

FERRAMENTAS ESPACIAIS EM SIG PARA A ANÁLISE DE ACIDENTES DE TRÂNSITO: ESTUDO DE CASO COM VEÍCULOS PESADOS NAS RODOVIAS FEDERAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Samir Bressane

Rafael da Silva Nunes

Nélio Domingues Pizzolato

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

Resumo: Aliada à incorporação do automóvel na sociedade, emerge um relevante problema social: os acidentes de trânsito. O impacto destes acontecimentos é tal que custam à maioria dos países cerca de 3% do seu Produto Interno Bruto. No Brasil, um país rodoviário, a malha concentra cerca de 60% do volume de cargas transportadas e 90% do total de passageiros. No Estado do Rio de Janeiro, a frota de veículos pesados está em crescente expansão, contando com falta de segurança e infraestrutura, necessitando de tecnologias auxiliares para a adequada gestão de riscos dos acidentes. Com a evolução das geotecnologias e estudos georreferenciados, inseridos em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), têm permitido uso de técnicas estatísticas espaciais e de otimização para melhor tomada de decisão. Este trabalho teve como objetivo estudar ferramentas em SIG nas análises de acidentes de trânsito envolvendo veículos pesados nas rodovias federais no Estado do Rio de Janeiro. O trabalho demonstrou as capacidades de SIG, à luz da literatura atual e metodologias oficiais, na identificação dos pontos críticos de acidentes no Estado do Rio de Janeiro e, por utilizar banco de dados, as metodologias podem ser replicadas, aperfeiçoadas ou expandidas em outras regiões.

Palavras-chave: Acidente de trânsito; sistema de informação geográfica; rodovia federal; veículo pesado.

INTRODUÇÃO

Aliada à incorporação do automóvel no cotidiano da sociedade, emerge um relevante problema social: os acidentes de trânsito. Enquanto nos países desenvolvidos faz-se grande esforço no sentido de controlá-los, nos países em desenvolvimento, eles surgem como um problema crescente. O impacto destes acontecimentos é tal que esses acidentes custam à maioria dos países cerca de 3% do seu Produto Interno Bruto (PIB). A lesão no trânsito é agora a principal causa de morte de crianças e adultos jovens de 5 a 29 anos. Inclusive, apresenta-se como a oitava principal causa de morte em todas as faixas etárias, superando a AIDS, tuberculose e diarreia (WHO, 2018).

No Brasil, país majoritariamente rodoviário, a malha concentra cerca de 60% do volume de cargas transportadas (e 90% do total de passageiros). Relatórios da Organização Mundial de Saúde, mostram que o Brasil aparece em terceiro lugar entre os países recordistas em mortes no trânsito, atrás somente da Índia e China (WHO, 2018). No Brasil, mais de 60% dos leitos hospitalares do Sistema Único de Saúde (SUS) são ocupados por vítimas do trânsito. Nos centros cirúrgicos do país, 50% da ocupação é de vítimas de acidentes rodoviários (Vilela, 2018).

Quando se fala de veículos pesados, a situação é ainda mais grave. De acordo com relatório do Ministério dos Transportes, Portos e Aviação, os caminhões representam cerca 6% da frota de veículos do Brasil, entretanto estão envolvidos em 16,7% de todos os acidentes nas rodovias federais (Brasil, 2017). Expostos a jornadas de trabalho, muitas vezes, exaustivas, os caminhoneiros trabalham em situações de

risco, em que a falta de segurança e o tempo longe dos seus familiares são algumas das principais dificuldades da profissão (CNT, 2019).

O Estado do Rio de Janeiro possui uma frota em expansão, estimada em cerca de 6.725.822 veículos (IBGE, 2020). Informações do Dossiê Trânsito, um levantamento feito pelo Instituto de Segurança Pública (ISP) e o Detran/RJ, mostram que no ano de 2018, 1.957 pessoas morreram e 27.520 ficaram feridas em acidentes de trânsito no Estado do Rio de Janeiro, uma média de seis vítimas fatais a cada dia (Boechat, 2019). Os locais de acidentes de trânsito são informações de importância crucial para compreender as causas e implementação de medidas de segurança no trânsito. Com a evolução das geotecnologias, estudos georreferenciados permitem uso de técnicas estatísticas para análise e otimização para tomada de decisões quando inseridos em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) (Hashimoto et al, 2016).

O presente trabalho objetiva estudar ferramentas espaciais em SIG, nas análises de acidentes de trânsito envolvendo veículos pesados nas rodovias federais no Estado do Rio de Janeiro. Na metodologia adotou-se a revisão da literatura de tecnologias em SIG, subsequente aplicação em estudo de caso e comparações dos métodos utilizados.

ESTUDOS E MÉTODOS DE ANÁLISE DE ACIDENTES DE TRÂNSITO

As técnicas existentes para análise, redução e prevenção de acidentes de trânsito disponíveis na literatura apresentam procedimentos semelhantes entre si, ainda sendo mais comuns os programas de tratamento de pontos críticos e programas de aplicação de soluções típicas (iluminação, sinalização, semáforos em travessias de pedestres, redutores de velocidade etc.). De acordo com o CONTRAN (2005, p.7), trecho crítico é definido como “o segmento onde é necessário praticar velocidade reduzida”. Consideram-se segmentos críticos aqueles que apresentam médias de acidentes iguais ou superiores a uma referência pré-estabelecida. As sistemáticas de identificação mais utilizadas consistem no fato dos acidentes, apesar de sua ampla distribuição espacial, tendem a agrupar-se em determinados locais da malha viária. As metodologias de identificação de locais críticos de acidentes de trânsito são de fundamental importância, juntamente com a escolha dos métodos mais adequados para a eficácia dos estudos. As metodologias mais amplamente difundidas encontradas na literatura são, de modo geral, classificadas em: numéricas, estatísticas, técnicas do conflito e auditoria de segurança viária (Brasil, 2002).

Dos métodos disponíveis, os numéricos podem ser considerados os de mais fácil cálculo e aplicação para a identificação de locais perigosos. Os locais críticos são apurados a partir do cálculo da quantidade de acidentes e taxas de acidentes. São declarados como locais críticos aqueles cujos indicadores sejam maiores que um determinado valor de referência. Os métodos Numéricos subdividem-se em dois grupos (Brasil, 2002):

- A. **Absolutos** – Dividem-se em: Técnica do Número de Acidentes, essa técnica considera como locais críticos aqueles com quantidade de acidentes superior à média aritmética dos acidentes registrados nos respectivos segmentos (Brandão, 2007). E a Técnica da Severidade de Acidentes, esta técnica considera a frequência e a severidade dos acidentes (utilizam o conceito de Unidade Padrão de Severidade - UPS) (DENATRAN, 1987; Brasil, 2002).

- B. **Relativos** - Dividem-se em: Técnica da Taxa de Acidente, onde a quantidade de acidentes de trânsito é relacionada com o volume de tráfego do respectivo local (DNER, 1986; Pline, 1992). Já a Técnica da Taxa de Severidade, onde a severidade, expressa em UPS, é relacionada com o volume de tráfego no local (Brasil, 2002).

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISES ESPACIAIS

Os SIG são projetados para agregar dados espaciais de diversas fontes em um banco de dados, normalmente utilizando estruturas de dados digitais e representando fenômenos espacialmente variáveis como uma série de camadas (*layers*) de dados. Essas camadas podem ser mapas, estruturas, censos, uso do solo, entre outros. É feito então o tratamento computacional dos dados geográficos e os respectivos atributos desses dados georreferenciados, ou seja, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica (Câmara et al, 2004b).

