identificação e correção de eventuais erros, que são

causadores de acidentes nas vias. Essa identificação acontece por meio da coleta de dados dos acidentes associados com a localização da ocorrência, que pode ser feita com auxílio de um SMM, como o mapeamento móvel ou/e por posicionamento GNSS. Em complemento a essa informação, Queiroz (2003), afirma que após a entrada dos dados coletados em campo, em uma plataforma de desenvolvimento de SIG é possível averiguar quais são as principais interferências existentes nas vias.

Para Meinberg (2003), a elaboração de um projeto para análise da segurança viária a um SIG, ocorre em três etapas distintas: o projeto conceitual, o projeto lógico e o projeto físico. O projeto conceitual consiste em como será organizado o banco de dados juntamente com a obtenção da base cartográfica, sendo esta definida por mensurações no terreno ou disponibilizada por órgãos responsáveis.

A segunda etapa, que representa a logística do sistema é responsável por associar os atributos analisados, como por exemplo, os acidentes de trânsito, com suas respectivas posições na base cartográfica, referenciada a um sistema de referência. A terceira e última etapa denominada como projeto físico tem como objetivo, visualizar, consultar e propor simulações no intuito de identificar quais os principais problemas nas vias (Meinberg, 2003). Nesse contexto, para Cardoso (1999), o principal motivo para utilização do SIG na segurança viária, deve-se à facilidade na análise espacial para chegar à localização dos trechos recorrentes de acidentes, em diferentes períodos de tempo, a partir de métodos matemáticos e estatísticos que possibilitem essa identificação. Porém, é importante que as informações levantadas para organização do SIG estejam devidamente qualificadas, uma vez que estas devem retratar de maneira aproximada a realidade. Ao diagnosticar os locais que são considerados perigosos, em função de seu número de ocorrências, torna-se importante adotar medidas que busquem solucionar essas necessidades. No entanto, as implantações dessas medidas são feitas com base no tipo de problema encontrado. Dessa forma, é responsabilidade do gestor deslocar-se até os trechos e averiguar os problemas (Schmitz, 2011).

A averiguação das falhas nas vias, na maioria dos casos, se torna algo inviável já que o gestor irá

analisar locais em que o tráfego de veículos é muito intenso, promovendo risco de vida para si e para os outros usuários da via. Nesse sentido, uma maneira plausível para contornar este impasse seria o emprego do SMM, pois, agregaria ao estudo a localização precisa e a visualização de alguns fatores contribuintes de acidentes, como por exemplo, condições da via, sinalização e geometria.

2.4 Identificação dos Segmentos Críticos

Os pontos críticos são denominados como interseções ou trechos em que apresentam um grande fluxo de acidentes, se comparados com os demais trechos ao longo da rodovia (MT, 2002). Em associação a essa definição, o Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN (1987) afirma que os “pontos críticos” ou “pontos negros” são os locais em que ocorrem as maiores taxas de acidentes, sendo considerados como regiões de alto risco que necessitam receber melhorias, a fim de controlar o problema. As identificações dos locais que são considerados inseguros para uma malha viária são feitas a partir de procedimentos que levam em questão a distribuição espacial das ocorrências, no qual estas tendem a acumular-se em trechos específicos da rodovia. A notificação desses acontecimentos procede com a recuperação dos dados dos acidentes e as listagens dos locais (MT, 2002).

No entanto, no Brasil existe uma falta de padrões nos procedimentos de coleta e armazenamento dos Boletins de Ocorrências (BOs), os quais causam muitos transtornos e incoerência na definição exata dos locais, não deixando muito clara a real condição do tráfego, com relação à segurança (PARO, 2009). Deste modo é comum em estudos direcionados a segurança viária a variação de um quilômetro entre as seções, uma vez que os Boletins de Ocorrência não contêm coordenadas geográficas dos locais dos eventos. De acordo com o Manual de Procedimentos Para o Tratamento de Locais Críticos de Acidente de Trânsito desenvolvido pelo Programa Pare sobre os auspícios do Ministério dos Transportes (2002), o reconhecimento dos trechos críticos pode ser realizado de três categorias distintas, que são: Métodos Numéricos, Técnica de Conflitos e Métodos Estáticos.

Dos três métodos apresentados descritos acima, o Método Estatístico é considerado o mais confiável, sendo aplicado em diversos países, principalmente no Brasil, inclusive foi empregado no modelo estático proposto pelo DNER (atual Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT) no ano de 1986. O seu conceito baseia-se em procedimentos matemáticos que levam em questão a probabilidade da ocorrência. Aquele local onde o risco do acidente é maior do que o estimado ou esperado será balizado como críticos.

2.4.1 Modelo para Identificação dos Trechos Críticos em uma Rede de Rodovias (DNER, 1986)

O modelo proposto pelo DNER no ano de 1986, fundamentado em procedimentos probabilísticos, baseia-se na comparação de uma amostra estudada com a probabilidade de ocorrência de um acidente em uma específica seção (j), em um determinado intervalo de tempo (Δt). Caso a probabilidade de ocorrência na seção (P_j) seja superior que o da amostra (λ), a seção é abalizada como crítica (NEA, 2006). As principais causas de ocorrências em vias são motivadas pelos fatores humanos, inadequação dos veículos e das características das vias.

No entanto, a probabilidade de acidentes para os fatores humanos e dos veículos em diferentes trechos detém valores muito próximos. Deste modo, a comparação entre a λ e P_j possibilita averiguar a exposição de acidentes sobre a interferência da via, isto é, aqueles onde existe uma influência do local na ocorrência dos fatos (NEA, 2006). Como forma de avaliar e aferir as probabilidades referente às características da via adota-se uma regra de decisão formulada através de um teste de hipótese, que leva consigo uma distribuição normal (DNIT, 2009). Nesse sentido cria-se as seguintes suposições:

$$H_0: P_j \leq \lambda$$

$$H_1: P_j > \lambda$$

Onde:

H_0 e H_1 : são hipóteses a serem testadas;

P_j : Probabilidade de ocorrer um acidente no trecho (j) em um intervalo de tempo Δt ;

λ : Probabilidade de suceder um acidente na amostra em um intervalo de tempo Δt .

