



CARACTERIZAÇÃO DOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS OCORRIDOS EM LOCAIS CRÍTICOS DE ACORDO COM O RISCO ASSOCIADO À RODOVIA

Tiago Augusto Pianezzer¹; Camila Belleza Maciel Barreto²; Valter Zanela Tani³; Amir Mattar Valente⁴

^{1,2,3,4} Laboratório de Transportes e Logística, Universidade Federal de Santa Catarina, tiago.pianezzer@gmail.com, camilabmaciel@gmail.com, vztani@gmail.com, amir.ecv@gmail.com

RESUMO

Os acidentes de trânsito são considerados globalmente como a 8ª maior causa de morte, visto que ocorrem aproximadamente 1,35 milhão de óbitos anualmente. Este estudo utilizou as técnicas geoestatísticas Moran's I e Getis Ord Gi* para identificação de pontos críticos de acidentes vinculado ao risco da rodovia, calculado pela metodologia iRAP. Foram identificados 3 agrupamentos de acidentes em segmentos de alto risco e 2 agrupamentos de acidentes em segmentos de baixo risco, totalizando 46 ocorrências. Tais acidentes apresentaram: maior quantidade sem vítimas em locais com baixo risco e de vítimas fatais em locais com maior risco; predominância de causas comportamentais, independente do risco da rodovia; maior quantidade envolvendo somente um veículo nos agrupamentos de alto risco. Foi possível identificar a importância de cada elemento dos sistemas seguros – usuário, via e veículo, associados a velocidades seguras – e evidenciar a necessidade de se considerar o conceito de rodovias que perdoam nas questões de segurança viária.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança Viária, Metodologia IRAP, Acidentes Rodoviários, Análises Espaciais.

ABSTRACT

Traffic accidents are considered the 8th leading cause of the death worldwide, since about 1.35 million deaths occurs annually. This study used Geostatistics techniques, such as Moran's I and Getis Ord Gi, in order to identify traffic accidents' black spots linked to highway risk, which was estimated by iRAP methodology. It was identified 3 clusters of accidents in high risk segments and 2 clusters of accidents in a low risk segments, which covered 46 traffic accidents. Such accidents presented: less casualties in low risk clusters and more fatalities in high risk clusters; prevalence of behavior reason, regardless of highway risk; and prevalence of single vehicle crashes in high risk clusters. It was possible to identify the importance of each safe system' parts – users, highways and vehicles, associated with safe speed choices – and, mainly, to highlight the necessity of considering the concept of forgiving highways in road safety management.*

KEYWORDS: Traffic Safety, IRAP Methodology, Traffic Accidents, Spatial Analysis.

1. INTRODUÇÃO

Cerca de 1,35 milhão de óbitos que ocorrem todos os anos globalmente são relativos aos acidentes de trânsito, fazendo com que esse problema seja considerado como a 8ª maior causa de morte no mundo (OMS, 2018). Entende-se que os acidentes não são responsabilidade exclusiva do usuário, e sim consequência da interação dos elementos que compõem a abordagem de sistemas seguros: usuário, veículos e vias. Tal abordagem,

conforme o *World Resources Institute* (WRI, 2018), se baseia no princípio de que os erros humanos são inevitáveis e que “o sistema viário deveria ser projetado de tal forma que o erro humano não leve a um resultado grave nem fatal”, ficando conhecido como “rodovias que perdoam”. Ainda mais, para avaliar a questão da segurança das vias, a metodologia iRAP (*International Road Assessment Programme*) (iRAP, 2014), é uma metodologia preditiva que avalia o risco que cada local da rodovia oferece ao usuário.

Nesse contexto, esse artigo objetiva identificar os agrupamentos de acidentes baseado no valor de risco da rodovia vinculado a cada local de ocorrência de acidente, de acordo com a metodologia iRAP. Os acidentes foram caracterizados conforme a severidade, a causa e o tipo dos mesmos, de acordo com seu agrupamento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

No que tange a identificação de locais críticos de acidentes rodoviários, diversos métodos são encontrados na literatura, podendo diferir entre métodos de avaliação de risco da rodovia, estatísticos, multicritérios, numéricos ou espaciais.

