

# Análises dos acidentes de trânsito em um trecho de rodovia de pista dupla da BR-116/SP: Abordagem segundo o programa “Pare” e o “Highway Safety Manual – HSM”

Camila Mota Massaro<sup>1</sup>, Rogério Lemos Ribeiro<sup>2</sup>, Nassau de Nogueira Nardez<sup>3</sup>,  
Ana Paula Camargo Larocca<sup>4</sup>, Michelle Andrade<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Engenharia Civil, UFU, mota.massaro@gmail.com

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UnB, Brasília, Brasil, rogerio.ribeiro@ufu.br

<sup>3</sup>Faculdade de Engenharia Civil, UFU, nardeznassau@ufu.br

<sup>4</sup>Departamento de Engenharia de Transportes, EESC-USP, larocca.ana@usp.br

<sup>5</sup>Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UnB, Brasília, Brasil, michelleandrade@unb.br

## Recebido:

11 de dezembro de 2017

## Aceito para publicação:

9 de maio de 2018

## Publicado:

31 de dezembro de 2018

## Editor de área:

Bruno Vieira Bertoncini

## Palavras-chaves:

Acidentes de Trânsito;  
Rodovia;  
Programa PARE;  
Highway Safety Manual.

## Keywords:

Traffic-accidents;  
Highway;  
PARE Program;  
Highway Safety Manual.

DOI:10.14295/transportes.v26i4.1549



## RESUMO

Este trabalho propõe uma análise preliminar dos acidentes de trânsito em um trecho de rodovia federal considerada uma das maiores em volume diário de veículos pesados do país, entre os anos de 2011 a 2014. A realização da análise utilizou-se do programa PARE - Programa de Redução de Acidentes - do Ministério dos Transportes (procedimento para o tratamento de locais críticos de acidentes). Posteriormente, foram calculadas as Taxas de Severidade e o índice crítico em um trecho de 10 km da rodovia. A comparação dos índices possibilitou verificar quais trechos apresentaram maior severidade, e consequentemente, quais são os pontos críticos desse trecho. Por fim, utilizou-se o método preditivo do HSM para determinar a quantidade de acidentes futuros na rodovia. Com base nesta análise, o órgão responsável pela rodovia poderá planejar com maior eficiência as futuras intervenções e propor medidas para aumentar a segurança dos usuários da rodovia.

## ABSTRACT

This paper proposes a preliminary analysis of traffic accidents in a federal highway section, considered one of the largest daily volume of heavy vehicle in the country between the years 2011 to 2014. The accomplishment of the analysis was made with the PARE program - Accident Reduction Program - the Ministry of Transport (procedure for the treatment of hotspots). Subsequently, the rates of severity and the critical rate were calculated in a section of 10 km of highway. Comparison of rates enables you to check which sites presented greater severity, and consequently, what are the hotspots of this section. Finally, the predictive method of the HSM was used to determine the amount of future accidents on the highway. Based on this analysis, the agency responsible for the highway could more effectively plan future interventions and propose measures to increase the safety of highway users.

## 1. INTRODUÇÃO

As lesões causadas pelos acidentes de tráfego são as principais causas de mortes por traumatismo no mundo (WHO, 2015). Um milhão, duzentas e cinquenta mil pessoas morrem em acidente automobilístico a cada ano no mundo. O Brasil, em 2011, apresentou um índice de 63,27 mortes por bilhão de quilômetro (BASTOS, 2014), o que reflete uma situação extremamente grave em comparação com os países mais desenvolvidos.

O risco de acidentes de trânsito nas rodovias rurais difere daqueles em vias urbanas. Enquanto o número de acidentes é geralmente mais elevado nas zonas urbanas (devido ao maior número de cruzamentos e maiores volumes de tráfego), nas rodovias rurais a severidade dos acidentes tende a ser maior devido as maiores velocidades praticadas e diversidade de condições das estradas (OXLEY *et al.*, 2004).

No Brasil, o Ministério dos Transportes lançou em 2002 o Programa PARE (Programa de Redução de Acidentes), resultado de um projeto com o objetivo de melhorar o registro, coleta, organização, análise e tratamento de dados de acidentes de trânsito no país (BRASIL, 2002). Embora esse programa vise apenas a identificação dos locais críticos em ambientes urbanos, carece de uma metodologia para identificação de pontos críticos em estradas rurais. Para compensar essa deficiência, os Órgãos responsáveis pelas vias e Agências fiscalizadoras realizam “adaptações” para abordagem em ambientes rurais.

Outro fator importante a se mencionar é a escassez de modelos preditivos que quantifiquem a segurança em rodovias brasileiras para estimar o número esperado de acidentes e atuar preventivamente na segurança da via (WAIHRICH, 2016). Cardoso (2006) menciona que a previsão da ocorrência dos acidentes de trânsito é realizada por meio de modelos matemáticos e estatísticos que determinam o valor esperado de uma taxa de acidentes (medida de exposição ao risco) baseado nas características ambientais da via. Esses modelos são conhecidos como funções de desempenho de segurança viária – *Safety Performance Functions* (SPF) segundo o *Highway Safety Manual - HSM* (AASHTO, 2010).

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa consiste em analisar os acidentes de trânsito em um trecho de pista dupla da rodovia Régis Bittencourt (BR-116) para classificação de pontos críticos de acidentes. Assim, foi utilizada a abordagem “adaptada” do programa “PARE” e comparada com a abordagem contida no manual americano “HSM” (AASHTO, 2010). Utilizou-se o modelo de previsão de acidentes segundo o *HSM*, com base em parâmetros de desempenho para rodovias norte-americanas, devido à escassez de métodos para rodovias brasileiras de pista dupla. Com base nos resultados, o Órgão responsável pela rodovia poderá planejar com mais eficiência as futuras intervenções e propor medidas para aumentar a segurança do local. Também se espera subsidiar pesquisas futuras para calibração de métodos de previsão de acidentes em rodovias brasileiras.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Existe uma literatura bastante extensa sobre métodos para a identificação de locais críticos. Alguns artigos abordam o problema da regressão à média, enquanto outros abordam o resultado do acidente versus a modelagem total do acidente.