A probabilidade de suceder um acidente no trecho j em estudo é mensurada pela Expressão (1). Essa formulação é definida pelo DNIT (2009), como o índice de acidente do segmento analisado (I_j):

Onde:

$$I_j = \frac{N_j}{m} \quad (1)$$

N_j : Número de acidentes estimados no segmento j; sendo m dado pela expressão (2)

$$m = \Delta t \times \text{VMD}_j \times E_j \times 10^6 \quad (2)$$

Para determinar o valor de “m” é necessário conhecer o tempo de estudo em associação com volume médio diário dos veículos contabilizados no trecho “j”.

Geralmente este intervalo de contagem acontece em um período de 365 dias. Em junção às duas variáveis mencionadas, também se considera a extensão (E_j) do trecho em estudo (NEA, 2006; DNIT 2009). A estimativa estabelecida para determinar a probabilidade da amostra segue a mesma sistemática I_j , porém considera a soma de todos os acidentes que ocorrem em toda extensão de estudo.

A Expressão (3) demonstra essa sistematização.

$$\lambda = \frac{\sum N_j}{m} \quad (3)$$

A decisão de aceitação ou não de H_0 procede-se por meio do índice crítico do segmento em estudo (), no qual esta Expressão (4) é formulada a partir de um nível de significância (α) através da aplicação do coeficiente Z e da probabilidade de ocorrência na amostra () (NEA, 2006).

$$I_{C_{1-\alpha}} = \lambda + \left(z_{1-\alpha} \sqrt{\frac{\lambda}{m}} \right) - \frac{0,5}{m} \quad (4)$$

O valor de Z é estimado com auxílio da tabela da curva normal, em relação ao nível de confiança que se deseja trabalhar. A Tabela 1 apresenta alguns valores dos coeficientes referentes ao seu nível de significância.

	α	Z
Tabela 1 Nível de significância e seus valores correspondentes do coeficiente estático. Fonte: DNIT (2009)	0,10 ou 10%	1,282
	0,05 ou 5%	1,645
	0,01 ou 1%	2,33
	0,005 ou 0,5%	2,576
	0,001 ou 0,1%	3,0

A identificação dos trechos críticos definidos pelo modelo proposto pelo DNER (1986) seguem os seguintes procedimentos: devem-se selecionar aqueles segmentos que detêm o mesmo volume de tráfego e mensurar o valor do índice críticos em estudo (IC); promover a segmentação desse local a cada quilômetro e estimar o valor do índice de acidente de cada seção (Ij), por fim, comparar os valores das duas premissas obtidas. Aquelas seções que possuírem $Ij \geq IC$ serão balizados como críticos. O DNIT (2009) sugeriu uma categorização dos trechos críticos, sendo essa classificação promovida com auxílio do nível de significância, criando assim, etapas de criticidade para cada trecho. A Tabela 2 demonstra esta categorização.

Intervalos entre Graus de Confiança ($1 - \alpha$)	Categorização
$Ij < (IC_{1-0,10})$	Segmento não é Crítico
$(IC_{1-0,10}) < Ij < (IC_{1-0,05})$	Segmento Crítico (levemente significativo)
$(IC_{1-0,05}) < Ij < (IC_{1-0,005})$	Segmento Crítico (significativo)
$Ij > (IC_{1-0,005})$	Segmento Crítico (altamente significativo)

Tabela 2 Categorizações das seções. Fonte: DNIT (2009)

2.4.2 Modelo para Identificação dos Trechos Críticos em Função da Taxa de Severidade dos Acidentes (DENATRAN, 1987)

No ano de 1987, o Departamento Nacional de Transporte elaborou o “Manual de Identificação”, Análise e Tratamento de “Pontos Negros”, propondo assim uma maneira de determinar e tratar as seções da malha viária consideradas críticas em função das ocorrências de acidentes. O manual sugere que a identificação das localidades leve em conta a severidade dos acontecimentos, e que estas sejam dimensionadas segundo a Unidade Padrão de Severidade (UPS).

A UPS equivale a uma resultante da soma dos produtos do número de ocorrências com os pesos atribuídos para cada situação. Estes pesos foram constituídos a partir da comparação entre o custo econômico com a gravidade do acontecimento, conforme indicado na Tabela 3.

Em um contexto social, os acidentes contendo vítimas obtêm um valor superior a uma ocorrência

notificada somente com feridos, e esta por sua vez possui custo superior àquelas que sucederam apenas danos materiais (MT, 2002).

Gravidade do Acidente	Sigla	Peso
Acidentes somente com danos materiais	ADM	1
Acidentes com feridos	ACF	5
Acidentes com vítimas	AVF	13

Tabela 3 Peso de referência para cálculo de UPS. Fonte: DENATRAN (1987)

Brandão (2008) discorre em sua obra, que a verificação dos pesos dos acidentes totalizados por local, ao serem espacializados em um mapa, facilita em apontar quais são os locais que possuem uma maior carência na segurança. Dessa forma a Expressão (5) permite mensurar qual é o valor em UPS para cada região.

$$UPS = (ADM \times 1) + (ACF \times 5) + (AVF \times 13) \quad (5)$$

Como já mencionado, este modelo associa a gravidade dos fatos com volume de tráfego, uma vez que o número de acidentes apresenta uma forte relação de proporção com a quantidade de veículos que circulam (SCHMITZ, 2011). Nesse sentido o DENATRAN (1987) se propôs a mensurar a Taxa de Severidade de Acidentes (R) levando em consideração o Volume Médio Diário de Veículos (VDM), a extensão do trecho (E) em quilômetros e o Período de Estudo (P), normalmente de 365 dias. A Expressão (6) retrata como é determinado o valor de R.