Estudos e análises, com o viés espacial, vêm se tornando cada vez mais comuns, por mérito da disponibilidade de SIGs de baixo custo e com interfaces de fácil interpretação. Muitos dados de uso comum, tais como os dados censitários, possuem uma referência espacial que pode ser analisada. Entretanto, ponto fundamental da análise espacial é a qualidade dos dados no processo de coleta, processamento, análise e descrição dos dados (Câmara et al, 2004a). As análises espaciais reconhecem que todos os locais têm um grau intrínseco de singularidade devido a sua posição em relação ao restante do sistema espacial. Em consonância com essa afirmação, existe a Lei de Tobler (1970), também conhecida como primeira lei da geografia: “Invoco a primeira lei da geografia: tudo está relacionado a todo o resto, mas coisas próximas são mais relacionadas do que coisas distantes” (Miller, 2004, p. 284, tradução do autor).

As ferramentas de análise espacial podem ser divididas em seleção, manipulação, análise exploratória e análise confirmatória (Anselin, 1995). Seleção é a escolha e amostragem de unidades observacionais de bancos de dados, com resultados e procedimentos de amostragens. Manipulação de dados abrange os procedimentos de disposição, agregação, sobreposição e interpolação necessários para criar dados espaciais. Análises Exploratórias buscam descrever distribuições espaciais globais e locais, descobrir padrões de associação espacial (*clusters*), sugerir instabilidades espaciais e identificar situações atípicas (*outliers*). Análises Confirmatórias tem como ponto de partida um modelo teórico, como testes de hipóteses, modelagem, autorregressão, validação, necessários à implantação de análises multivariadas com os componentes espaciais.

Análises espaciais são usadas para especificar geograficamente os locais onde ocorreram fenômenos de interesse e avaliar padrões específicos de distribuição através da visualização de dados em mapas. As técnicas de análise espacial em SIG mais usadas na literatura para analisar acidentes de trânsito são (Satria e Castro, 2016):

- KDE (Estimativa de Densidade de Kernel) utiliza uma varredura como meio de analisar a densidade de acidentes em uma área de interesse;
- Índice de Moran (I) Global é uma ferramenta estatística que mede autocorrelação espacial dos locais de acidentes (Moran, 1948);

- Índice de Moran (I) Local caracteriza cada local com um índice que denota a contribuição individual para a autocorrelação global. É considerada como um Indicador de Associação Espacial Local (LISA) (Moons et al, 2009);
- Getis-Ord Gi* também é um método LISA, que verifica em um mapa locais com índices semelhantes ou diferentes de determinado atributo (Getis e Ord, 1992).

Embora SIGs tenham sido usados por mais de trinta anos, cada vez mais têm sido utilizados no campo dos transportes. Além disso, o SIG torna a análise mais interativa e oferece uma plataforma para manter e atualizar o banco de dados de registros de acidentes, usando-o para obter diferentes visões em análises e estudos (Jayan e Ganeshkumar, 2010).

Ahmadi et al (2017) desenvolveram um estudo para especificar as capacidades de um SIG no gerenciamento de informações de acidentes de trânsito. Dentre as capacidades, destacam-se: Recursos para salvar e recuperar dados de acidentes; Recursos e ferramentas para análise de acidentes e pontos críticos (*hotspots*); Possibilidade de usar vários bancos de dados; Recursos de design de sistema, de interface de usuário e de interface gráfica; Recursos para saída e geração de relatórios; Recursos de suporte à decisão de localização de centros de emergência, delegacias, hospitais e a eficácia desses centros.

O uso do SIG na promoção da segurança viária é visto, no estudo de Soleimani & Jahani (2009), como a melhor solução para coletar, salvar e apresentar informações geográficas relacionadas a acidentes de trânsito e promover uma maior segurança das estradas. Em um outro viés, o trabalho de Badin et al (2002) desenvolveu um protótipo em SIG para planejamento e gerenciamento de placas de sinalização viária em Joinville, de forma a manter e atualizar um banco de dados georreferenciados de toda a sinalização vertical instalada.

Meinberg (2003) apresenta metodologia para modelagem e desenvolvimento de um projeto de georreferenciamento de acidentes de trânsito em Belo Horizonte. Por meio de rotinas de criação de mapas temáticos e interfaces desenvolvidas o programa, chamado “GeoTrans” permite, analisar o tipo de acidente, a severidade, o período e o local na cidade mineira. Schmitz (2011), por sua vez, utilizou um software SIG para analisar espacialmente trechos críticos da rodovia BR-285, no Rio Grande do Sul. Através do SIG foram criadas várias interfaces de análise e de visualização de cenários dos dados. A sobreposição das imagens de satélite, da malha viária, dos segmentos e dos pontos de acidentes de trânsito permitiram percepção dos problemas e possibilitaram intervir a partir desse diagnóstico.

O CAVIAR, apresenta-se como um sistema desenvolvido para a Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro (CET-RIO) com o objetivo de permitir a análise das informações de trânsito e para apoiar as atividades de planejamento do sistema viário no município do Rio de Janeiro. Suas características principais são o georreferenciamento de informações viárias urbanas (estacionamento, cálculo volumétrico, sinalização, linhas de ônibus, postos de saúde, pontos de ônibus e de taxi, acidentes e etc.) e a possibilidade da operação descentralizada nas diversas estruturas regionais da CET-RIO. Ele utiliza dados do Corpo de Bombeiros e permite a identificação dos pontos críticos de acidentes com vítimas (Soares et al, 2004).

Quando se fala de uso de análises espaciais em SIG para acidentes de trânsito, tanto no Estado do Rio de Janeiro quanto para veículos pesados, a literatura ainda carece de estudos. Faz-se necessário

anos, de 2017 até 2019, conforme sugerido e usado na literatura (Al-Omari et al, 2019). Volumes de Tráfego e mapas da malha viária (Sistema Viário Nacional – SNV de 2020), foram obtidos junto ao DNIT (2020). A Tabela 1 apresenta a distribuição geral dos dados que foram utilizados nas análises, abordando a gravidade do acidente em relação com o ano de ocorrência.

Ano	Total de acidentes	Sem vítimas	Com vítimas Leves	Com vítimas Graves	Com Fatalidades
2017	1603	714	619	152	118
2018	1251	385	598	175	93
2019	1122	300	531	174	117

Tabela 1: Acidentes por ano e severidade nas estradas federais do Rio de Janeiro. Fonte: BRASIL (2019).

ESCOLHA DO SOFTWARE E PROCESSAMENTO DE DADOS

Optou-se pelo software ArcGIS 10.7.1, que é um conjunto integrado de produtos de software SIG, produzido pela ESRI. Manteve-se como padrão a projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000, por ser o sistema geodésico de referência para atividades da cartografia brasileira, de acordo com a resolução 01/2015 do IBGE. Dentre as informações da PRF, estão inclusos dados vitais sobre acidentes, como a data e hora dos acidentes, tipos de acidentes, veículos envolvidos, idade e sexo dos motoristas, o número de feridos, severidade dos acidentes, etc. Para destacar a natureza cronológica dos dados, foram utilizados *Spiderplots*, método este que permite uma visualização da distribuição temporal dos dados.