### 2.1. Pontos Críticos de Acidentes

Segundo Cheng e Washington (2005) o sistema de transporte em geral não funciona homogeneamente em relação à segurança. A heterogeneidade entre população de motoristas, características das estradas, condições meteorológicas, condições de tráfego e considerações de projeto levam à heterogeneidade nas frequências e taxas de acidentes. Para identificar e melhorar os locais de “alto risco” torna-se necessário diferenciar os locais que são verdadeiramente de alto risco e locais que passaram a ter experimentado um aumento aleatório na flutuação nos acidentes durante um período de observação.

Ferreira e Couto (2013) apresentaram um novo método de definição e identificação de Zonas de Acumulação de Acidentes (ZAA) considerando um modelo de regressão binário. Este modelo permite calcular a probabilidade de um local ser ou não ZAA tendo em conta as características geométricas e funcionais do mesmo. Através da simulação de dados foi possível conhecer *a priori* as “verdadeiras” ZAA. O desempenho do método foi analisado com base nos erros resultantes da classificação dos locais em ZAA ou não ZAA, e comparado com dois dos métodos mais aplicados e analisados – o método de ranking pelo número de acidentes e o método Bayesiano-empírico. Desta análise verificou-se que o método binário proposto tem claramente melhor desempenho.

Elvik (2008) compara técnicas de identificação de locais críticos em estradas norueguesas. Estas técnicas incorporam diferentes graus de controle para aleatoriedade na contagem de acidentes. Como base para a comparação, uma localização de estrada perigosa é definida como aquela que tem um maior número esperado de acidentes do que localizações semelhantes devido a fatores de risco locais. Compararam-se as técnicas: registrando o número de acidentes durante um período específico, observando a taxa de acidentes (acidentes por milhão de veículos x quilômetros), combinando uma contagem crítica e uma taxa de acidentes acima do normal durante um período específico. Foi feita a estimativa empírica de Bayes do número esperado de acidentes em cada local. A técnica empírica de Bayes apresentou melhor desempenho para identificação de pontos críticos de acidentes sendo a mais confiável.

## 2.2. Programa PARE

Com a criação do Programa de Redução dos Acidentes de Trânsito (PARE) em 2002, priorizou-se o desenvolvimento de estudos buscando o desenvolvimento de metodologias para identificar, com maior precisão, os fatores contribuintes de acidentes e planejar ações corretivas. A metodologia do programa PARE aborda inicialmente a identificação dos locais críticos em termos de acidentes, enfatizando a severidade dessas ocorrências. A etapa seguinte consiste na identificação e investigação dos fatores contribuintes na ocorrência de acidentes, esta etapa é denominada diagnóstico. Finalmente, a etapa recomendações consiste em buscar um conjunto de medidas de engenharia que possam proporcionar o melhor resultado em termos de redução do risco de ocorrerem novos acidentes com características similares às aquelas identificadas nos acidentes em investigação (BRASIL, 2002). A Taxa de Severidade, também denominada Índice de Severidade, ponderada por Classe de Acidente (com danos materiais, feridos e mortos), foi utilizada por combinar, as práticas de análise do Método da Severidade com as do Método da Taxa de Acidentes, relacionando a quantidade de acidentes, expressa em UPS (Unidade Padrão de Severidade), com o volume de tráfego, sendo esta taxa normalmente expressa em UPS por milhões de veículos por quilômetro em um trecho de via. A Taxa de Severidade é obtida pela Equação (1) (BRASIL, 2002).

$$T = \frac{n^{\circ} UPS \times 10^6}{P \times V \times E} \quad (1)$$

em que  $T$ : Taxa de acidentes por milhões de veículos x km;  
 $UPS$ : Unidade padrão de severidade = pesos adotados para acidente com danos materiais = 1; acidente com vítima ferida = 4; acidente com mortes = 13, parâmetro instituído pelo Denatran (1987) utilizada para determinação da periculosidade do local em acidentes;  $Exp$ : Exposição ( $Exp = VDM \times E \times n^{\circ}$  de dias período x  $10^{-6}$ );

- P*: Período do estudo, em dias (geralmente 365 dias);  
*V*: Volume médio diário que passa no trecho;  
*E*: Extensão do trecho (em km).

### 2.2.1. Modelo para identificação dos segmentos críticos em rodovias

No Programa PARE não há uma metodologia para o cálculo da Taxa de Severidade Crítica em áreas rurais. Neste caso, fez-se uma adaptação aplicando-se a metodologia de cálculo de “Índice Crítico” preconizada na publicação “Um Modelo para Identificação dos Segmentos Críticos de uma Rede de Rodovias”, editado pelo DNER (1986), cuja formulação é descrita na Equação (2):

$$I_c = I_{pm} + k \times \sqrt{\frac{I_{pm}}{Exp}} - \frac{0,5}{P \times VDM \times E} \quad (2)$$

- em que *I<sub>c</sub>*: índice crítico de velocidade de equilíbrio (km/h);  
*I<sub>pm</sub>*: Taxa ou índice de severidade ponderado médio do trecho = UPS do trecho/exposição do trecho homogêneo que se insere o local analisado. E= calculado com base na média das taxas de severidade de todos os segmentos quilométricos componentes do trecho homogêneo. Os trechos homogêneos para a análise são aqueles uniformes quanto às características físicas e operacionais, incluindo o VDM;  
*Exp*: Exposição (*Exp.* = *VDM* x *E* x *n*<sup>o</sup> de dias período x 10<sup>-6</sup>);  
*K*: 1,645. Adotado para áreas rurais (determina o nível de significância de um determinado índice de acidente calculado);  
*VDM*: Volume médio diário que passa no trecho;  
*P*: Período do estudo, em dias (geralmente 365 dias);  
*E*: Extensão do trecho em km.

O valor deste coeficiente (*k*) está relacionado com o nível de significância requerido no teste de hipótese (*H<sub>0</sub>*). O nível de significância, por sua vez, é o valor da probabilidade tolerável de incorrer do erro de rejeitar *H<sub>0</sub>*, quando *H<sub>0</sub>* é verdadeira. Quando o número de acidentes é maior que *I<sub>c</sub>* rejeita-se o *H<sub>0</sub>*, e quando o número de acidentes é menor que o *I<sub>c</sub>* não se rejeita *H<sub>0</sub>* e o trecho não é crítico. Assim um local é considerado “Trecho ou Local Crítico” quando Taxa ou Índice de Severidade do trecho quilométrico analisado resulta maior que a Taxa ou Índice de Severidade Crítico do Segmento Homogêneo de Análise em que o local analisado se insere (DNER,1986).