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

Para detectar os trechos considerados críticos pelo modelo da Taxa de Severidade levam-se em questão os seguintes procedimentos: mensurar os valores de R para cada trecho já pré-definido na malha; calcular a Taxa Média de Severidade dos acidentes para toda área de estudo e selecionar aquelas localidades que seus valores de R forem superiores ao valor médio.

Após a seleção, desconsiderar os locais cuja frequência de acidentes seja menor ou igual a três, exceto aqueles trechos com registros de pelo menos um óbito. Por fim determinam-se quais locais serão classificados como críticos. Após a identificação dos trechos críticos, bem como sua classificação quanto

ao grau de severidade e características da ocorrência do acidente é fundamental que tais locais recebam um tratamento específico com medidas mitigatórias visando à redução de acidentes.

3 Resultados e Discussão

De posse dos trechos críticos realizou-se o levantamento com o SMM em campo, com intuito de promover as investigações dos principais problemas que influenciam para que essas localidades sejam classificadas como críticas. O carro foi preparado para receber uma estrutura metálica que serviu de suporte para a câmara digital esférica Ladybug 5® juntamente com um receptor de simples frequência com o objetivo de coletar as coordenadas bem como o receptor para o georreferenciamento das imagens. Para o armazenamento desses dados, como também das imagens, um computador embarcado no interior da plataforma móvel auxiliou na memorização e sincronismo das informações. Desse modo, o SMM registrou os quilômetros reconhecidos como críticos na fase de identificação.

A partir de vídeos georreferenciados foi possível realizar a espacialização das informações levantadas e visualizar as feições da rodovia. Ainda com auxílio desses mesmos vídeos foi possível identificar as coordenadas das placas quilométricas para uma posterior correção da base cartográfica. Com intuito de otimizar a etapa de diagnóstico, foi

desenvolvido no compilador Python (xy) uma rotina computacional para cadastrar características acerca da rodovia e trechos críticos, associadas ao quilômetro e também a localização por meio dos resultados gerados pelo SMM.

3.1 Identificação

Através dos registros de acidentes, no período de 2014, 2015 e 2016 foram contabilizados 147 acidentes em uma faixa de 52 quilômetros. As informações referentes a esses registros foram extraídas dos BOs e posteriormente tratadas, uma vez que estas não se encontravam no formato alfanumérico. Os dados de acidentes, associados ao VMD (Valor Médio Diário) resultaram na Tabela 4, apresentada a seguir.

	Crescente	Decrescente	Total
2014	3560	3935	7495
2015	3529	3780	7309
2016	3596	3733	7329
Média	3562	3816	7378

Tabela 4 Volume Médio Diário VMD. Fonte: PNCT

Com a aquisição das informações alfanuméricas e com a obtenção da base cartográfica, foi realizada a segunda fase do trabalho que é o projeto lógico. Nessa etapa foram feitas as associações entre os dados gráficos e numéricos, organizando assim o SIG referente à rodovia, conforme mostra a Figura 3.

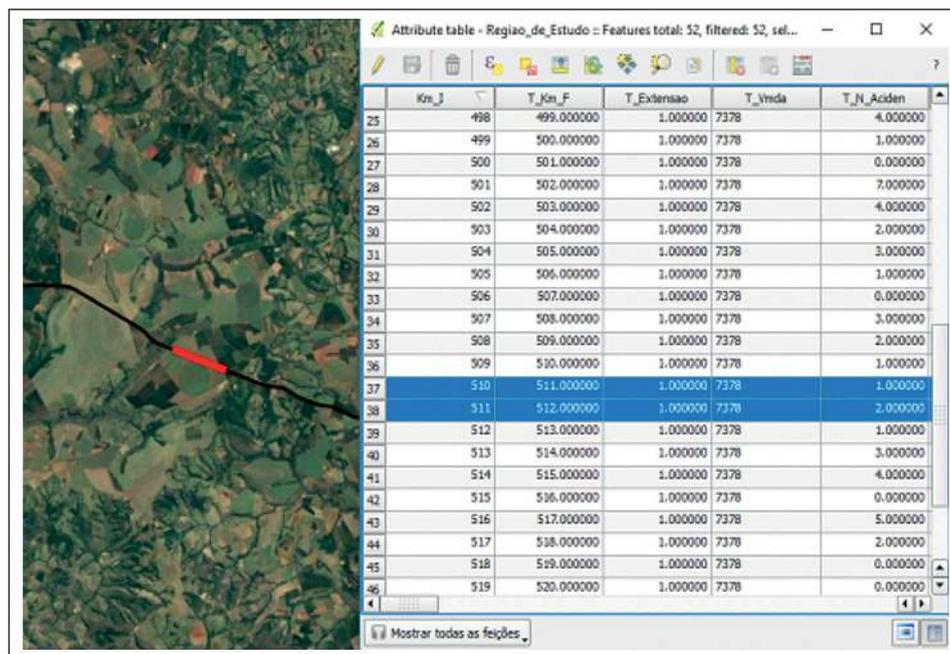


Figura 3
 SIG Referente a
 Região de Estudo

De posse do sistema estruturado foram realizadas operações lógicas, a fim de proporcionar uma primeira análise da rodovia estudada. Dessa análise foi possível observar que 41.50% das ocorrências envolveram apenas acidentes com danos materiais, 53.06% envolveram feridos, e 5.44 % detiveram de vítimas fatais. As vítimas envolvidas nos acidentes totalizaram 355 pessoas, no qual 51.83% saíram ilestras, 44.23% feridas e 3.94% vítimas fatais. Destes acidentes, a maioria foi motivada por colisão traseira correspondendo a 29.93% dos acidentes, a saída da pista representa 25.85% e colisão transversal são aproximadamente 14.29% das demais eventualidades.