ESTIMATIVA DA DENSIDADE DE KERNEL

A estimativa da densidade de Kernel (KDE) é uma técnica de interpolação, que é um método para generalizar pontos de interesse em uma área definida. Uma das vantagens dessa representação, particularmente para acidentes rodoviários, é que eles podem fornecer uma visão mais realista de um modelo contínuo de densidades de pontos críticos (Anderson, 2007). A Equação (1) usa um Kernel quártico e é calculada para cada local em que se deseja estimar a densidade. Os cálculos são aplicados ao centro de cada célula (*pixel*) (ESRI, 2019).

$$\hat{\lambda} = \sum_{i=1}^n \frac{3}{\pi\tau^2} \left(1 - \frac{h_i^2}{\tau^2}\right)^2 \quad (1)$$

Sendo que:

$\hat{\lambda}$ = densidade no local s

τ = Área de Influência

h = distância entre o ponto i e a localização (x,y)

Elaborou-se mapas utilizando o KDE para criar uma superfície (*Raster*) da densidade dos acidentes. Para os mapas de Kernel, baseando-se na literatura, utilizou-se área de influência de 2000 metros e o tamanho de *pixel* de 200 metros. Esses parâmetros definem a região (vizinhança) na qual o KDE foi calculado (Hashimoto et al, 2016; Agyakwah, 2018; Famili et al, 2018).

ESTATÍSTICAS ESPACIAIS

Para execução das estatísticas espaciais em SIG, optou-se pelos Índices de Moran (I) Global e Local, com os mesmos parâmetros em ambos os casos (Moons et al, 2009; Agyakwah, 2018). As análises estatísticas espaciais foram separadas em dois momentos. Inicialmente, elaborou-se as análises (Índices de Moran (I) Global e Local) utilizando-se como atributo a Incidência de pontos e, posteriormente, utilizando-se como atributo a Severidade. Para os casos de Incidência, foi utilizada uma ferramenta do SIG que identifica e agrega pontos a uma determinada distância um dos outros (utilizou-se aqui raio de zoom), assumindo-se uma mesma coordenada para eles. Em seguida, combinam-se pontos coincidentes e cria-se um novo atributo chamado *ICount* para armazenar a união de todos os incidentes em cada raio (Prasannakumar et al, 2011).

Para Severidade, utilizou-se um peso (UPS) que foi utilizado como atributo principal nas análises estatísticas espaciais. Baseado em valores utilizados na literatura, escolheu-se as ponderações 1, 3, 7 e 13, respectivamente, para acidentes sem vítimas, acidentes com vítimas leves, acidentes com vítimas graves e acidentes com fatalidades (DNER, 1986; DENATRAN, 1987; Brasil, 2002; Aghajani et al, 2017).

Para calcular o grau de dispersão ou concentração dos acidentes foi utilizado o ‘Índice de Moran (I) Global’. Essa ferramenta avalia sua significância através de três variáveis de resultado: Índice de Moran, Z-score e P-value. Se os valores no conjunto de dados tendem a se agrupar espacialmente (valores altos se agrupam perto de outros valores altos e valores baixos se agrupam perto de outros valores baixos), o Índice de Moran será positivo. Este índice costuma variar entre -1,0 e + 1,0 (ESRI, 2019).

Os Z-scores e P-values são medidas de significância estatística que indicam se o agrupamento espacial observado de valores altos (ou baixos) é mais intenso do que se esperaria em uma distribuição aleatória. Um Z-score alto e um P-value pequeno indicam um *hotspot* significativo. Um baixo Z-score negativo e pequeno de P-value indicam um *coldspot* significativo. P-values possuem faixas de níveis de significância estatística de 0,10, 0,05 e 0,01 ou, respectivamente, nível de confiança de 90%, 95% e 99% (Getis e Ord, 1992).

A Equação (2) para cálculo do ‘Índice de Moran (I) Global’ pode ser definida por:

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

Sendo que:

n = número de pontos

Z_i = diferença do atributo de um ponto pela sua média ($X_i - \bar{X}$)

$w_{i,j}$ = diferença espacial entre os pontos i e j

S_0 = agregado de todos os pesos espaciais.

A verificação dos *hotspots* localmente, estatisticamente significantes, com o ‘Índice de Moran (I) Local’ pode ser dada pela expressão descrita na Equação (3), criada por Anselin (1995), aplicando o conceito de LISA.

$$I_i = \frac{n}{(n-1)S^2} (x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij}(x_j - \bar{x}) \quad 3)$$

Sendo que:

n = número de pontos;

x_i = atributo do acidente no local i ;

$\bar{x}$ = número médio do atributo dos acidentes em toda a região de estudo;

w_{ij} = Ponderação representando a distância entre o local i e j ;

S^2 = Variação dos valores observados.

Enquanto o índice global tem como *output* um relatório com os dados do resultado da análise de autocorrelação espacial, o ‘Índice de Moran (I) Local’ tem como *output* um *layer* com cinco categorias de *hotspots*: ‘Não significantes’, ‘High-High Cluster’, ‘High-Low Outlier’, ‘Low-High Outlier’ e ‘Low-Low Cluster’. Apenas localidades com significância estatística ($P\text{-value} < 0.01$) e High-High clusters (Alta incidência de valores altos de Incidência ou Severidade) foram selecionadas como *hotspots* para esta pesquisa.

MÉTODO NUMÉRICO-RELATIVO (DENATRAN, 1987)

Para comparação com as análises espaciais em SIG, utilizou-se metodologia criada pelo DENATRAN em conjunto com a Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ. Com essa metodologia, avalia-se também a influência do volume de tráfego, em relação aos acidentes de trânsito. Por esse motivo, e por sua praticidade, costuma ser utilizada em pesquisas (Paro, 2009; Schmitz, 2011; Massaro, 2018). Para cálculo da Incidência de acidentes, calculou-se para cada segmento de 1km da rodovia, a Taxa de Acidentes, expressa pela Equação 4:

$$T.A. = \frac{N^{\circ}Acid. \times 10^6}{P \times VMD \times E} \quad (4)$$

Sendo que:

T.A = Taxa de Acidentes por milhões de veículos;

$N^{\circ} Acid$ = número de acidentes no trecho;

P = período do estudo, em dias (geralmente 365 dias);

VMD = Volume Médio Diário que passa no trecho;

E = extensão do trecho (em km).

Para a Severidade, o método do DENATRAN calcula, para cada segmento da rodovia de 1km, uma Unidade Padrão de Severidade (UPS), que pode ser expressa pela Equação 5.

$$UPS = A.S.V. + A.C.V. \times 5 + A.C.F. \times 13 \quad (5)$$

Sendo que:

A.S.V. = Número de acidentes sem vítimas;

A.C.V. = Número de acidentes com vítimas;

A.C.F. = Número de acidentes com fatalidades.

Com a UPS, calculou-se a Taxa de Severidade, expressa pela Equação 6.

$$T.S. = \frac{UPS \times 10^6}{P \times VMD \times E} \quad (6)$$

Sendo que:

T.S = Taxa de Severidade em UPS por milhões de veículos;

UPS = Unidade Padrão de Severidade;

P = Período do estudo, em dias (geralmente 365 dias);

VMD = Volume Médio Diário que passa no trecho;

E = Extensão do trecho (em km).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Distribuição temporal

Após análise dos dados, verificou-se que o número de acidentes foi maior no verão (coincidindo com a maior concentração de chuvas no Rio de Janeiro, entre os meses de dezembro a março). Acidentes se concentraram nos dias de semana (maiorias de dias de trabalho para motoristas profissionais), com maiores picos na sextas-feiras, cerca de 25% acima da média dos outros dias da semana.

Na Figura 2, os acidentes foram desmembrados em quatro categorias e permitem a visualização de tendências em horários. A Figura 2a apresenta tendência com picos ao redor de 7:00 (com uma presença maior às 10:00) e às 16:00 de acidentes sem vítimas. Quando se aumenta em um nível de severidade (Figura 2b), para os com vítimas leves, o *spiderplot* começa a mudar a forma e sofrer um alargamento para as laterais, mas ainda mantendo uma predisposição aos horários de *rush*. Na Figura 2c, ao se abordar os acidentes com vítimas graves, a propensão geral muda e o gráfico sofre um espalhamento. Picos no horário noturno ao redor 21:00 surgem e essa modificação nos gráficos se confirma no último quando se abordam os acidentes fatais. Na Figura 2d o pico com maior número de

acidentes fatais ocorre entre 23:00 e 00:00, assim como uma distribuição também em horários como 4:00 e 6:00 da manhã. Acidentes nesses períodos costumam ter uma maior gravidade, os motoristas tendem a estar mais cansados, menos atentos, com menor visibilidade e com excesso de velocidade (Le et al, 2019; Dabalo, 2020).