### 2.3. Método preditivo de acidentes definido pelo Highway Safety Manual – HSM

Segundo AASHTO (2010), o método preditivo para rodovias de pista dupla possui uma estruturada metodologia para estimar a média esperada, tipos e severidade de acidentes para uma rodovia com características conhecidas. Pode ser aplicado em condições existentes, alternativas de projeto ou em novos empreendimentos. É uma importante ferramenta para avaliar possíveis soluções para um determinado local, fornecendo dados de comparação da frequência esperada de acidentes sobre situações variadas.

O método preditivo contém 18 etapas para estimar a média esperada de frequência de acidentes e divide a rodovia em locais/trechos individuais, que são segmentos homogêneos da rodovia, com volume de tráfego e características geométricas e operacionais constantes. A esti-

mativa é para um determinado período de tempo de interesse (em anos) durante a qual a geometria e os recursos de controle de tráfego são inalterados e o volume de tráfego é conhecido ou previsto. Na Tabela 1 são apresentadas as 18 etapas necessárias para o método preditivo do HSM (AASHTO, 2010).

**Tabela 1:** Etapas para o Método Preditivo do HSM

Etapa 1	Determinar os Limites e o tipo da rodovia
Etapa 2	Definir o Período de Estudo
Etapa 3	Determinar o volume médio diário (VDM) de veículos e a disponibilidade de dados de acidentes por ano no período de interesse
Etapa 4	Determinar as condições geométricas
Etapa 5	Dividir a rodovia em segmentos individuais e interseções
Etapa 6	Atribuir os acidentes para cada local individual (se possível)
Etapa 7	Selecionar um segmento da rodovia ou uma interseção
Etapa 8	Selecionar o ano anterior ou posterior relativo ao período de avaliação
Etapa 9	Selecionar e aplicar a função de desempenho – SPF <sup>(1)</sup> ( <i>Safety Performance Function</i> )
Etapa 10	Aplicar o fator de modificação de acidentes – CMFs <sup>(2)</sup> ( <i>Crash Modifications Factors</i> )
Etapa 11	Aplicar o fator de calibração $C_r$ <sup>(3)</sup>
Etapa 12	Existe outro período (ano)? Se sim voltar a etapa 8
Etapa 13	Aplicar o Método Empírico Bayesiano - EB do local específico (se possível)
Etapa 14	Existe outro Local? Se sim voltar a etapa 7
Etapa 15	Aplicar o método EB nível de projeto (se possível)
Etapa 16	Somar todos locais e anos
Etapa 17	Existe uma alternativa de geometria, tratamento ou previsão de VDM para ser avaliado? Se sim voltar a etapa 3
Etapa 18	Comparar e avaliar os resultados

em que SPF<sup>(1)</sup>: Funções de desempenho de segurança. Modelos de regressão sob condições geométricas e operacionais pré-estabelecidas;  
 CMF<sup>(2)</sup>: Fatores de modificação de acidentes. Representam as características geométricas e operacionais de um segmento;  
 $C_r$ <sup>(3)</sup>: Fator de Calibração. Fator de correção das diferenças entre regiões;  
 EB<sup>(4)</sup>: Método Empírico Bayesiano. Modelo estatístico para o cálculo do número de acidentes esperado.

### 3. MATERIAIS E MÉTODO

Nesta seção é apresentada a área de estudo selecionada, seus dados de acidentes e os procedimentos utilizados para atingir os objetivos propostos pelo trabalho.

#### 3.1. Estudo de Caso

A rodovia federal BR-116 - Rodovia Régis Bittencourt - é considerada uma das mais críticas em acidentes e com os maiores volumes de tráfego de veículos pesados do país. A área de estudo consiste em um trecho em pista dupla, com 3 faixas de rolamento sem acostamento. Está localizada em um segmento de serra entre os quilômetros 508 e 518, no sentido sul, no Estado de São Paulo. Trata-se de um trecho sinuoso, com raios de curva horizontal pequenos, próximos ao raio mínimo, e com frequente incidência de neblina.

Para desenvolver o estudo foram obtidos, junto à concessionária que administra a rodovia, os dados de acidentes e de volume de tráfego no trecho e períodos analisados. Tal trecho foi

escolhido em função das suas características geométricas, por contar com uma grande contribuição de tráfego de veículos pesados e por apresentar um elevado número de acidentes nos anos de 2011, 2012, 2013 e 2014. Nesse período foram registrados o total de 498 acidentes, sendo 402 com danos materiais, 95 com feridos e 1 acidente com morte. Ou seja, em termos percentuais foram 80,75% dos acidentes com danos materiais, 19,02% com feridos e 0,22% com mortes. Ressalta-se o elevado valor observado para os acidentes do tipo “danos materiais”, consequência da coleta de dados de acidente precisa realizada pela concessionária.

A Figura 1 ilustra a distribuição dos tipos de acidentes ocorridos no período considerado ao longo do trecho da rodovia, sendo, acidentes do tipo “saída de pista” predominantes, correspondendo a 40% do total. O excesso de velocidade, principalmente ao adentrar às curvas, pode contribuir para esse tipo de acidente, sendo que Castillo Rangel (2015) mediu a velocidade V85 *in loco* e concluiu que a velocidade de operação foi superior a velocidade máxima permitida para o trecho (60 km/h).