Observa-se que os dois tipos de acidentes mais recorrentes na região de estudo referem-se à colisão traseira e saída de pista, percebe-se que existe uma predominância nesses tipos de eventualidades em relação aos outros acontecimentos. Essa diferença pode ser atribuída ao fato de que a rodovia estudada é predominantemente formada por grandes trechos em tangentes seguida de curvas acentuadas com poucos locais com áreas de acostamento adequados. De acordo com Gold (1998), essas características são percebidas em tipos de ocorrências que envolvam acidentes específicos como: colisão traseira e saída de pista, justificando assim o elevado número de ocorrências nessas condições. Os acidentes caracterizados como colisão transversal são observados em cruzamentos de uma ou mais rodovias. Devido à complexidade dos movimentos e o alto número de conflitos estão propícios a provocarem mais acidentes, pois, podem influenciar em falhas humanas (Branco,1999).

No trecho em estudo são encontrados alguns cruzamentos com pouca sinalização, o que justifica a frequência de tal ocorrência. Em relação às condições climáticas, constatou-se que 68% dos registros efetuados apresentavam condições boas, em 17% chovia no momento, 9.5% afirmaram que existia neblina na pista e 4.6% informaram outro tipo de condição climática. Desse modo é válido afirmar que os fatores climáticos representaram baixa influência no número de acidentes na área de estudo, já que a maioria dos sinistros ocorreu com tempo bom.

3.2 Trechos Críticos

Na Figura 4, podem ser observados os segmentos críticos obtidos por intermédio do modelo

do DNER (1986). Destaca-se que tais trechos foram classificados de acordo com seu nível de significância, como pode ser constatado na Tabela 1. Ao todo foram identificados onze trechos críticos, sendo seis classificados como Levemente Significativos, três Significativos e dois, Altamente Significativos.

Por meio do modelo desenvolvido pelo DENATRAN foi obtido uma Taxa de Severidade média de 8.219. Mediante a este valor foram analisados os 52 trechos, no qual 18 detiveram valores superiores ao valor médio. Entre os 18 trechos selecionados, todos apresentaram acima de três acidentes ou continham vítimas fatais. Desse modo, o modelo considerou os 18 trechos como críticos, conforme pode ser verificado na Figura 4. Em ambos os modelos empregados neste trabalho, ou seja, o modelo do DENATRAN (1987) e DNER (1986), percebe-se que os locais críticos são determinados a partir da comparação de padrões de referência, onde as localidades que apresentaram valores superiores ao valor preestabelecido devem ser averiguadas, pois podem estar colocando a vida de usuários em risco. Pelo modelo DENATRAN (1987) notou-se que a sua estimativa é feita a partir do nível de periculosidade das ocorrências em cada trecho.

No entanto, este modelo detém desvantagem, pois os dados dos acidentes não são correlacionados com os dados hospitalares. Deste modo, não se têm registros da situação do usuário após o evento do acidente, interferindo assim nos resultados encontrados pelo modelo. Apesar da situação supracitada, este modelo beneficia-se no tratamento dos trechos que são os maiores causadores de fatalidades. O modelo do DNER (1986) considera a probabilidade de maior risco de acidente e identifica os trechos de maior índice esperado ou estimado. Em vista destes fatos, este modelo torna-se mais favorável na estimativa dos trechos críticos, já que a partir da sua aplicação é possível identificar quais as regiões que necessitam serem atendidas, a fim de reduzir o número de ocorrências de acidentes na rodovia.

Em posse dos resultados encontrados pelos dois modelos foi feita uma comparação que considerou os trechos comuns. No entanto, devido o esforço computacional para operacionalização cartográfica