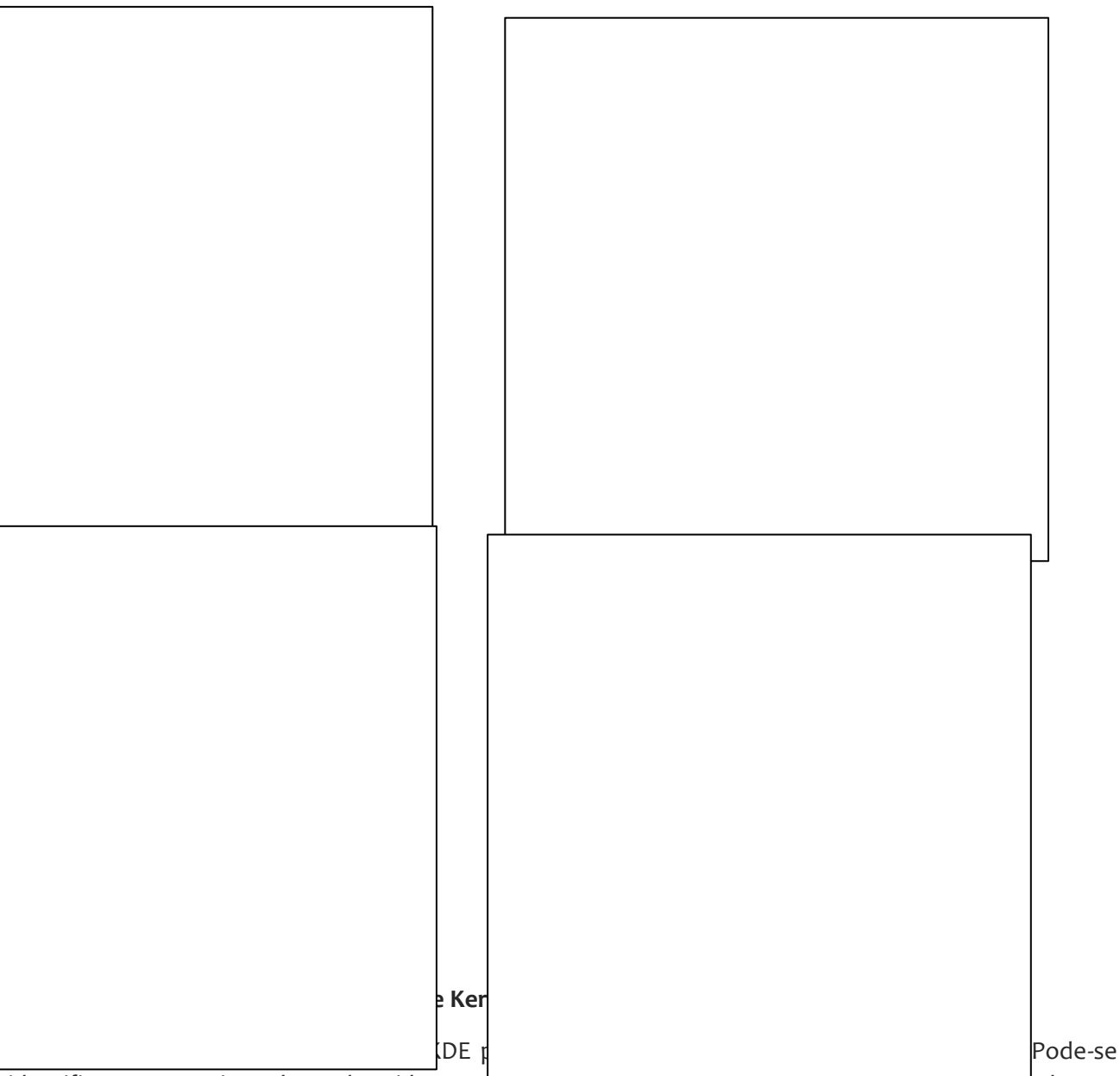


Figura 2: Gravidade dos acidentes por horário. Fonte: Brasil (2019).

ESTIMATIVA DE DENSIDADE DE KERNEL (KDE)

Na Figura 3 foi elaborado, em SIG, o KDE para os acidentes em mapas separados por ano. Pode-se identificar que o maior volume de acidentes se concentra próximo à região metropolitana do Rio de Janeiro. A Região Metropolitana concentra a capital, infraestrutura e mão-de-obra, formando o maior parque industrial do estado. Outra região de destaque é a do Médio Paraíba, que depois da Metropolitana, é a mais industrializada do Estado do Rio de Janeiro, destacando-se o eixo Volta Redonda,

Barra Mansa e Resende. A área industrial requer contínuo transporte de cargas em uma região urbana cortada pelas BR-116, BR-393 e BR-494.

Legenda

- Rodovias Federais
- Regiões de Governo
- Limites estaduais

Estimativa de Densidade Kernel

- Sem informação
- Muito baixo
- Baixo
- Médio
- Alto
- Muito alto

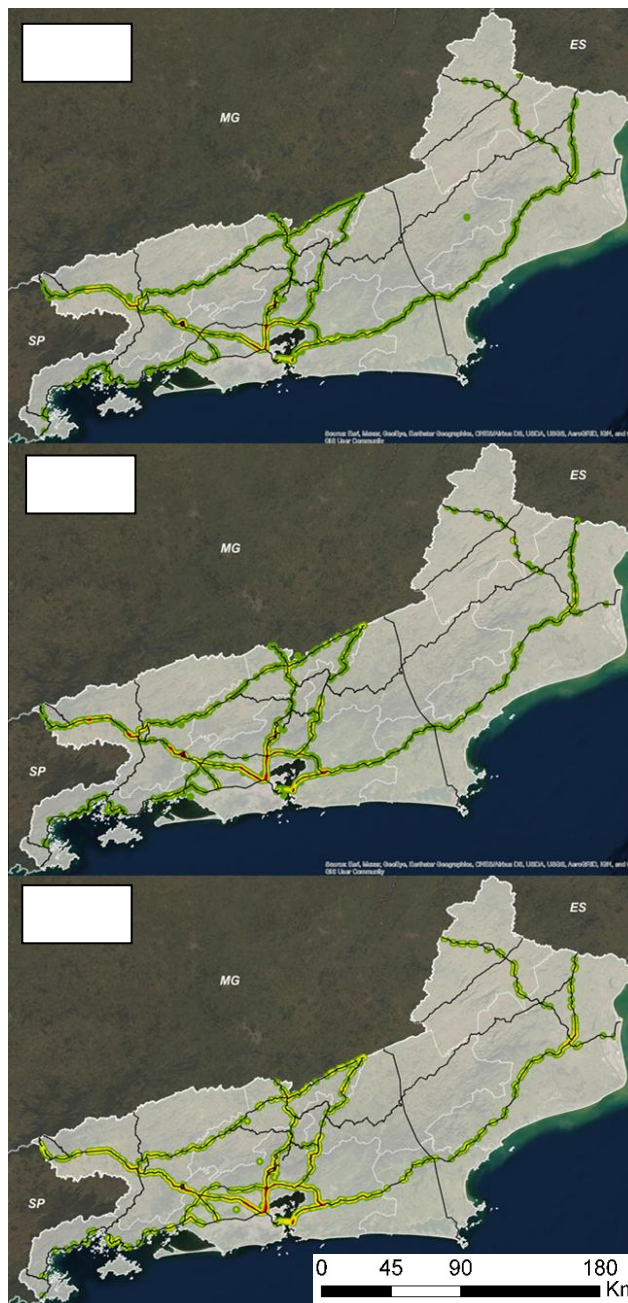


Figura 3: Estimativa de Densidade de Kernel por ano.