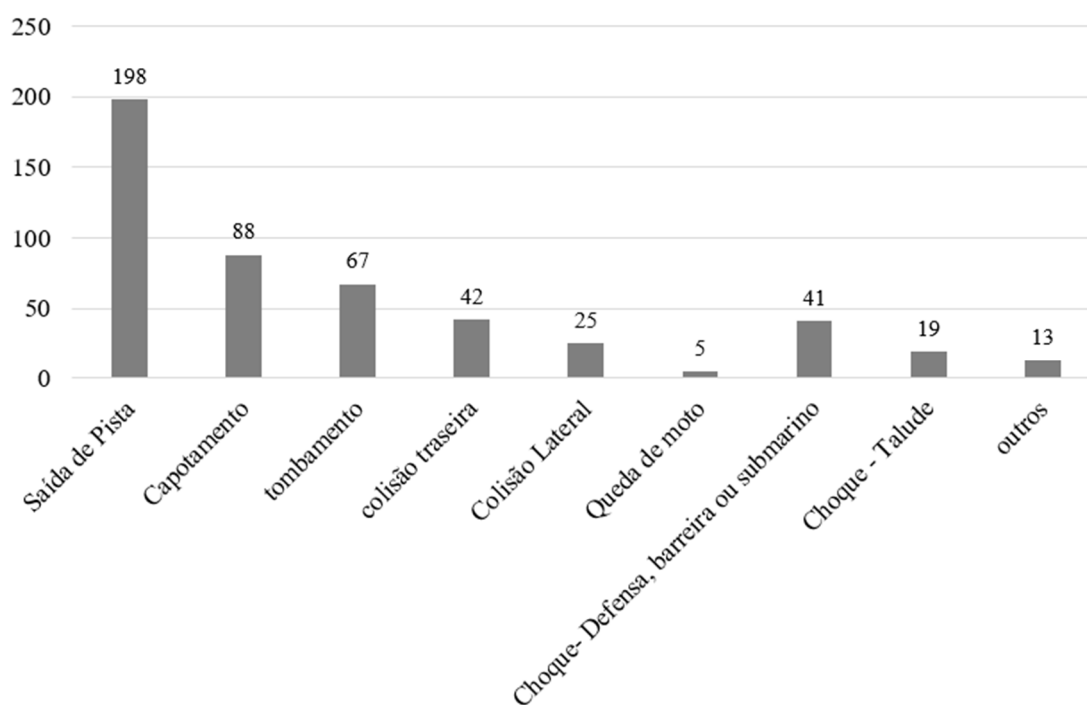


Figura 1: Tipos de Acidentes no trecho de estudo

Os dados de Volume Diário Médio (VDM) fornecidos atestam o total de 8.845 veículos por dia no ano de 2011, 9.254 veículos por dia no ano de 2012, 9.456 veículos por dia no ano de 2013 e 9.800 veículos por dia no ano de 2014.

A identificação dos pontos críticos deste trecho da rodovia foi realizada a partir da aplicação da metodologia do Programa PARE. Para tanto, o trecho foi subdividido em segmentos de 1 quilômetro (Seção 2.2), os quais foram comparados aos resultados obtidos por Castillo Rangel (2005) que utilizou o método do HSM, no mesmo local, para mesma finalidade, entre os anos de 2011 a 2014, subdividindo-se o trecho de acordo com as características geométricas (tangentes e curvas). Por fim, aplicou-se um método preditivo do HSM no trecho para calcular o número de acidentes previstos para os anos de 2011 a 2016, tendo sido esses resultados comparados aos valores efetivos dos respectivos anos.

## 4. RESULTADOS

Com os dados de acidentes no trecho em estudo, foi possível identificar os locais críticos através do Programa Brasileiro PARE.

### 4.1. Identificação dos Pontos Críticos de Acidentes

A Tabela 2 traz os resultados obtidos para o ano de 2011. Assim, um local é considerado “Trecho ou Local Crítico” quando o Índice de Severidade do trecho quilométrico analisado resultou maior que o Índice de Severidade Crítico do Segmento Homogêneo de Análise em que o local analisado se insere. Os acidentes são apresentados em termos de Unidade Padrão de Severidade (UPS), sendo calculados considerando os pesos: 1, para acidentes com danos materiais (DM), peso 4 para acidentes com vítimas feridas (FE) e peso 13 para acidentes com mortes (MO).

Tabela 2: Acidentes no trecho de estudo da rodovia

	Trecho (km)	E (Km)	VDM	Acidentes				Exposição	Acidentes Ponderados (UPS)	Índices			Comparação
				DM	FE	MO	Total			Ip	Ipm	Ic	
Trecho de Análise (Pista Sul)	509-510	1	8845	34	9	0	43	3,2284	70	21,6826	9,9120	12,6396	CRÍTICO
	510-511	1	8845	13	1	0	14	3,2284	17	5,2658	9,9120	12,6396	-
	511-512	1	8845	78	11	0	89	3,2284	122	37,7896	9,9120	12,6396	CRÍTICO
	512-513	1	8845	5	3	0	8	3,2284	17	5,2658	9,9120	12,6396	-
	513-514	1	8845	2	1	0	3	3,2284	6	1,8585	9,9120	12,6396	-
	514-515	1	8845	21	3	0	24	3,2284	33	10,2218	9,9120	12,6396	-
	515-516	1	8845	14	2	0	16	3,2284	22	6,8145	9,9120	12,6396	-
	516-517	1	8845	12	1	0	13	3,2284	16	4,9560	9,9120	12,6396	-
	517-518	1	8845	1	1	0	2	3,2284	5	1,5488	9,9120	12,6396	-
518-519	1	8845	8	1	0	9	3,2284	12	3,7170	9,9120	12,6396	-	

em que Exp: Exposição ( $Exp = VDM \times E \times n^{\circ}$  de dias período  $\times 10^{-6}$ );  
 E: Extensão do trecho, em km;  
 Ip: Índice de severidade do segmento;  
 Ipm: Taxa ou índice de severidade ponderado médio do trecho;  
 Ic: Índice crítico;  
 VDM: Volume Diário Médio de veículos que passam no trecho.

De maneira análoga calculou-se para os anos de 2012, 2013 e 2014, atualizando os dados de acidentes e os respectivos VDM. A Figura 2 apresenta os gráficos da comparação entre o  $I_p$  e o  $I_c$  dos anos analisados.

Analisando a Figura 2, os trechos considerados críticos foram entre os quilômetros 509 e 510 e também entre os quilômetros 511 e 512, para o ano de 2011; entre os km 511 – 512 e entre os km 514 ao 516, para o ano de 2012, entre os km 511 – 512 e entre os km 514 ao 515 para o ano de 2013 e entre os km 511 – 512 e entre os km 514 ao 515, para o ano de 2014.

Após comparação nota-se que os trechos identificados como críticos foram os do quilômetro 509 ao 510, 511 ao 512, 514 ao 515 e 515 ao 516 sendo que o trecho entre o 511 ao 512 foi apontado como crítico em todos os anos analisados e o 514 ao 515 nos três últimos anos analisados. A Figura 3 apresenta o resultado de todos os anos agrupados. Observa-se que os índices de severidade apresentam uma queda ao longo dos quatro anos.