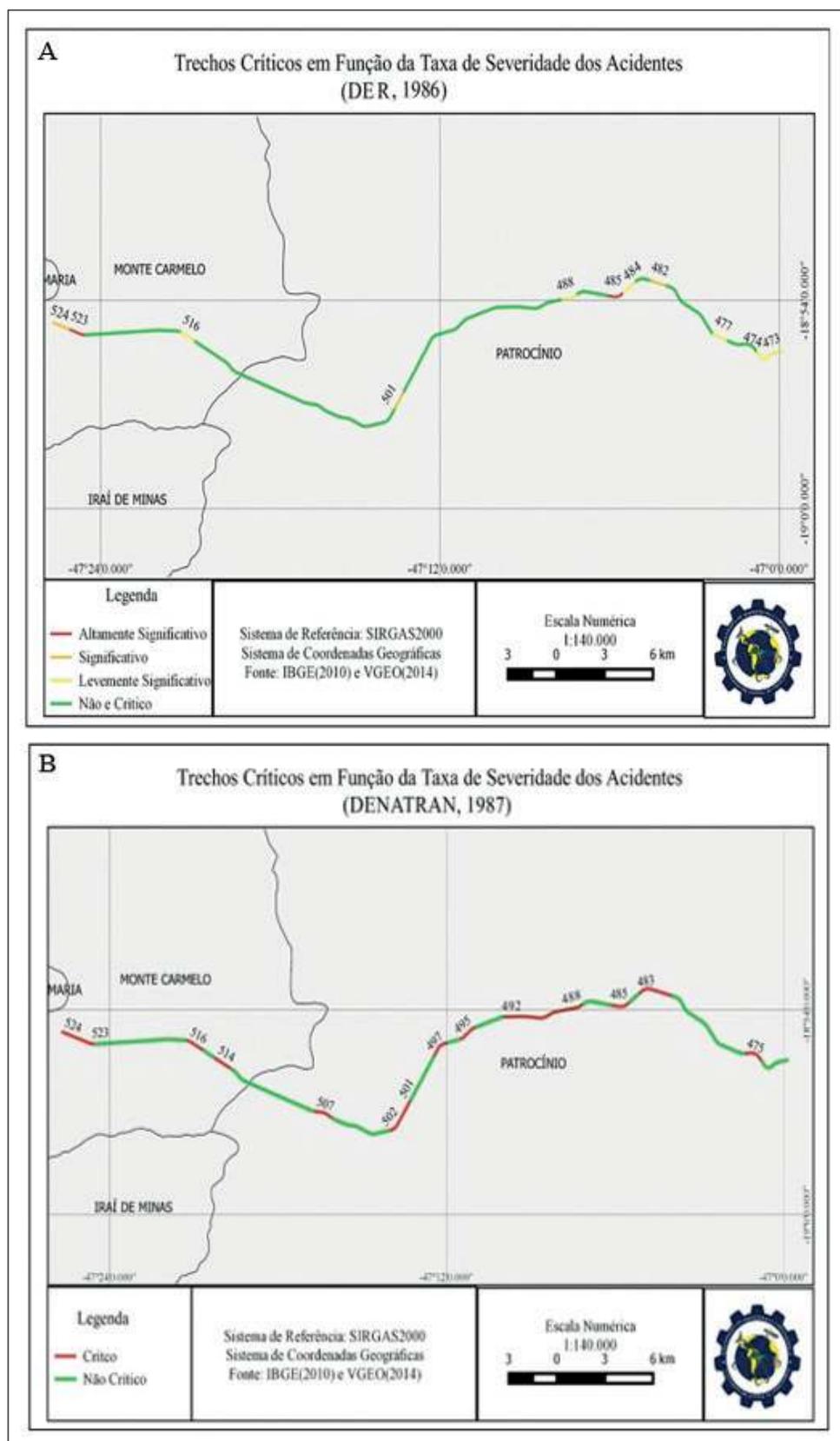


Figura 4 Identificação dos Trechos Críticos pelos modelos: A- DNER (1986) e B-DENATRAN (1987)

destas localidades, foram selecionados somente os trechos classificados com ocorrência “Significativas” e “Altamente Significativas”, de acordo com DNER, destacado na Tabela 6.

DENATRAN (1987)	DNER (1986) Trechos Significativos	Trechos Selecionados
475; 482; 483; 485; 488; 489; 490; 491; 492; 495; 497; 501; 502; 507; 514; 516; 523; 524	482; 485; 501 523; 524	482; 485; 501 523; 524

Tabela 6 Comparação e Identificação dos Trechos Críticos

3.3 Diagnóstico

Após a identificação dos trechos balizados como críticos realizou-se o registro fotográfico destas localidades. O levantamento, realizado com o SMM ocorreu no dia 13 de novembro de 2017 no período da tarde, com condições climáticas ideais. Foram mapeados os trechos dos quilômetros 523 e 524, localizados entre uma interseção em nível que liga a MG-223 a BR-365. Concluído o levantamento desses trechos foi percorrida uma seção de 22 km até o trecho do quilometro 501, onde no qual também foram registradas as suas características físicas. Por fim, foram capturadas as imagens dos quilômetros 485 e 482, finalizando assim o trabalho de campo. A Figura 5 traz o registro das placas de identificação em diferentes momentos dos trechos mapeados.



Figura 5 Trechos Mapeados

Na etapa de processamentos das informações foi utilizado o software Point Grey Cap Pro. Esta plataforma serviu para a captura e georreferenciamento das imagens em campo, e posteriormente auxiliou nas vistorias de algumas características técnicas de projetos de rodovias, como longos trechos em tangentes, largura das plataformas, distancia de visibilidade de parada e ultrapassagem e condições da sinalização vertical e horizontal.

Mediante os produtos gerados, promoveu-se o cadastro das características técnicas nos trechos utilizando as imagens panorâmicas 360°. Por intermédio do executável compilado, contendo os questionários quanto ao numero de faixas, tipo de traçado (curva ou em tangente), condição de pavimento, condição de sinalização e condições de visibilidade de parada e ultrapassagem foram cadastradas as principais interferências averiguadas e por meio das coordenadas registradas foi promovido o georreferenciamento direto da base cartográfica. Na Figura 6 é possível constatar como foi realizado o cadastro das características de cada trecho.

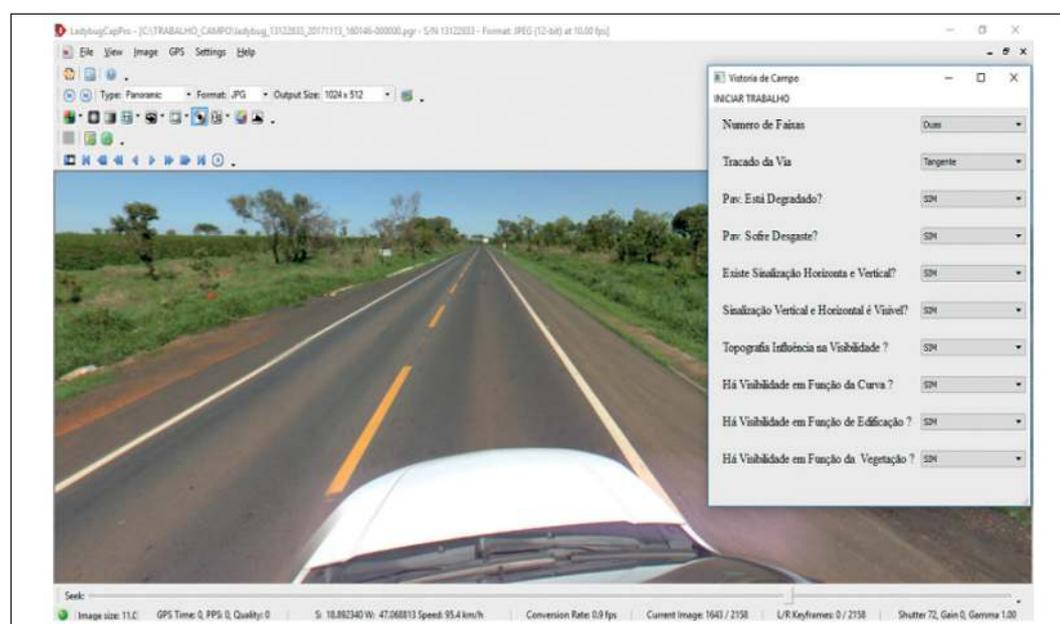


Figura 6 Cadastro das Características técnicas dos Trechos Mapeados

De modo geral, percebe-se que o SMM além de ser uma tecnologia moderna e acessível pode contribuir para promover diversos estudos também nas áreas sociais e ambientais, através do levantamento de dados georreferenciados que permitem análise por exemplo de existência de passivos ambientais ao longo de rodovias assim como na utilização dos dados para melhoria da segurança viária. Essa ferramenta se destaca principalmente em análises voltadas para segurança viária, já que os resultados obtidos em campo asseguraram na identificação exata de pontos críticos e viabiliza a melhor tomada de decisão e melhoria nos processos de manutenção e obras viárias pelos órgãos gestores.