KDE tem sido amplamente utilizado para acidentes de trânsito pela sua simplicidade e facilidade de compreensão (Jayan & Ganeshkumar, 2010; Prasannakumar et al, 2011; Shafabakhsh et al, 2017; Le et al, 2019).

ESTATÍSTICAS ESPACIAIS

Usando o Índice de Moran (I) Global, foi obtida a autocorrelação espacial dos acidentes. O Z-score e o Índice de Moran (I) Global encontrados foram de aproximadamente 17,14 e 0,38, respectivamente, o que por sua vez, verifica que os eventos apresentam forte autocorrelação espacial. O $P\text{-score} < 0,01$ informa que essa avaliação possui uma significância estatística superior a 99%. Após a análise global de autocorrelação espacial, verificou-se localmente como estão distribuídos os acidentes. A utilização do ‘Índice de Moran (I) Local’ resultou no mapa da Figura 4a, onde foram mantidos apenas os *clusters* “High-High”, ou seja, apenas as altas concentrações de valores altos de acidentes ($P\text{-score} < 0,01$ e $Z\text{-score} > 2,58$). Foram encontrados 66 *hotspots* que atendiam a esses requisitos (Figura 4a).

Constata-se que os pontos críticos de Incidência de acidentes localizam-se em áreas semelhantes às áreas de alta densidade de acidentes no KDE da Figura 3. O ‘Índice de Moran (I) Local’ também tem sido cada vez mais utilizado para identificação de pontos críticos de acidentes de trânsito (Erdogan, 2009; Moons et al, 2009; Agyakwah, 2018).

O resultado gerado para o Índice Global de Moran (I) para Severidade teve Z-score e o Índice de Moran (I) Global de, aproximadamente, 3,05 e 0,04, respectivamente. Estes resultados permitem afirmar que os eventos, analisando a Severidade, possuem autocorrelação espacial (menos intensa do que a de Incidência de acidentes). O $P\text{-score} < 0,01$ informa que essa avaliação possui uma significância estatística superior a 99%. Aqui se percebe, pelas variáveis encontradas, que a Severidade dos acidentes é menos concentrada (*clusterizada*) e mais dispersa para veículos pesados no Estado do Rio de Janeiro do que a Incidência deles.

Na análise local os *hotspots* identificados estavam mais dispersos no mapa e demonstraram que condições diferentes afetam a severidade e incidência dos acidentes. Foram encontrados 97 pontos críticos “High-High” (Figura 4b). Destaca-se trecho da BR-116 entre as regiões Metropolitana (Guapimirim) e a Serrana (Teresópolis), onde pôde-se identificar 6 *hotspots* de acidentes com alta severidade. Esses pontos se encontram em uma região de serra com muitas curvas bruscas, o que torna ainda mais perigoso e arriscado para veículos pesados.

Método DENATRAN (1987)

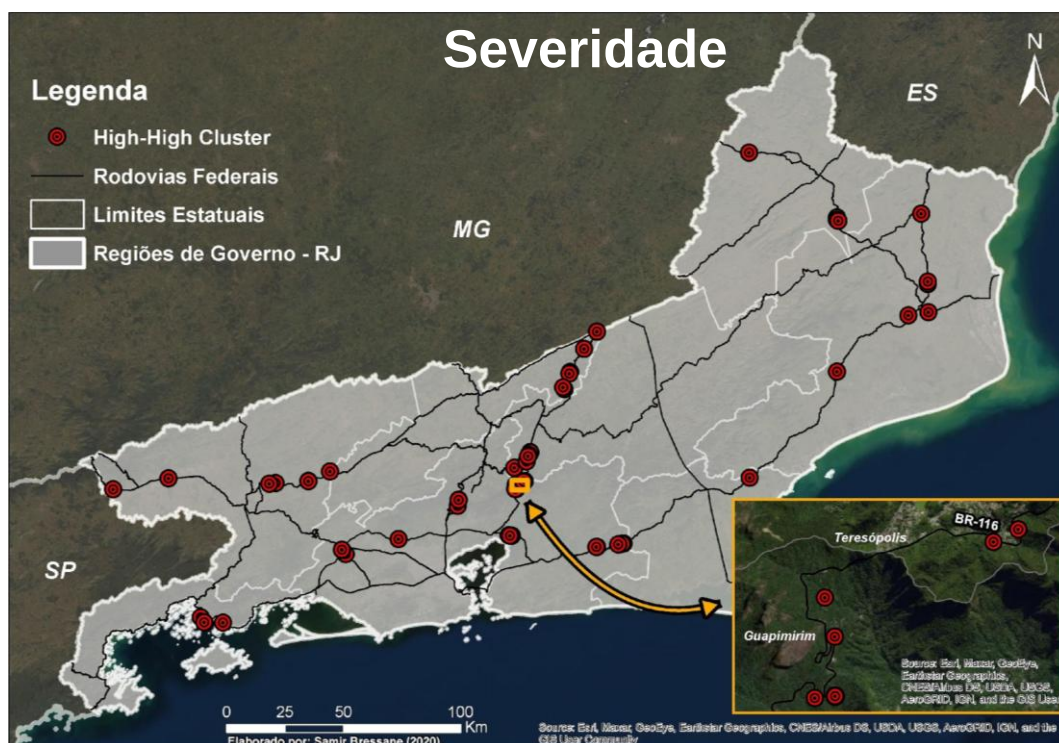
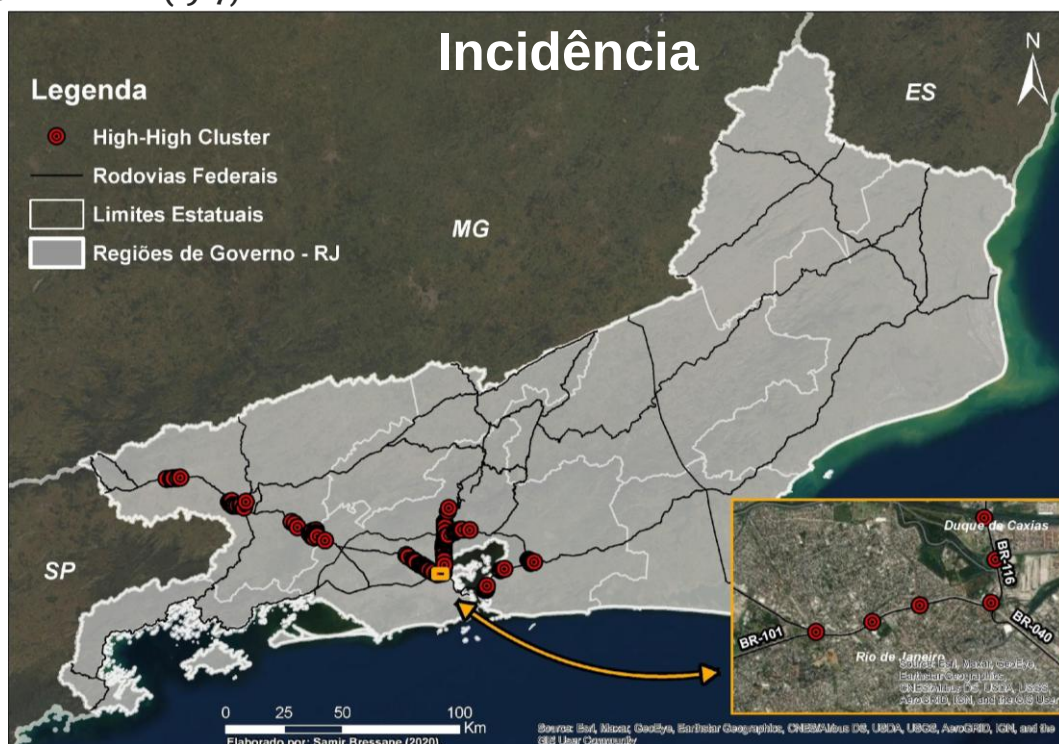


Figura 4: Hotspots High-High da análise do Índice de Moran (I) Local para Incidência (a) e Severidade (b) dos acidentes.