Os locais identificados como críticos utilizando a metodologia do Programa PARE são corroborados por Castillo Rangel (2015), o qual utilizou, para o mesmo trecho analisado nessa

pesquisa, a metodologia disponível no *Highway Safety Manual* (AASHTO, 2010), que compara as taxas de acidentalidade registrada em cada local com uma taxa crítica de referência definida a partir da média de acidentes no trecho inteiro. Com isso foi possível verificar que os locais críticos de acidentalidade identificados correspondem aos trechos com as curvas de menores raios. Pela metodologia do HSM, os locais críticos foram: o trecho em curva do km 511 ao km 512 e o trecho do km 514 ao km 515. Isso nos leva a conclusão que o método brasileiro do Programa PARE (BRASIL, 2002) adaptado para áreas rurais através do método do DNER (1986) são compatíveis com o método americano para identificação de pontos críticos contido no HSM - *Highway Safety Manual*. Embora tenham concepções diferentes, isto é, o Programa PARE identifica os pontos críticos utilizando apenas os dados existentes de quantidades de acidentes do trecho analisado, enquanto que o método norte-americano faz uma previsão de acidentes para o trecho, utilizando dados de acidentes já existentes naquele trecho, para calcular o fator de calibração e os dados previstos.

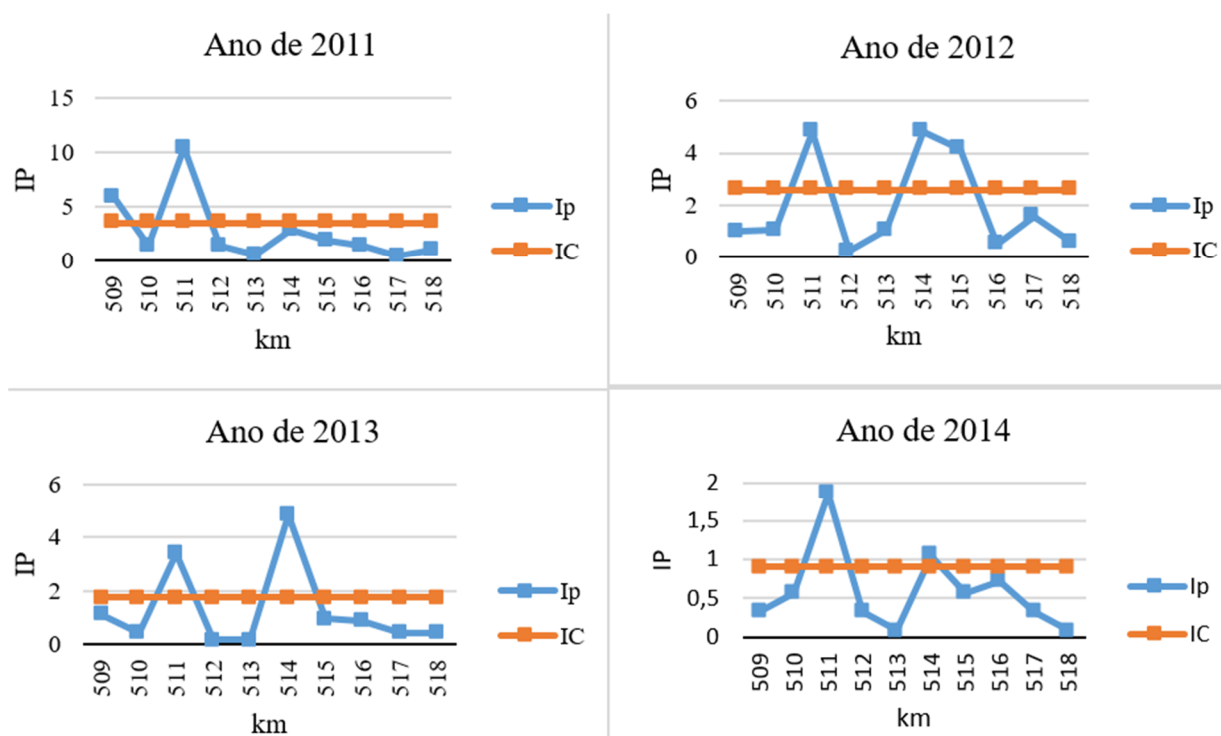


Figura 2: Comparação entre o  $I_p$  e o  $I_c$  para os anos de 2011, 2012, 2013 e 2014

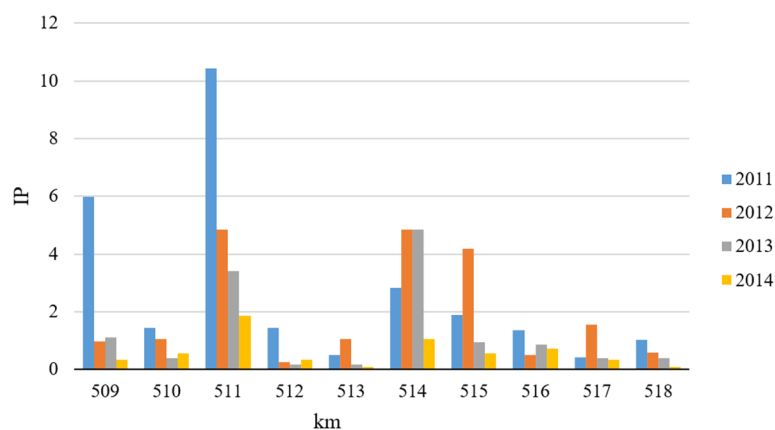


Figura 3: Índice de severidade nos anos de 2011, 2012, 2013 e 2014



## 4.2. Método para Previsão de Acidentes

No Brasil há ainda poucos estudos voltados à modelagem para previsão de acidentes em rodovias de pista dupla, podendo citar, como exemplo o trabalho desenvolvido por Waihrich (2016) e a tese ainda em desenvolvimento de Silva e Andrade (2016). Devido a esse fato, bem como aos resultados obtidos por Waihrich (2016), utilizou-se um método preditivo do HSM para determinar a quantidade de acidentes futuros na rodovia em estudo. Com o HSM foram feitas previsões dos acidentes para o ano de 2016, que analisaram 10 km de trecho da rodovia a partir das suas características físicas (entre os km 510 a 520 – pista sul). Na sequência, seguem os cálculos feitos utilizando o HSM.

As características desse trecho de rodovia são: Largura da faixa: 3,5 metros (ou 12 pés); Largura do acostamento: 0 (não há); trecho sem iluminação e sem controle de velocidade automatizado; Largura entre a pista norte e sul (mediana): 1 quilômetro (ou 30 pés); Comprimento de cada segmento de rodovia: 1 quilômetro (ou 0,6 milhas).