3.3.1 Quilômetro 482

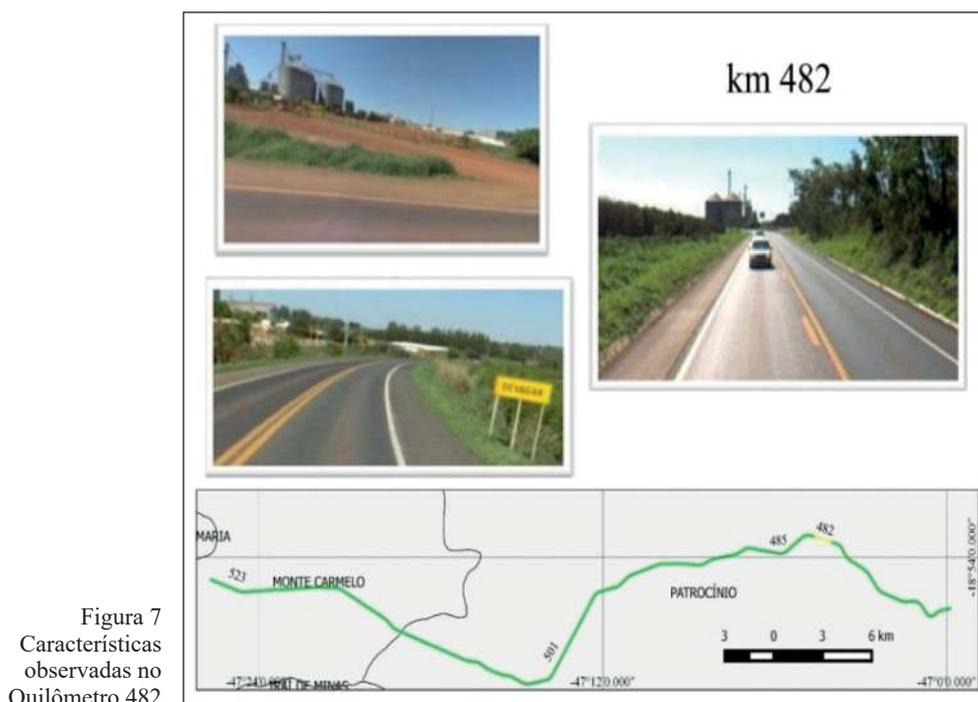
O quilômetro 482 trata-se de um segmento em tangente. Nele houve uma maior incidência de acidentes envolvendo colisão transversal e saída de pista. Verifica-se que os acidentes caracterizados como saída de pista podem ter sido causados por manobras de ultrapassagem indevidas. Além disso, este quilômetro é finalizado por um segmento em curva próximo a um armazém de grãos, o que acarreta no tráfego de caminhões de grande porte em ambos os

sentidos. Na Figura 7 é possível observar as características averiguadas.

Com base nas informações presentes no SIG constatou-se que 75% das ocorrências sucederam no sentido decrescente da quilometragem da rodovia, no qual nesse sentido é possível notar, por meio das imagens, a proximidade da vegetação com a pista de rolamento, implicando na distância de visibilidade dos motoristas na curva, influenciando assim nas ocorrências do tipo colisão transversal, já que nas proximidades existe o tráfego de caminhões, proporcionado pelo armazém. Quanto aos demais problemas abordados também verificou-se que: a sinalização é visível, porém insuficiente e a vegetação influencia na visibilidade da curva, existência de acessos ligando as estradas rurais, no entanto não existem placas de sinalização notificando a presença dos mesmos.

3.3.2 Quilômetro 485

O Km 485 é uma faixa composta por uma seção em tangente seguida de uma curva. No trecho também se encontra um acesso que liga a BR-365 à estrada municipal PTC-370. Dos tipos de acidentes averiguados nesse trecho foram constatados somen-



te dois tipos de ocorrência, sendo os do tipo saída de pista com o maior número de frequência, seguido dos acidentes do tipo colisão traseira.

De posse das cenas registradas em campo, é possível averiguar que na região curva do trecho a sinalização horizontal encontra-se devidamente instalada. Entretanto, percebeu-se que a sinalização vertical se encontra insuficiente, já que como se trata de uma seção em curva não foram instaladas placas de advertência da curva. Outro ponto observado foi a velocidade máxima permitida no local de 100 km/h. Porém, como trata-se de uma seção em curva, essa velocidade pode indicar a necessidade de uma revisão deste limite constatada pela quantidade de acidentes do tipo saída de pista. Entretanto, essa afirmativa só será confirmada por meio de estudos complementares. Na Figura 8 é possível averiguar as análises observadas. Quanto aos problemas abordados referentes a este trecho, também foi constatada a insuficiência de sinalização vertical. A curva propicia a falta de visibilidade na pista.

3.3.3 Quilômetro 523

Dos cinco trechos investigados, este quilômetro foi considerado o mais crítico. É constituído somente por seções em tangente, porém, entre os tre-

chos em reta existe uma interseção em nível, que une a MG-223 a BR-365 (Figura 9). A interseção em si é formada por duas semicircunferências divididas pela BR, na qual os motoristas que trafegam pela MG-223 necessitam parar e observar, antes de convergirem com intuito de adentrarem a rodovia federal ou continuarem seu trajeto.