Após a organização dos acidentes e cálculos das taxas na metodologia do DENATRAN (1987), foram obtidos os resultados das taxas para todos os trechos das rodovias. A lista é longa (uma linha por trecho de 1km por rodovia), logo destacam-se aqui os 20 trechos com as maiores taxas para representação e discussão do método. As 'Taxas de Acidente' encontradas para os vinte trechos mais críticos variaram entre 2,88 e 7,89 Acidentes/Milhão de veículos x km. Os três trechos com as maiores 'Taxas de Acidente' estão no início da BR-493, no município de Itaboraí, próximo à intersecção com a BR-101.

As Taxas de Severidade encontradas para os vinte trechos mais críticos variaram entre 14,67 e 35,94 UPS/Milhão de veículos x km. Muitos dos trechos da BR-493 também se repetiram, com a adição de alguns trechos localizados mais nas regiões Norte e Noroeste Fluminense (BR-101 e BR-356, respectivamente).

COMPARAÇÃO ENTRE AS METODOLOGIAS

O KDE nesta pesquisa demonstrou ser uma ferramenta muito boa para visualização e representação direta de densidades de acidentes. Todavia, ele carece de mais informações e atributos. Percebe-se o KDE como uma boa ferramenta de complemento às outras. Para melhor comparar as metodologias numérico-relativas e as estatísticas espaciais, os vinte trechos identificados como mais críticos, na metodologia do DENATRAN (1987), foram mapeados e plotados dentro do software SIG. Em seguida adicionou-se a este mapa os resultados dos vinte *hotspots* das análises estatísticas espaciais que possuíam os maiores Z-score, variável responsável pelo grau de *clusterização* dos dados (Figuras 5a e 5b).

A região destacada na Figura 5a (intersecção entre as BR-040 e BR-116) mostra a sobreposição de pontos críticos identificados por ambas as metodologias para Incidência de acidentes (Incidência e Taxa de Acidentes). Strauch (2004), estudando transporte de produtos perigosos no estado do RJ, analisou 1.694 veículos pesados, aonde 1.592 (93,4%) trafegavam nesta região. O autor destaca o volume de veículos com carga perigosa nessas porções do território fluminense e caracteriza as vulnerabilidades do meio ambiente do entorno da BR-116 Rio-Teresópolis, que corta 26 cursos hídricos, 7 áreas de conservação e 15 municípios. A partir destas características nota-se que a área se apresenta de maneira muito sensível à degradação e com risco de possíveis contaminações por acidentes e vazamentos de produtos perigosos.

Na Figura 5b, comparando-se as metodologias em Severidade (Severidade e Taxa de Severidade), destacou-se trecho da BR-493, em que se concentram e se sobrepõem pontos críticos de ambos os métodos, principalmente devido ao contorno necessário na região (devido a restrições de veículos pesados na ponte Rio-Niterói). A oeste da área destacada também existe outra região de sobreposição de pontos críticos das metodologias: a intersecção entre as BR-465 e a BR-116. Tal região é considerada na literatura como crítica por possuir altos índices de acidentes com veículos pesados transportando produtos perigosos. Sendo mais crítico ainda, para essa categoria de transportes, nos trechos entre os quilômetros 211 e 228 da BR-116, na Serra das Araras. Essa área é caracterizada por possuir indústrias químicas, distribuídas ao longo do eixo rodoviário (Strauch, 2004).

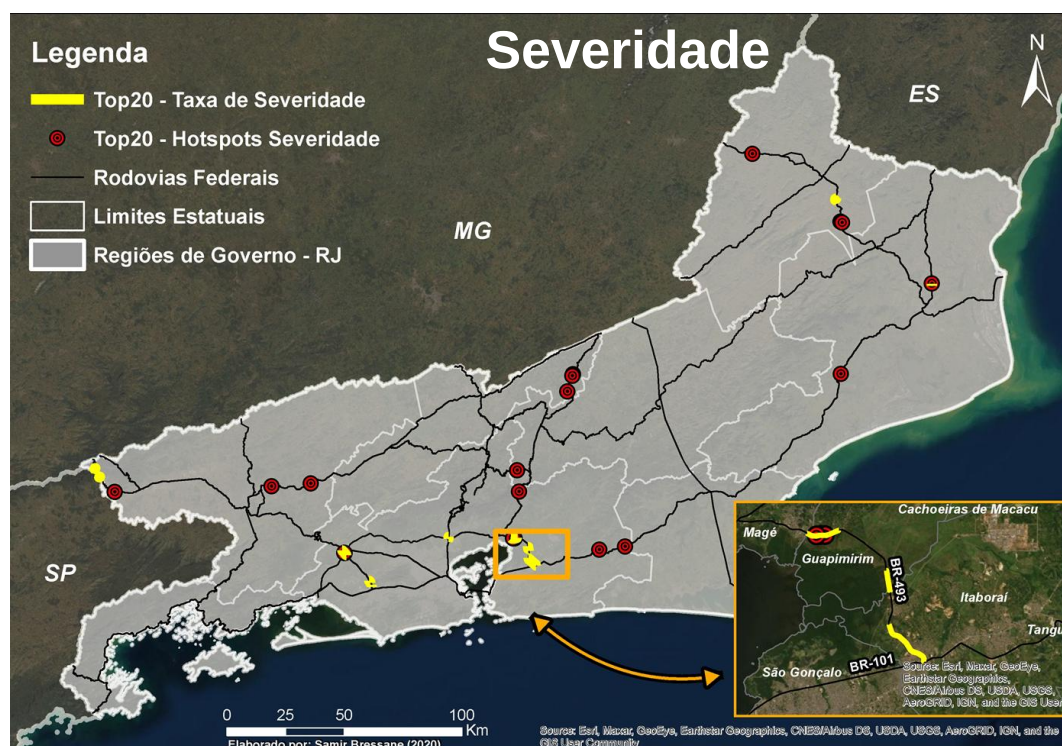
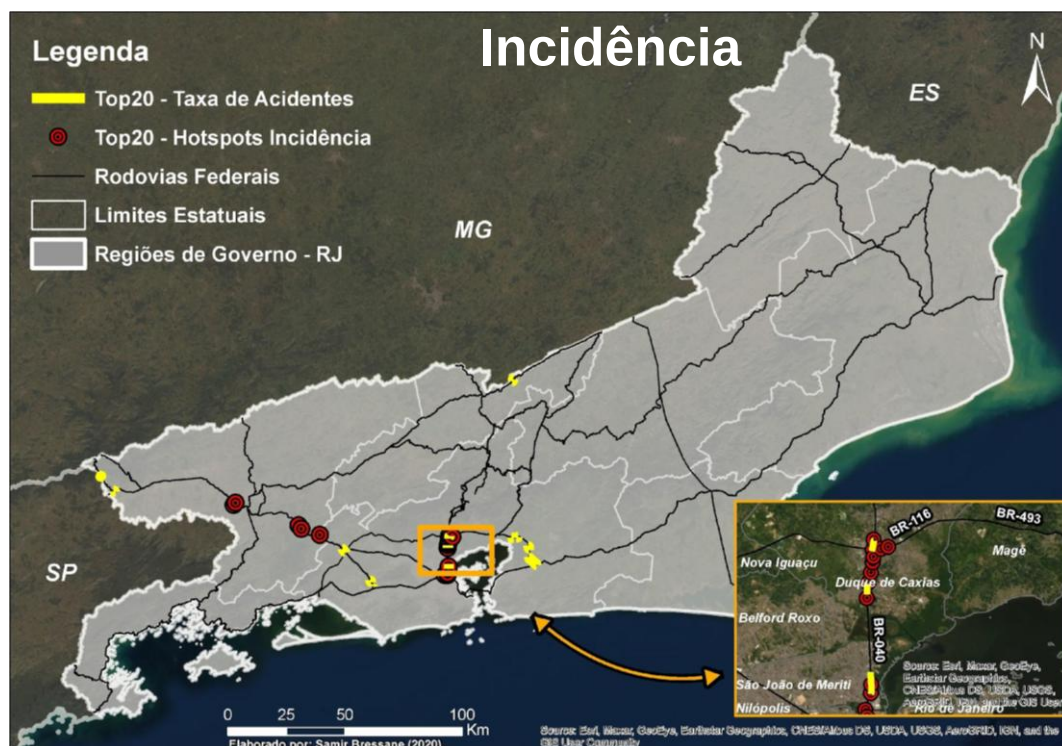