O procedimento para previsão do número de acidentes para rodovias de pista dupla segue apresentado nas equações abaixo:

$$N_{predictedrs} = N_{spfrd} \times C_r \times (CMF_{1rd} \times CMF_{2rd} \times CMF_{3rd} \times CMF_{4rd} \times CMF_{5rd}) \quad (3)$$

em que  $N_{predictedrs}$ : Estimativa da frequência média de acidentes de um segmento de rodovia para o ano selecionado;

$N_{spfrd}$ : Frequência média de acidentes esperado para um segmento de rodovia para o ano selecionado;

$C_r$ : Fator de calibração para um segmento de rodovia específico, desenvolvida para uma jurisdição específica ou área geográfica;

$CMF_{1rd}, CM_{2rd}, CM_{3rd}, CM_{4rd}$  e  $CMF_{5rd}$ : Fatores de modificação de acidentes para segmentos de rodovia divididos.

Seguem as etapas (de 1 a 18) para calcular o número de acidentes para o trecho de 10 km da rodovia em estudo:

- Etapas 1 até 8

Foram definidos os limites da rodovia e o tipo de instalação. O trecho consiste de 10 quilômetros da rodovia (de 509 a 519km), com instalação do tipo multifaixas rural dividida/pista dupla. O período de estudo foi de 365 dias para os anos de 2011, 2012, 2013 e 2014 com os respectivos volumes diários médios (VDM) fornecidos pela concessionária, e para os anos 2015 e 2016 com volumes obtidos por regressão. O trecho de rodovia estudada é um segmento homogêneo, com características geométricas e operacionais constantes. A concessionária disponibilizou os dados de acidentes para cada quilômetro do trecho. Assim sendo, o trecho foi subdividido em 10 segmentos de um 1 quilômetro (Seção 2.2) para as análises de acidentes.

- Etapa 9

Para rodovias de pista dupla com canteiro central, o efeito do volume de tráfego na frequência de acidentes é incorporado através de uma função de desempenho de segurança, ou *SPF* (*Safety Performance Functions*), enquanto o efeito da geometria e das características do controle de tráfego são incorporadas através dos fatores de modificação de acidentes, ou *CMFs*. O *SPF* é calculado de acordo com a seguinte equação:

$$N_{spfrd} = e^{(a+b \times \ln(AADT) + \ln(L))} \quad (4)$$

em que  $N_{spfrd}$ : Número total base de acidentes de segmento de rodovia por ano;

- AADT*: Média anual de tráfego diário (utilizou-se o VDM – volume diário médio) no segmento da rodovia;
- L*: Comprimento do segmento de rodovia (milhas);
- a, b*: Coeficientes de regressão.

O valor do parâmetro da superdispersão é determinado como uma função do comprimento de segmento como:

$$k = \frac{1}{e^{(c+\ln(L))}} \quad (5)$$

- em que *k*: Parâmetro de superdispersão associado com o segmento da rodovia;
- L*: Comprimento do segmento da rodovia (milhas);
- c*: Coeficiente de regressão usado para determinar o parâmetro de superdispersão.

Os coeficientes (*a, b e c*) para acidentes fatais ou com lesões de um segmento de rodovia, para os padrões de rodovias norte americanas, estão presentes no manual do HSM (AASHTO, 2010). Para o ano de 2011, onde o VDM = 8.845 veículos, *a* = -9,025 e *b* = 1,049, e segmento de 1 km (0,6 milhas).

Para o ano de 2011, fez-se o cálculo para a predição de acidentes, conforme Equação 4:

$$N_{spf\_rd} = e^{(-9,025+1,049 \times \ln(8845)+\ln(0,6))}$$

$$N_{spf\_rd} = 0,997 \text{ Acidentes}$$

Assim, foram calculados para os anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016.

- Etapa 10 – O resultado obtido na Etapa 9 é multiplicado pelos fatores de modificação de acidentes (*CMFs*) calculados de acordo com o Manual do HSM (AASHTO, 2010):
  - Largura da faixa igual 3,6 m (12 pés) e VDM maior que 2000 veículos por dia (em todos os anos);  $CMF_{1rd} = 1,00$ .
  - Não há acostamento neste segmento de rodovia;  $CMF_{2rd} = 1,18$ .
  - Largura média do canteiro é de 1 quilômetro;  $CMF_{3rd} = 1,00$ .
  - O trecho não possui iluminação artificial;  $CMF_{4rd} = 1,00$ .
  - No trecho não há controle de velocidade automatizada (radares);  $CMF_{5rd} = 1,00$ .
- Etapa 11 – O resultado obtido na Etapa 10 é multiplicado pelo fator de calibração apropriado. O fator de calibração é a relação do total de frequência de acidentes por segmento de 1 quilômetro observados pelo total de frequência de acidentes esperados por 1 quilômetro de segmento, conforme Equação 6.

$$C_r = \frac{\Sigma \text{acidentes\_observados}}{\Sigma \text{acidentes\_previstos}} \quad (6)$$

De acordo com o HSM (AASHTO, 2010) a calibração do modelo tem por função incorporar os dados locais para melhorar as estimativas de frequência de acidentes, assim o fator de calibração é um fator de correção das diferenças entre local de aplicação do método e o local onde o método foi desenvolvido (EUA).

Estudos de transferibilidade do HSM indicam uma variação considerável entres os fatores de calibração quando aplicados dentro ou fora dos EUA (Sacchi *et al.*, 2012 e Waihrich, 2016). O valor do fator de calibração será igual a 1 quando o valor dos acidentes observados e o valor de acidentes previstos forem iguais, e quando houver valores de acidentes observados menores que o previsto o *Cr* será menor que 1, e quando o valor de acidentes observados forem maiores que o valor de acidentes previstos o *Cr* será maior que 1. Quanto mais próximo de 1 for o fator

de calibração, mais aplicabilidade terá este modelo, pois significa uma boa representatividade da realidade. Dessa forma, é indicado que o fator de calibração seja, no máximo, igual a 10. Fazendo-se a média de acidentes por quilômetro no ano de 2011 conforme a Equação 6, observou-se um total de 22,1 acidentes por quilômetro. De acordo com o HSM (AASHTO, 2010), o fator de calibração deverá ser no máximo igual a 10. Como o resultado foi de 22,1, adotou-se o valor igual a 10.