No entanto, percebe-se que para veículos muito longos como é o caso de carretas ou caminhões a travessia torna-se mais arriscada, já que ao cruzarem a interseção, ocupam fisicamente espaços iguais ao comprimento total da pista, podendo assim acarretar riscos para os veículos que trafegam no sentido ortogonal. Das informações levantadas por meio do SIG, identificou-se que 70% das ocorrências registradas foram do tipo colisão transversal. Como não foi encontrado qualquer tipo de cruzamento nas redondezas, espera-se que essas ocorrências se devam as características físicas da interseção existente. Desse modo, se faz necessário que seja aplicada medidas que possam reverter a situação iminente.

4 Conclusões

O trabalho abordou a segurança viária por meio da análise dos segmentos críticos de rodovias,

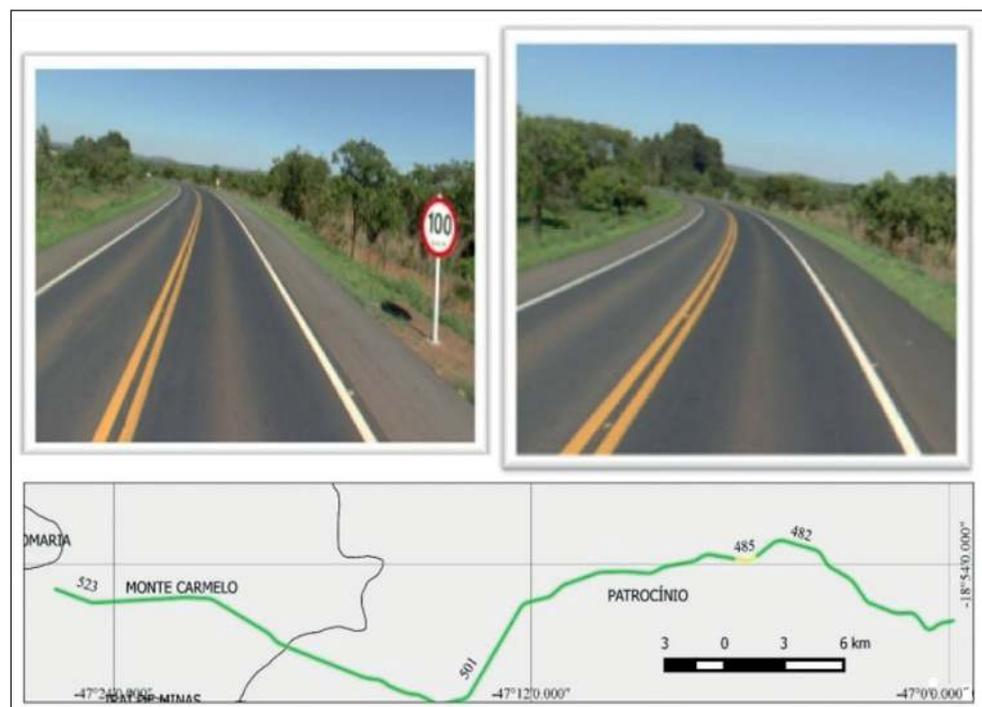


Figura 8
Características
observadas no
Quilômetro 485

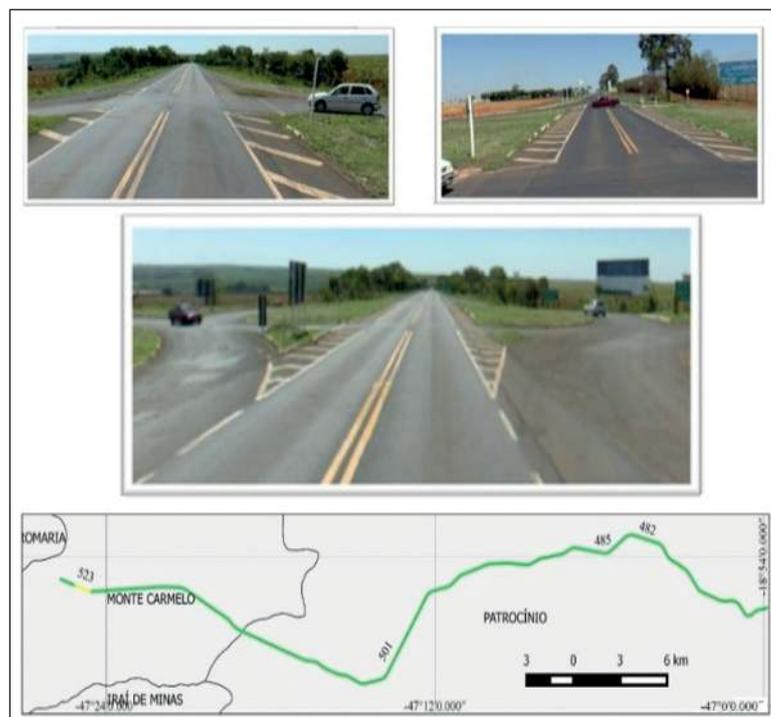


Figura 9
Características
observadas no
quilometro 523

resultado da aplicação de geotecnologias como o sistema de mapeamento móvel dotado de sensor de imageamento panorâmico 360°, o sistema de informação geográfica utilizado para análises voltadas para identificação e diagnósticos dos possíveis problemas. Para tal, desenvolveu-se uma metodologia que viabilizasse a identificação e espacialização dos trechos críticos como também a análise dessas localidades possibilitando a visualização de um cenário real dos problemas existentes e definição de solução para os acidentes.

Em primeira instância notou-se que a elaboração do SIG viabilizou a realização de análises mais aprofundadas, por meio de consultas e comparações, que permitiram evidenciar as reais características geométricas e físicas da região de estudo. Ainda sobre os auspícios do sistema criado, associados com modelos consagrados na literatura atualmente, os modelos concebidos pelo DENATRAN 1987 e DNER 1986, foi possível a identificação dos trechos críticos em mapas temáticos que enfatizaram a posição geográfica desses locais. Mediante os quilômetros classificados como crítico, o SMM corroborou para que o registro georreferenciado dessas localidades fosse feita de forma segura e ágil, sem a necessidade de levantamentos de campo realizados no local, por exemplo, levantamentos topográficos onde os pro-

fissionais estejam expostos a riscos de atropelamentos, pois a coleta realizada no trajeto foi feita com o equipamento embarcada no veículo. Todos os dados foram coletados com os sensores embarcados no veículo, proporcionando segurança e agilidade na coleta. Além do mais, os produtos gerados permitiram que análises voltadas para segurança viária fossem feitas de forma mais coesa e precisa, propiciando a melhor tomada de decisão para os gestores.