Figura 5: Comparação em SIG do Método Denatran e Hotspots para Incidência (a) e Severidade (b) de acidentes.

Uma vantagem dos modelos do DENATRAN (1987) ao considerar e balancear os resultados pelo volume de tráfego, também pode ser visto como um fator limitante. O volume parece ser muito

significativo no resultado da metodologia. As estradas com menores volumes médios obtiveram as taxas mais altas, tanto para ‘Taxa de Acidentes’ quanto para ‘Taxa de Severidade’. Paro (2009), utilizando metodologia do DNIT com uso também do VMD, ressaltou também a respeito da grande correlação existente entre a definição dos segmentos críticos e o volume de tráfego, a qual de certa forma acaba por tornar críticos, segmentos com um número de acidentes muito baixo. A autora ressaltava a necessidade de estudos para compreender esta correlação ou alterar as metodologias nacionais atuais.

Um outro ponto relevante é que a metodologia do DENATRAN (1987) dificulta a análise de acidentes que não ocorrem em trechos formais do eixo principal da via, como acessos, variantes e vias secundárias. Nesse quesito, as análises estatísticas espaciais, que fazem uso de coordenadas geográficas, permitem que o espectro de abrangência seja superior e, muitas vezes, mais preciso.

A metodologia de Análises espaciais em SIG, obteve no total, 66 *hotspots* para Incidência de Acidentes e 97 para Severidade considerados estatisticamente significativos. Por outro lado, a do DENATRAN (1987) consegue obter um resultado numérico (pontuação) para cada trecho, obtendo um ranking completo de todos os trechos de todas as rodovias.

OUTRAS FUNCIONALIDADES POSSÍVEIS PARA ACIDENTES DE TRÂNSITO EM SIG

As funcionalidades em SIG demonstradas nesta pesquisa para acidentes de trânsito representam pequena parcela das possibilidades de utilização desses sistemas. O registro de informações nesses bancos de dados vai além de apenas coordenadas geográficas. No trabalho de Wolff & Asche (2016) foi empregado o SIG para a identificação de *hotspots* de crimes detectados na cidade de Postdam, na Alemanha. Aghajani et al (2017) aplicaram análises LISA, Moran (I) Local e Getis Ord Gi* para identificar *hotspots* na província de Ilam, no Irã, incluindo análise um *layer* de precipitação e uma superfície modelada com os valores de elevação em cada trecho do estudo. O trabalho de Ye et al (2014) avaliou uma abordagem com SIG na produção de *hotspots* para ADAS (Sistemas Avançados de Assistência ao Motorista). Destacam-se as perspectivas de aplicação em plataformas móveis, smartphones, sistemas de telemática veicular etc. Os dados em tempo real podem ser analisados para desenvolver novas formas de compreensão do tráfego.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa discutiu acerca de métodos de identificação de locais críticos de acidentes de trânsito com veículos pesados a partir de dados disponíveis da PRF, no Estado Rio de Janeiro. O número de acidentes foi maior durante o período do verão, entre os meses de dezembro e março. Concentrando-se nos dias de semana, com pico nas sextas-feiras. A incidência dos acidentes se acumulou nos horários de *rush*, entre 7h e 9h, e 16h e 18h. Enquanto a severidade dos acidentes foi encontrada em maior número no período noturno, entre 23h e 00h. A estimativa de densidade de Kernel (KDE) verificou maior densidade de acidentes em dois locais, próximos à Região Metropolitana e na região do Médio Paraíba. Mesmo com a falta de significância estatística, o KDE se mostra como uma boa forma de representação de dados de acidentes de trânsito.

O uso do ‘Índice de Moran (I) Global’, para Incidência de acidentes, demonstrou forte autocorrelação espacial e presença de *cluster* significativos. Os *hotspots* de Incidência de acidentes localizaram-se em áreas semelhantes às de alta densidade no KDE, entretanto, com significância estatística dos *hotspots* encontrados. O uso do ‘Índice de Moran (I) Global’ para Severidade mostrou autocorrelação espacial (menor que a Incidência) e presença de *cluster* significativos. Com presença de alta severidade na região Serrana e outros pontos mais dispersos ao longo de outras regiões do Estado

do Rio de Janeiro. Utilizando a metodologia do Denatran (1987), as maiores Taxas de Acidente estavam no início da BR-493, no município de Itaboraí, próximo à intersecção com a BR-101. As 'Taxas de Severidade' encontradas mais críticas estavam em trechos também da BR-493, com a adição de alguns trechos nas regiões Norte e Noroeste Fluminense na BR-101 e BR-356, respectivamente.

Nas metodologias Denatran pode-se ressaltar as vantagens da inclusão de volumes de tráfego e obtenção de uma pontuação de risco para cada trecho da rodovia. Adicionalmente, é método mais simples e que exige processamentos menos complexos de dados. Para as análises espaciais em SIG, destacam-se as vantagens de se obter resultados estatisticamente significativos, possuir uma abrangência espacial por usarem coordenadas geográficas e possibilidades futuras de integração com outras tecnologias.

A pesquisa demonstrou a capacidade de um SIG na identificação e representação dos pontos críticos de acidentes no Estado do Rio de Janeiro, podendo ser replicada, aperfeiçoada ou expandida em municípios, rodovias ou trechos específicos. Percebe-se que as técnicas para abordagens estatísticas, juntamente com a percepção e armazenagem em banco de dados em SIG demonstram potencial para serem exploradas por parte de órgãos e instituições gestores do trânsito no Brasil. Com o avanço das tecnologias, bancos de dados se mostram cada vez mais relevantes. Análises de pontos críticos podem ser feitas *online* e retroalimentadas instantaneamente por registros de boletins de ocorrência. Essa informação é muito valiosa e pode ser inclusive utilizada por aplicativos de roteirização e sistemas auxiliares a motoristas e empresas do setor rodoviário.