Em específico aos métodos espaciais, Colak *et al.* (2018) utilizaram a técnica Getis Ord G_i^* em conjunto com a técnica *Network-KDE* para avaliar os acidentes rodoviários ocorridos em Rize, Turquia, ponderados pelo peso que cada ocorrência possuía em relação às outras ocorrências. Já Al-Ruzouq *et al.* (2019) avaliaram os acidentes ocorridos entre os anos de 2004 e 2013 na cidade de Harris, Estados Unidos da América. Para isso, os autores (2019) utilizaram 3 técnicas diferentes, Moran's I, Getis Ord G_i^* e KDE ponderando algumas características dos acidentes, tais como severidade, quantidade de veículos envolvidos, quantidade de faixas, período do dia e duração do acidente, entre outros.

Outro tipo de método para identificar locais críticos de uma rodovia avalia os fatores de risco associados à rodovia que possam favorecer a ocorrência ou agravar a severidade de acidentes rodoviários. Como exemplo de utilização desse tipo de método, Shi *et al.* (2018) avaliaram um trecho de 4,5 km localizado em uma rodovia rural de Shanghai, China. Os autores (2018) avaliaram 4 aspectos da rodovia com diferentes pesos na determinação do risco da rodovia. São elas: geometria da via (0,22); condição do pavimento (0,24); condição da lateral da via (0,22); e sinalização viária (0,31). Com base nesses critérios e em uma escala de 1 a 4 pontos, foi possível classificar o segmento como seguro, avaliado entre 3 e 4 pontos; ou inseguro, avaliado entre 1 e 3 pontos. Em específico à metodologia de avaliação de risco

iRAP (2014), na qual o risco de uma rodovia é classificado por estrelas, sendo 1 estrela o maior risco e 5 estrelas o menor, podem ser encontrados na literatura alguns autores que avaliam o risco de uma rodovia, de acordo com a infraestrutura, como Bellos *et al.* (2014) e Pianezzer (2019). Os primeiros autores (2014) apresentaram os resultados da avaliação pela metodologia iRAP de 340 km de duas rodovias gregas presentes na ilha de Creta, enquanto que Pianezzer (2019) aplicou a metodologia iRAP como um dos métodos para identificação de segmentos críticos em mais de 70 quilômetros de uma rodovia federal brasileira no Estado de Santa Catarina.

3. METODOLOGIA

3.1. Área de estudo

A rodovia selecionada para avaliar a ocorrência dos acidentes pelo viés do risco da rodovia foi a rodovia federal BR-116, a qual conecta os estados do Ceará ao Rio Grande do Sul. O segmento avaliado se encontra no estado de Santa Catarina (Figura 4), o qual se estende por 72,9 quilômetros, entre o km 59,8 e o km 132,7. Tal segmento abrange os municípios de Papanduva, Monte Castelo e Santa Cecília.

Em relação aos dados de acidentes ocorridos no segmento estudado, estes foram obtidos através da plataforma Dados Abertos da Polícia Rodoviária Federal (PRF, 2020). Assim, no período entre os anos de 2017 e 2019, foram registradas 167 ocorrências, das quais 39 não tiveram vítimas, 117 tiveram vítimas feridas e 11 resultaram em vítimas fatais. A localização da área de estudo e de cada ocorrência são apresentadas na Figura 4.

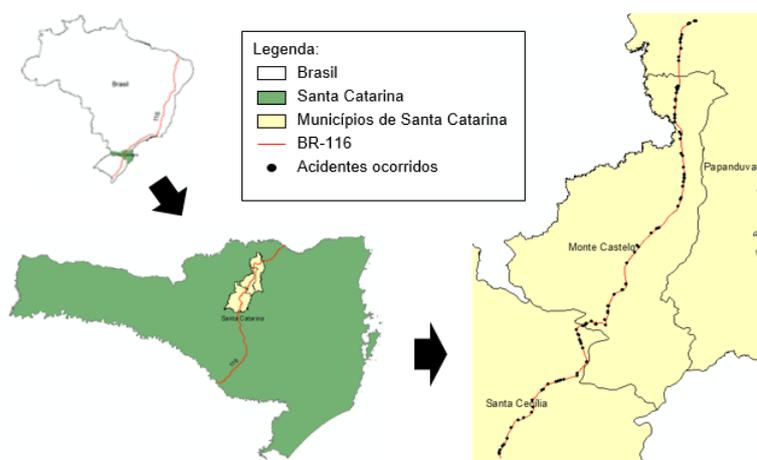


Figura 4 - Localização da área de estudo da BR-116 e localização dos acidentes
Fonte: O autor (2020)