A metodologia elaborada mostra-se adequada, já que foram possíveis identificar e mapear os principais pontos críticos de um segmento da BR-365 possibilitando definição de melhorias na segurança viária. Os produtos concebidos referentes à região de estudo possibilitaram identificar os locais de grande recorrência de acidentes, como também diagnosticá-los, e por fim foi possível vislumbrar as medidas de baixo custo, com intuito de minimizar as ocorrências nos quilômetros 482, 485 e 523 da BR-365.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro através do Processo 483413/2012-7: Integração entre imagens panorâmicas 360° terrestres e imagens orbitais de alta resolução no apoio a levantamento de passivos ambientais e locais propícios a

impactos ambientais em rodovias e a CAPES pela concessão de Bolsa de Estágio Sênior no Exterior (Processo 99999.002696/2015-00).

6 Referências

- Badin, N.T.; Manique Junior, T.; Bastos, L.C.; França, R.M. & Olah, W. 2002. Utilização de um sistema de informação geográfica para planejamento e gerenciamento de placas de sinalização viária: Estudo de caso em Joinville. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22, 2002, Curitiba, *Anais*, p. 1-8.
- Barbosa, R.L. 2006. *Caminhamento fotogramétrico utilizando o fluxo óptico filtrado*. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, Tese de Doutorado, 118 p.
- Batistão, M.C.; Tachibana, M.V. & Silva, J.F.C. 2016. Mapeamento de trechos rodoviários críticos. *Revista Brasileira de Cartografia*, 68(4): 863- 877.
- Branco, A.M. 1999. *Segurança Rodoviária*. CL-A Cultural, São Paulo, 109 p.
- Brandão, L.M. 2008. *Medidores eletrônicos de velocidade. Uma visão da engenharia para implantação*. Editora Perkons. 148 p.
- Câmara, G.; Davis, C. & Monteiro, A.M.V. 2001. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos, SP. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Apostila. 345 p. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html>>. Acesso em 4 de maio de 2017.
- Cardoso, G. 1999. *Utilização de um sistema de informações geográficas visando o gerenciamento da segurança viária no município de São José – SC*. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Santa Catarina, Dissertação de Mestrado, 134 p.
- Casarotto, E.L.; Ruhoff, M.R.; Silva, M.V. A. P. & Zago, H.C.S. 2014. Análise situacional das rodovias federais no Mato Grosso do Sul. *Comunicação & Mercado*, Dourados, 3(7): 4-15.
- Chaves, M.D. 2014. *Desenvolvimento de um sistema de informações georreferenciadas para segurança viária*. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente. Dissertação de Mestrado, 81 p.
- CEPEA. 2016. PIB do Agronegócio. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Relatorio%20PIBAGRO%20Brasil_OUTUBRO.pdf>. Acesso em :7 jan. 2017.
- DENATRAN, 1987. *Manual de Identificação, Análise e Tratamento de Pontos Negros*.
- DNER, 1986. *Um Modelo para Identificação dos Segmentos Críticos de uma Rede de Rodovias*.
- DNIT, 2009. *Produto I - Metodologia para Identificação de Segmentos Críticos*. Florianópolis. 65 p.
- DNIT, 2017. *Plano Nacional de Contagem de Tráfego*.
- Erdogan, S.; Yilmaz, I.; Baybura, T. & Gullu, M. 2008. Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. *Accident Analysis and Prevention*, 40: 174-181.
- IPEA, 2015. *Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais Brasileiras Caracterização, Tendências e Custos Para a Sociedade*. Relatório de Pesquisa. Brasília-DF, 42 p.
- IPEA, 2014. *Investimentos na Infraestrutura de Transportes: Avaliação do Período 2002-2013 e Perspectivas para 2014-2016*. Brasília-DF, 58 p.
- Lee, S.H. 2013. *Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias*. Florianópolis, Editora da UFSC, 442 p.
- Lopes, S.B. 2005. *Efeitos da dependência espacial em modelos de previsão de demanda por transporte*. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos Departamento de Transportes, São Carlos. Dissertação de Mestrado, 128 p.
- Ministério dos Transportes - MT. 2002. Programa PARE - Manual de Procedimento para o Tratamento de Locais Críticos, Programa de redução dos acidentes de trânsito. Brasília, 75 p.
- NEA, 2006. *Metodologia para tratamento de acidentes de tráfego em rodovias*. Florianópolis, 121 p.
- Oliveira, E.B. 2003. *Implementação do módulo de interseção fotogramétrica em um banco de imagens georreferenciadas*. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dissertação de Mestrado, 112 p.
- Paro, L.S.M. 2009. *Contribuição metodológica para identificação de segmentos críticos em rodovias*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Dissertação de Mestrado, 114 p.
- Queiroz, M.P. 2003. *Análise Espacial dos Acidentes de Trânsito do Município de Fortaleza*. Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE. Dissertação de Mestrado, 124 p.
- Schmitz, A. 2011. *Proposta metodológica baseada em GIS para análise dos segmentos críticos de rodovia: estudo de caso na BR-285/RS*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Dissertação de Mestrado, 142 p.
- Silva, J.F.C.; Camargo, P. O.; Guardia, M.C.; Reiss, M. L.L.; Silva, R.A.C.; Gallis, R.B.A. & Oliveira, R.A.O. 2001. Mapeamento de ruas com um sistema móvel de mapeamento digital. *Revista Brasileira de Cartografia*, 53: 82-91,