Cálculo da frequência média de acidentes prevista pela Equação 3:

$$N_{predicted_{rs}} = 0,997 \times 10 \times (1,0 \times 1,18 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0) = 11,766$$

Isto significa que a previsão de acidentes para o ano de 2011, em cada segmento de 1 quilômetro, é de 11,766 acidentes.

A Tabela 3 traz informações gerais e os dados de entrada para o segmento da rodovia, para o ano de 2011.

**Tabela 3:** Informações gerais e dados de entrada para segmentos de rodovia – ano de 2011

Informações gerais		Informações do local	
Analista		Seção da rodovia	Pista Sul
Agência ou Companhia		Segmento da rodovia	Km 509 ao 519
Data		Jurisdição	BR-116
		Ano de análise	2011
Dados de entrada		Condições básicas	Condições do local
Tipo de rodovia (dividida / não dividida)		Dividida	Dividida
Comprimento dos segmentos, L (mi)		-	0,6 mi (1 km)
VDM (veículo/dia)	VDM <sub>MÁX</sub> = 89.300 (veic/dia)	-	8.845
Largura da faixa (ft)		12	12 ft (3,6m)
Largura do acostamento (ft)		8	0 (não há)
Tipo de acostamento - acostamento direito para rodovia dividida		Pavimentado	Não há
Largura canteiro central (ft) - para rodovias divididas apenas		30	>100 ft (30 m)
Taludes - para rodovias não divididas apenas		1:7	Não aplicado
Iluminação (presente/não presente)		Não presente	Não presente
Controle de velocidade (presente/não presente)		Não presente	Não presente
Fator de calibração, Cr		1,00	10,00

**Tabela 4:** Fator de modificação de acidentes (CMF) para segmento de rodovia – ano de 2011

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
CMF para largura da faixa	CMF para largura	CMF para largura	CMF para iluminação	CMF para controle de velocidade	CMF Combinado
CMF 1rd	CMF 2rd	CMF 3rd	CMF 4rd	CMF 5rd	CMF comb
1,00	1,18	1,00	1,00	1,00	(1)x(2)x(3)x(4)x(5)
					1,18

**Tabela 5:** Acidentes por segmento de rodovia – ano de 2011

Acidentes do segmento da rodovia para segmentos de rodovia multifaixas dividida								
(1)	(2)			(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Nível de severidade de acidente	Coeficiente SPF			N SPF rd da eq 4	Parâmetro k	Combinação CMFs	Fator de Calib, Cr	Frequência de acidente prevista, N <sub>predita rs(d)</sub>
	Tab 5							
	a	b	c		da eq 5	Col. 6 da Tab.4		(3)x(5)x(6)
Total	-9,025	1,049	1,549	0,997	0,354	1,18	10,00	11,766
Fatal e lesão (FI)	-8,837	0,958	1,687	0,526	0,308	1,18	10,00	6,210
Fatal e lesão* (FI*)	-8,505	0,874	1,740	0,342	0,293	1,18	10,00	4,034
Danos materiais (PDO)	-	-	-	-	-	-	-	(7) <sub>TOTAL</sub> - (7) <sub>FI</sub> = 5,555

(\*) Acidentes com possíveis lesões não estão incluídas.

Na Etapa 10 do método preditivo, o fator modificador de acidentes (*CMF*) é aplicado para explicar os efeitos da geometria e dos dispositivos de controle de tráfego. Uma vez que os valores do *CMF* são encontrados, eles são multiplicados como mostra a coluna 6 da Tabela 4.

Calcula-se as funções de performance de segurança (*SPF*) usando os coeficientes da tabela 5 (coluna 2), a coluna 3 refere-se à equação 4. O parâmetro de superdispersão e a equação 5 referem-se à coluna 4. A coluna 5 representa o *CMF* e a coluna 6 o fator de calibração. A coluna 7 calcula a frequência média de acidentes, como mostra a Tabela 5.

Realizados também os cálculos para os anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e uma previsão para 2016, sendo que os dados de VDM para os anos de 2015 e 2016 foram obtidos a partir de regressão linear. Manteve-se as características físicas do segmento da rodovia, e o fator de calibração para o ano de 2016 foi igual a 4,4, o mesmo fator de calibração do ano de 2015. A média de acidentes observados por ano e a média prevista por ano é mostrado na Figura 4.

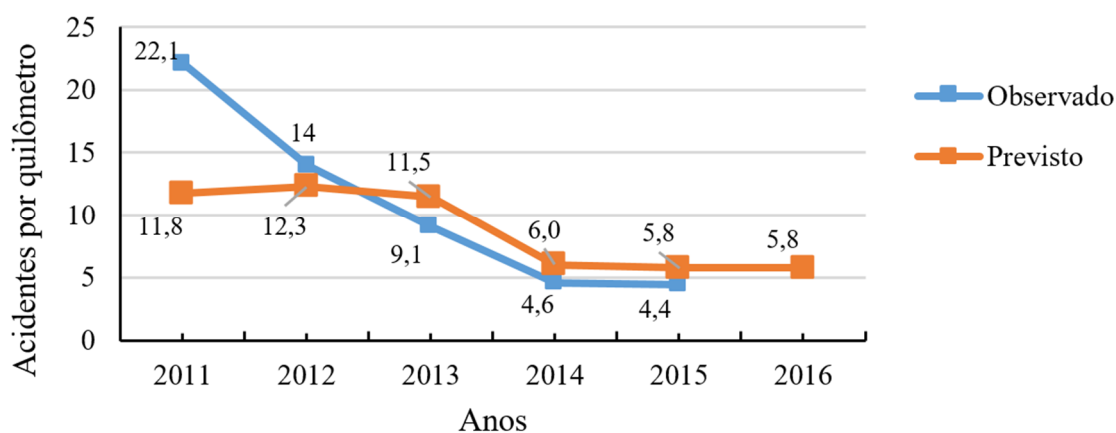


Figura 4: Quantidade de acidentes observados e previstos por ano.

Observa-se pelo gráfico que a linha é decrescente, o que mostra a queda na quantidade de acidentes observados no período que vai de 2011 a 2015. Nota-se também que a quantidade de acidentes prevista é um pouco maior do que a observada a partir do ano de 2013.