3.2. Análise de risco da rodovia

Nesse artigo foi realizada a avaliação de risco da rodovia de acordo com a metodologia iRAP (2014), a qual propõe uma classificação por estrelas, variando de 1 a 5 estrelas, baseada em *Star Rating Scores* (SRS). Tal classificação é atribuída a partir de faixas numéricas de risco, de acordo com o usuário analisado, ou seja, ocupante de veículo, motociclista, pedestre e ciclista. A metodologia se divide em 3 etapas principais, sendo elas: inspeção da rodovia e obtenção de dados de apoio; codificação dos atributos das vias; e obtenção dos resultados de classificação por estrelas e planos de investimento para vias mais seguras, gerados no ViDA - software online do iRAP. A primeira etapa da metodologia iRAP consistiu em realizar um levantamento de imagens da rodovia com um veículo equipado com uma câmera de boa resolução e que contasse com o registro de coordenadas geográficas para que as imagens dos segmentos da rodovia pudessem ser avaliadas a cada 20 metros. A etapa seguinte da metodologia consistiu em codificar mais de 50 atributos identificados nas imagens levantadas em campo, tais como severidade lateral, velocidade da via, condição do pavimento, entre outros. Tais atributos codificados foram avaliados no *software* ViDA para obtenção dos valores de SRS. Tais valores obtidos foram vinculados a seções de 100 metros da rodovia, as quais também são georreferenciadas.

3.3. Ambiente de geoprocessamento

As análises realizadas nesse artigo foram feitas no *software* de geoprocessamento ArcMap, versão 10.8, o qual possui as técnicas de geoestatística utilizadas, de forma nativa. Antes de iniciar as análises, se fez necessário configurar o sistema de coordenadas geográficas para SIRGAS 2000, visto a localização da rodovia estudada ser no Brasil. Com os valores de risco obtidos anteriormente com a metodologia iRAP e com os dados de acidentes georreferenciados pela PRF, foi possível, através do *software* de geoprocessamento, atribuir para cada acidente o valor de SRS do local de ocorrência.

3.4. Autocorrelação Espacial Global – Moran's I

A primeira análise geoestatística realizada nesse artigo foi a Técnica de Autocorrelação Espacial Global Moran's I, resumida em ESRI (2020a), a qual busca

identificar se a amostra estudada está distribuída de forma aleatória, agrupada ou dispersa no espaço de acordo com o atributo risco da rodovia. Para isso, tal teste visa rejeitar ou aceitar a hipótese nula (H_0) de que os dados são distribuídos de forma aleatória. Já a hipótese alternativa (H_1) afirma se tais dados estão agrupados ou dispersos. Tal inferência é feita em relação ao valor do p-valor, o qual, se for maior do que o p-valor_{crítico}, aceita-se a hipótese nula. Quando este valor for menor, rejeita-se a hipótese nula e aceita-se a hipótese alternativa. Nesse caso, são avaliados os valores do Índice de Moran (I), calculado conforme a Equação (1), e os valores de z-score. Quanto mais o Índice de Moran se aproxima de 1, maior a probabilidade de os dados estarem agrupados. Já quanto maior esse índice se aproxima de -1 maior a probabilidade de os dados estarem dispersos.

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} z_i z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (1)$$

Sendo que: I = Índice de Moran; n = quantidade de ocorrências avaliadas; z = variância do atributo avaliado em relação à média (em SRS); $w_{i,j}$: o peso da relação espacial entre as ocorrências; e S_0 = soma de todos os valores dos atributos avaliados (em SRS).

Para utilizar a referida técnica, algumas definições básicas são necessárias. A primeira versa sobre a matriz de ponderação espacial do atributo avaliado. Conforme apresentado por Lee e Khattak (2019), estudos sugerem um raio de influência de 1000 metros em áreas rurais. A segunda definição versa sobre o tipo de relação espacial que as ocorrências apresentam. Para efeitos da aplicação das técnicas neste estudo, foi considerada a relação de distância fixa, na qual as ocorrências dentro de um raio de influência têm o mesmo peso, independente de quão perto ou longe se encontram.

3.5. Hot Spot Analysis – Getis Ord G_i^*

A segunda análise geoestatística realizada nesse artigo foi a Técnica de Identificação de Agrupamentos de valores altos e baixos, conhecida como Getis Ord G_i^* . Tal técnica busca identificar o agrupamento de locais próximos, com valores altos ou baixos de risco da rodovia, de acordo com o p-valor e o valor de G_i^* , calculado conforme a Equação (2).

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n-1}}} \quad (2)$$

Sendo que: G_i^* = Valor de Getis Ord G_i^* ; n = quantidade de ocorrências avaliadas; x_j = valor do atributo avaliado (em SRS); $w_{i,j}$ = o peso da relação espacial entre as ocorrências; \bar{X} = média do atributo avaliado (em SRS); e S = desvio padrão do atributo avaliado (em SRS).

Quando o teste resultar em valores estatisticamente significantes, o valor de G_i^* pode ser avaliado. Além disso, o teste indica agrupamentos com significância estatística de 90%, 95% e 99%. Quanto maiores os valores desse índice, mais intenso é o agrupamento de ocorrências com valores altos do parâmetro avaliado e quanto menores os valores dos índices, mais intenso é o agrupamento de ocorrências com valores baixos (ESRI, 2020b).

Ao final da análise, os agrupamentos identificados através da técnica Getis Ord G_i^* foram caracterizados conforme a severidade, as causas e os tipos de acidentes registrados.

4. RESULTADOS

4.1. Autocorrelação Espacial Global – Moran's I

A primeira análise realizada no artigo consistiu em identificar se os acidentes ocorridos na rodovia estudada estão distribuídos de forma aleatória, dispersa ou agrupada, conforme o risco da rodovia vinculado a cada acidente. Para isso, foi realizada a Autocorrelação Espacial Global de Moran's I, utilizando o risco da rodovia de cada acidente e uma matriz de ponderação espacial de 1000 metros como parâmetros. O resultado dessa técnica é apresentado na Figura 5.

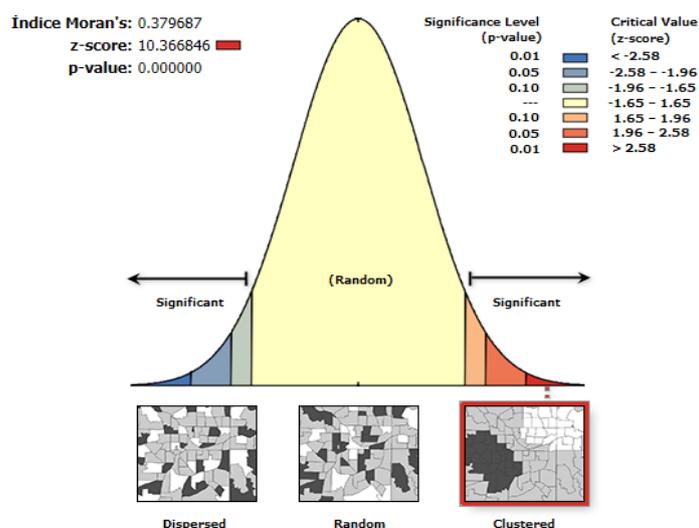


Figura 5 - Índice de Autocorrelação Espacial Global - Moran's I
Fonte: O autor (2020)

Conforme indica a Figura 5, é possível observar que o p-valor (0,000) foi menor do que o p-valor_{crítico} (0,05), indicando que existe uma tendência de os dados não estarem distribuídos de forma aleatória. Além disso, observando o valor de z-score (10,3668) e o valor do Índice de Moran's (0,379687), verifica-se que os acidentes avaliados estão distribuídos de forma agrupada no espaço, conforme o risco da rodovia relacionado. Sendo assim, a análise apresentada na sequência visa identificar os locais de agrupamento de ocorrências de acidentes, bem como caracterizá-los em relação à severidade, à causa e aos tipos de acidentes, de acordo com os riscos da rodovia.

4.2. Hot Spot Analysis – Getis Ord Gi*

A segunda análise realizada visou identificar os agrupamentos de valores de alto e de baixo risco, nos locais com ocorrência de acidentes. Para isso, foi realizada a técnica de Getis Ord Gi*, definindo o valor de 1000 metros como matriz de ponderação espacial de cada ocorrência. Os agrupamentos podem ser observados na Figura 6, a qual indica que foram identificados 3 agrupamentos de alto risco (H) e 2 agrupamentos de baixo risco (C) estatisticamente significantes em relação à distribuição de acidentes.