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Embora as metodologias utilizadas sejam distintas em sua concepção, os locais identificados como pontos críticos de acidentes utilizando a metodologia do Programa PARE são os mesmos encontrados por Castillo Rangel (2015) que, para o mesmo trecho analisado, utilizou-se da metodologia disponível no *Highway Safety Manual* (AASHTO, 2010). Esta última metodologia compara as taxas de acidentalidade registrada em cada local com uma taxa crítica de referência definida a partir da média de acidentes no trecho inteiro. Os locais críticos de acidentes definidos nos dois métodos correspondem às curvas de menores raios no trecho.

Observa-se ainda que a quantidade de acidentes prevista é pouco maior que a observada a partir do ano de 2013. No ano de 2011 a previsão de acidentes era de 11,766 por quilômetro ao ano e a quantidade de acidente observada foi de 22,100 acidentes por quilômetro ao ano, já no ano de 2012 a previsão foi de 12,295 acidentes e o observado foi de 14,000; no ano de 2013 a previsão era de 11,484 acidentes, o observado foi de 9,100; no ano 2014 a quantidade de aci-

dente prevista era de 6,027 e a observada foi de 4,600 e finalmente, no ano de 2015, a quantidade de acidentes previstas era de 5,760 e observados foram de 4,400 em acidentes envolvendo danos materiais, vítimas e acidentes fatais.

As previsões de acidentes pelo método americano ficaram próximas do real observado em campo, isso por considerar o fator de calibração, que torna a previsão mais precisa. Esse fator divide os acidentes observados pelos acidentes previstos, que em um primeiro momento, quando calculado sem o fator de calibração apresentou os seguintes resultados: 0,997 acidentes no ano por quilômetro de 2011; 1,042 acidentes no ano por quilômetro de 2012; 1,069 acidentes no ano por quilômetro de 2013 e 1,110 acidentes no ano por quilômetro de 2014. Para a previsão do ano de 2016 foi feita uma estimativa do VDM por regressão linear, sendo que o fator de calibração foi considerado 4,4. Assim a previsão obtida para o ano de 2016 foi de 5,76 acidentes por quilômetro ao ano.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No Brasil, os órgãos Federais utilizam atualmente métodos numéricos para classificação de locais críticos de acidentes de trânsito. Embora os trechos identificados como críticos utilizando a metodologia do Programa PARE foram os mesmos utilizando o HSM, em geral, os métodos que dependem de uma simples classificação através da contagem do número de acidentes ou taxas de acidentes produzem um grande número de falsos positivos - devido à flutuação aleatória de acidentes ano a ano - levando à tentativa de remediação de problemas de segurança em locais relativamente seguros. Além disso, um número excessivo de falsos negativos permite que locais verdadeiramente perigosos escapem à identificação. Esses erros resultam no uso ineficiente de recursos federais e / ou estaduais e de recursos do governo local aplicados para melhorias de segurança. Além disso, a seleção de locais verdadeiramente perigosos usando o método de classificação simples de contagens de acidentes é relativamente arbitrária, ou seja, quantitativo e não qualitativo. Dessa forma, ressalta-se o potencial de identificação de pontos críticos em relação ao número esperado de acidentes a longo prazo e não considerando, unicamente, o número de acidentes registrados.

Devido à população heterogênea características do Brasil, característica geométricas e de tráfego de rodovias distintas, recomenda-se, para futuras pesquisas, explorar a técnica empírica de Bayes em diferentes regiões no Brasil para buscar ampliar as análises de previsão de acidentes em rodovias e auxiliar na melhor destinação de recursos para emprego na promoção da segurança viária.

### AGRADECIMENTOS

Autopista Regis Bittencourt e Grupo Arteris S.A. pela disponibilização dos dados.

### REFERÊNCIAS

- AASHTO (2010) *Highway Safety Manual – HSM*, American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C.
- BASTOS, J. T. (2014) *Road safety strategic analysis in Brazil: indicator and index research*. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. DOI:10.11606/T.18.2014.tde-08042015-103747
- BRASIL (2002) *PROGRAMA PARE: Procedimentos para o Tratamento de Locais Críticos de Acidentes de Trânsito*. Ministério dos Transportes. Brasília, DF.
- Cardoso, G. (2006) *Modelos de previsão de acidentes de trânsito em vias arteriais urbanas* - Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. Disponível em <<http://hdl.handle.net/10183/8234>>

- CASTILLO RANGEL, M. A. (2015). *Análise da percepção da sinalização vertical por parte do condutor, utilizando ambientes simulados de direção: um estudo de caso na rodovia BR-116*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. DOI: 10.11606/D.18.2015.tde-29072015-101734.
- Cheng, W; Washington, S. P. (2005). Experimental evaluation of hotspot identification methods. *Accident Analysis and Prevention* 37 p. 870–881. DOI:10.1016/j.aap.2005.04.015
- DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (1987) manual de identificação, análise e tratamento de pontos negros, Brasília, DF.
- DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1986) Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento. Um Modelo para Identificação dos Segmentos Críticos de uma Rede de Rodovias. Rio de Janeiro, RJ.
- ELVIK, R. (2008) Comparative Analysis of Techniques for Identifying Locations of Hazardous Roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Nº. 2083. p. 72–75. DOI: 10.3141/2083-08.
- FERREIRA, S.; COUTO, A. (2013) Hot-Spot Identification Categorical Binary Model Approach. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Nº. 2386. p. 1–6. DOI:10.3141/2386-01.
- OXLEY, J.; CORBEN B.; KOPPEL S.; FILDES B.; JACQUES N.; SYMMONS M.; JOHNSTON I. (2004) *Cost-Effective Infrastructure Measures on Rural Roads*. Monash University, Accident Research Centre, Report No. 217.
- Sacchi, E.; Persaud, B.; e Bassani, M. (2012) Assessing International Transferability of Highway Safety Manual Crash Prediction Algorithm and Its Components. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2279, p. 90–98. DOI:10.3141/2279-11.
- SILVA, P. B.; ANDRADE, M. (2016) Modelagem da Segurança Viária em Rodovias Brasileiras de Pista Dupla. In: XXX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2016, Rio de Janeiro. Anais do XXX Congresso ANPET 2016. Rio de Janeiro: ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2016. v. Único. p. 1-1.
- WAIHRICH, D. R. L. D. S. (2016) *Calibração do método de previsão de acidentes do Highway Safety Manual (HSM) para trechos rodoviários de pista dupla no Brasil*. Dissertação de Mestrado: Publicação: TDM – 006/2016. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília, DF, 132 p. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/20081>>
- WHO (2015) *Global status report on road safety*. World Health Organization. Disponível em: <[http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2015/en/](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/)>.