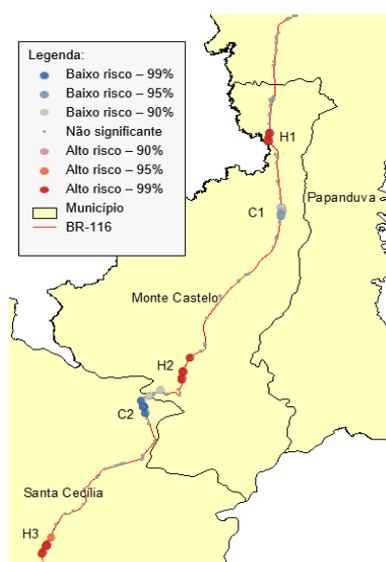


Figura 6 – Hot Spot Analysis – Getis Ord Gi*

Fonte: O autor (2020)

4.3. Caracterização dos agrupamentos identificados

Dentre os agrupamentos identificados pela técnica aplicada no tópico anterior, foi possível caracterizar os acidentes ocorridos de acordo com a severidade, conforme ilustra a Figura 7.

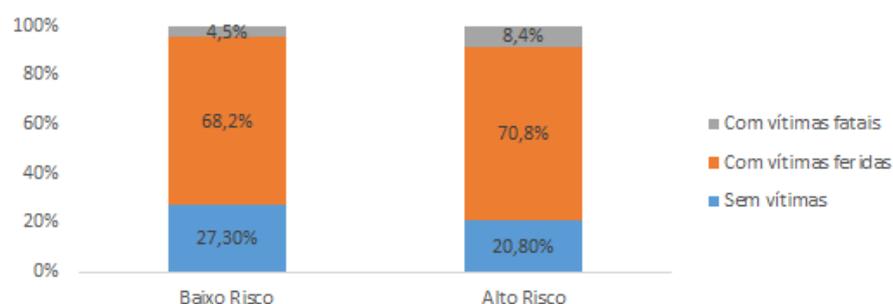


Figura 7 - Características dos acidentes de acordo com severidade

Fonte: O autor (2020)

Os agrupamentos de risco baixo (C) da rodovia compreendem 22 acidentes avaliados, dos quais 6 não tiveram vítimas (27,3%), 15 tiveram vítimas feridas (68,2%) e 1 teve vítima fatal (4,5%). Enquanto isso, os agrupamentos de risco alto (H) da rodovia abrangem 24 acidentes, dos quais 5 não tiveram vítimas (20,8%), 17 tiveram vítimas feridas (70,8%) e 2 tiveram vítimas fatais (8,4%). Com a caracterização da Figura 4, é possível observar a

relação de risco com a severidade dos acidentes ocorridos, tal qual abordada por Elvik *et al.* (2014) e pela Federal Highway Administration (FHWA, 2014). Os primeiros autores apresentam que a quantidade de vítimas e suas gravidades está relacionada, entre outros aspectos, “ao risco de dano, ou seja, a probabilidade de ser ferido uma vez que se tenha sido envolvido em um acidente de trânsito”. Já a FHWA (2014) aponta que em rodovias em que o risco é maior possuem taxa de mortalidade maior do que em locais com menos risco.

De acordo com a Figura 8, é possível observar que, dentre os 46 acidentes identificados nos agrupamentos, foram observadas 8 causas.

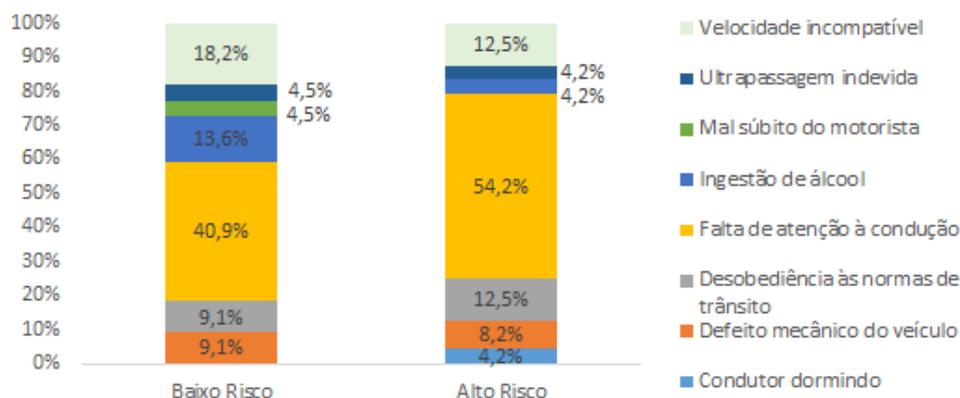


Figura 8 – Características dos acidentes de acordo com causa

Fonte: O autor (2020)

Observa-se pela mesma figura que, independente se o agrupamento dos acidentes é de baixo ou de alto risco, as causas dos acidentes têm o fator comportamental como principal elemento, conforme o registro dos acidentes da PRF. São elas: Desobediência às normas de trânsito pelo condutor; Velocidade incompatível; Ingestão de álcool; Falta de atenção à condução; Ultrapassagem indevida; ou Condutor dormindo. Nos agrupamentos de risco baixo, observa-se que 86,3% dos acidentes possui uma dessas causas, enquanto que, em agrupamentos de alto risco, esse valor é de 91,8%. Em relação aos demais acidentes, as causas identificadas foram: Defeito mecânico do veículo (9,1%) e Mal súbito do motorista (4,5%), em agrupamentos de baixo risco, e Defeito mecânico do veículo (8,2%), em agrupamentos de alto risco. Tal caracterização dos fatores comportamentais e das causas dos acidentes corrobora com a análise apresentada pelo Observatório Nacional de Segurança

Viária (ONSV, 2019), que identificou que cerca de 90% dos acidentes tem esse fator como principal causa em relação aos fatores via e veículo.

De acordo com a Figura 9, observa-se que os acidentes ocorridos nos agrupamentos identificados diferem em 11 tipos.

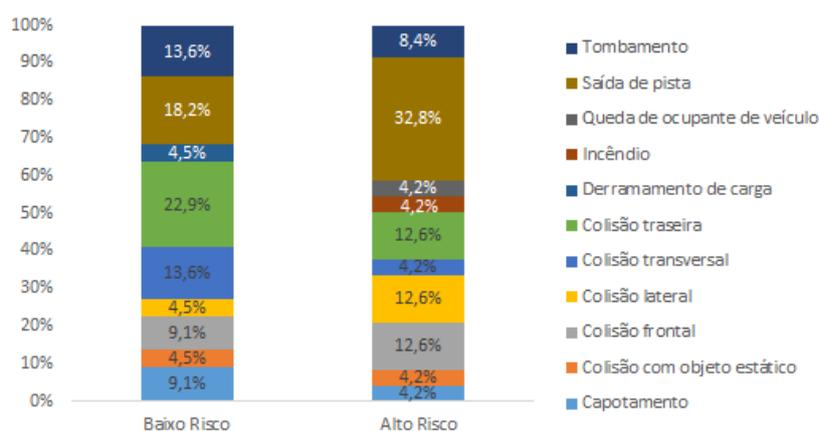


Figura 9 - Características dos acidentes de acordo com tipo

Fonte: O autor (2020)

Em relação aos agrupamentos de baixo risco, os acidentes que envolveram somente um veículo e os acidentes que envolveram mais de um veículo tiveram distribuição semelhante. Por sua vez, no agrupamento de alto risco, esses tipos de acidente envolvendo somente um veículo representam 58,0% de todos os acidentes. Pode-se destacar ainda que o tipo de acidente mais frequente nos agrupamentos de baixo risco foi o tipo colisão traseira, representando 22,9% do total de acidentes registrado no período analisado. Já nos agrupamentos de alto risco, a saída de leito carroçável foi o tipo mais frequente, representando 32,8% do total registrado, indicando, assim, uma tendência de os tipos de acidente diferirem de acordo com o risco da rodovia. Tal caracterização dos acidentes envolvendo somente um veículo ou envolvendo elementos presentes na lateral da via são fundamentais para embasar a importância da adoção de medidas com o enfoque em amenizar as consequências de tais acidentes, tal qual apresentado por Elvik *et al.* (2014).



5. CONCLUSÕES

Nesse artigo foram identificados os pontos críticos de acidentes, nos quais foram considerados o risco de cada local de ocorrência que a rodovia oferece ao usuário, baseado nos resultados obtidos com a aplicação da metodologia iRAP. Para identificar tais locais, foram utilizadas as técnicas geoestatística Moran's I e Getis Ord G_i^* . Os resultados indicaram 3 agrupamentos de acidentes em segmentos de alto risco e 2 agrupamentos em segmentos de baixo risco, os quais apresentaram predominância de vítimas fatais nos agrupamentos de alto risco e predominância de acidentes sem vítimas nos agrupamentos de baixo risco. Ainda mais, os acidentes analisados indicaram uma predominância de causas do tipo comportamental em relação a causas relacionadas à via ou ao veículo, independentemente se o agrupamento é de baixo ou de alto risco. Além disso, as análises indicaram que a maior parte dos acidentes ocorridos nos agrupamentos de alto risco envolveu somente um veículo.

Com isso, foi possível observar a interação complexa que existe entre usuários, vias e veículos no que tange a segurança viária, seja através da relação entre a severidade dos acidentes e o risco da rodovia ou entre os fatores comportamentais e a ocorrência de acidentes. Em suma, o artigo evidencia a necessidade da abordagem de sistemas seguros de trânsito nas ações de melhorias das condições de segurança viárias das rodovias, tanto para avaliar o comportamento dos usuários como também para avaliar e colocar em prática o conceito de rodovias que perdoam falhas humanas, tal qual feito pela metodologia iRAP. Para finalizar, mesmo que os acidentes englobados nos agrupamentos identificados caracterizem a importância da via nos sistemas seguros, entende-se como necessário avaliar outros segmentos de rodovia que permitam uma análise mais ampla dos acidentes que corroborem as conclusões apresentadas nesse artigo.

REFERÊNCIAS

AL-RUZOUQ, R.; HAMAD, K.; DABOUS, S. A.; ZEIADA, W.; KHALIL, M. A. E VOIGT, T. Weighted Multi-Attribute Framework to Identify Freeway Incident Hot Spot in a Spatiotemporal Context. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 44, p. 8205 – 8223, 2019.

BELLOS, E.; EFSTATHIADIS, S.; GKREMOS, I. E LEOPOULOS, V. Road Infrastructures' risk Assessment: a valuable tool for investments' decisions. **International Scientific Conference People, Buildings and Environment**, p. 67 – 78, 2014.

COLAK, H. E.; MEMISOGLU, T.; ERBAS, Y. S. E BEDIROGLU, S. Hot spot Analysis based on network spatial weights to determine spatial statistics of traffic accidents in Rize, Turkey. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 11, 151, 2018.

ELVIK, R.; HOYE, A.; VAA, T. E SORENSEN, M. **O Manual de Medidas de Segurança Viária**. Editora Fundacion Mapfre, Oslo, Noruega, 2014.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. **How Spatial Autocorrelation: Moran's I (Spatial Statistics) works**. 2020a.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. **How Hot Spot Analysis: Getis-Ord Gi* (Spatial Statistics) works**. 2020b.

FHWA - Federal Highway Administration. **Manual for selecting Safety Improvements on High Risk Rural Roads**. 2014.

IRAP – International Road Assessment Programme. **iRAP Methodology Fact Sheets**. 2014.

LEE, M. E KHATTAK, A. J. Case study of Crash Severity Spatial Pattern Identification in Hot Spot Analysis. **Transportation Research Board 2019**, v. 2673 (9), p. 684 – 695, 2019.

MINISTÉRIO DA SEGURANÇA PÚBLICA. **Dados abertos sobre acidentes de trânsito**. 2020. Disponível em: <<https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes>>. Acesso em: 20 jul. 2020.

OMS – Organização Mundial de Saúde. **Global Status Report on road safety**. 2018.

ONSV – Observatório Nacional de Segurança Viária. **90% dos acidentes são causados por falha humana**. 2019. Disponível em: <<https://www.onsv.org.br/90-dos-acidentes-sao-causados-por-falhas-humanas-alerta-observatorio>>. Acesso em: 25 jul. 2020.

PIANEZZER, T. A. **Análise comparativa de metodologias para identificação de segmentos críticos em rodovias rurais**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2019.

SHI, L.; HUSEYNOVA, N.; YANG, B.; LI, C. E GAO, L. A cask evaluation model to assess safety in chinese rural roads. **Sustainability**, v. 10 (10), 3864, 2018.

WRI – World Resources Institute. **Sustentável e seguro Visão e Diretrizes para zerar as mortes no trânsito**. 2018.