Recomendações para autoridades de trânsito, essa pesquisa menciona: a) Aumentar pontos e frequência da contagem de veículos. b) Manter banco de dados padronizado nacionalmente e sistema para processamento e armazenamento dos dados de tráfego e acidentes. c) Melhorar, padronizar e continuamente treinar pessoal envolvido no registro dos dados. Para trabalhos futuros, sugere-se testar metodologias, com diferentes variáveis, nas análises espaciais em SIG, utilizando também análises estatísticas de correlação com a geometria, drenagem, sinalização e outras condições ambientais para propor medidas corretivas pontuais e específicas. O aprofundamento destas ferramentas resultará em um melhor gerenciamento dos riscos nas estradas, e inclusive com benefícios econômicos de longo prazo, melhor fluxo de tráfego e segurança para motoristas e pedestres.

REFERÊNCIAS

- AGHAJANI, M. A.; Dezfoulian, R. S.; Arjroody, A. R. and Rezaei, M. (2017) Applying GIS to Identify the Spatial and Temporal Patterns of Road Accidents Using Spatial Statistics. *Transportation Research Procedia*. Vol. 25. 2126-2138p. DOI 10.1016/j.trpro.2017.05.409.
- AGYAKWAH, M. (2018) Spatio-temporal patterns of vehicular accidents in Accra (Ghana). A Master dissertation submitted to faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente, Netherlands. Disponível em: essay.utwente.nl/83761/ (Acesso: 06 dez 2021)
- AHMADI, M. et al. (2017) Geographic Information System (GIS) capabilities in traffic accident information management: a qualitative approach. *Electron Physician*. Vol. 9, Issue 6. 4533-4540p. DOI: 10.19082/4533.
- AL-OMARI, A. A; Shatnawi, N.; Khedaywi, T. and Miqdady, T. (2020) Prediction of traffic accidents hot spots using fuzzy logic and GIS. *Appl Geomat*. Vol. 12. 149–161p. DOI: 10.1007/s12518-019-00290-7.

- ANDERSON, T. (2007) Comparison of spatial methods for measuring road accident ‘hotspots’: a case study of London. *Journal of Maps*. Vol. 3, Issue 1. 55-63p. DOI: 10.1080/jom.2007.9710827.
- ANSELIN, L. (1995) Local indicators of spatial association-LISA. *Geogr. Annals...* 27(2), 93–115. DOI: 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x
- BADIN, N.T. et al. (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. Anais... Curitiba. 1-8p. Disponível em: [www.abepro.org.br > enegep2002_tr92_1028](http://www.abepro.org.br/enegep2002_tr92_1028) (Acesso: 06 dez 2021)
- BOECHAT, I. (2019) Rio teve seis mortes de vítimas de acidentes de trânsito por dia em 2018. *Globo News – Rio de Janeiro*. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2019/09/17/rio-teve-seis-mortes-de-vitimas-de-acidentes-de-transito-por-dia-em-2018.ghtml> (Acesso: 06 dez 2021)
- BRANDÃO, L. M. (2007) Discussão sobre métodos para identificação de locais críticos em acidentes de trânsito no Brasil. Trabalho apresentado na disciplina de Infraestrutura viária IC 201 A. Campinas. Disponível em: www.sinaldetransito.com.br/artigos/identificacao_de_locais_criticos_de_acidentes.pdf (Acesso: 06 dez 2021)
- BRASIL (2002) Ministério dos Transportes. Procedimentos para o Tratamento de Locais Críticos de Acidentes de Trânsito. Programa PARE, Brasília.
- BRASIL (2017) Ministério dos Transportes, Portos e Aviação. Anuário Estatístico de Segurança Rodoviária. Brasília.
- BRASIL (2019) Ministério da Justiça e Segurança Pública. Departamento da Polícia Rodoviária Federal. Dados abertos – Acidentes. Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/prf/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos> (Acesso: 06 dez 2021)
- CÂMARA, G.; et al. (2004a) Análise Espacial e Geoprocessamento. In: Druck, S. et al. (eds). *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Brasília, EMBRAPA. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro> (Acesso: 06 dez 2021)
- CÂMARA, G., Monteiro, A.M.V e Medeiros, J.S. (2004b) Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In: Câmara, G.; Davis, C. e Monteiro, A.M.V., organizadores (eds). *Introdução à ciência da geoinformação*. São José dos Campos, INPE. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro> (Acesso: 06 dez 2021)
- CNT (2019) Confederação Nacional Do Transporte. Transporte em números. Brasília.
- CONTRAN (2005) Conselho Nacional De Trânsito. Resolução No. 180 Volume I - Sinalização Vertical de Regulamentação, do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Diário Oficial da União. Brasília.
- DABALO, E. L. (2020) Investigation of hotspot location and excessive speeding in Addis Ababa. M.Sc. Thesis. School of Civil and Environmental Engineering. Ethiopia.
- DENATRAN (1987) Departamento Nacional De Trânsito. Manual de identificação, análise e tratamento de pontos negros. 2ª edição, Brasília.

- DNER (1986) Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento. Um Modelo para Identificação dos Segmentos Críticos de uma Rede de Rodovias. Rio de Janeiro.
- DNIT (2020) Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. Sistema Viário Nacional 2020. Brasília.
- ERDOGAN, S. (2009) Explorative spatial analysis of traffic accident statistics and Road mortality among the
- ESRI (2019) Environmental Systems Research Institute. Tool Documentation. Redlands, CA.
- FAMILI, A.; Sarasua, W. A.; Ogle, J. and Shams, A. (2018) GIS Based Spatial Analysis of Pedestrian Crashes: A Case Study of South Carolina. International Conference on Transportation and Development. 368-376. DOI: 10.1061/9780784481530.037.
- GETIS, A. e Ord, J. K. (1992) The analysis of spatial association by use of distance statistics. Geographical Analysis. Vol. 24. 189–206p. DOI: 10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x
- HASHIMOTO, S. et al. (2016) Development and application of traffic accident density estimation models using kernel density estimation. Journal of Traffic and Transportation Engineering. Vol. 3, Issue 3. 262-270p. DOI: 10.1016/j.jtte.2016.01.005.
- IBGE (2020) Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Cidades e Estados. Brasília.
- JAYAN, K.D. e Ganeshkumar, B. (2010) Identification of Accident Hot Spots: A GIS Based Implementation for Kannur District, Kerala. International Journal of Geomatics and Geosciences. Vol. 1, Issue 1. 51-59p. Disponível em: <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijggs&volume=1&issue=1&article=005> (Acesso: 06 dez 2021).
- LE, K.; Liu, P. e Lin, L. T. (2019) Determining the road traffic accident hotspots using GIS-based temporal-spatial statistical analytic techniques in Hanoi, Vietnam. Geo-spatial Information Science. 1-12p. DOI: 10.1080/10095020.2019.1683437.
- MASSARO, C. M. (2018) Evolução da acidentalidade da malha rodoviária da região central do estado de São Paulo. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da UFSCar. São Carlos. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/10394?show=full> (Acesso: 06 dez 2021)
- MEINBERG, F. F. (2003) Projeto de Georreferenciamento de Acidentes de Trânsito com Vítimas em Belo Horizonte. Informática Pública. Vol. 5, Issue 1. 79-99p. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/FELIPE%20FURTADO%20MEINBERG.PDF> (Acesso: 06 dez 2021)
- MILLER, H. J. (2004) Tobler's First Law and Spatial Analysis. Association of American Geographers, Annals... 94(2), 284–289p. DOI: 10.1111/j.1467-8306.2004.09402005.x
- MOONS, E.; Brijs, T. e Wets, G. (2009) Improving Moran's Index to Identify Hot Spots in Traffic Safety. Geocomputation & Urban Plannin, Vol. 117, 117–132p.
- MORAN, P.A. (1948) The interpretation of statistical maps. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), Vol. 10, Issue 2. 243-251p. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2983777> (Acesso: 06 dez 2021)

- PARO, L. S. M. (2009) Contribuição metodológica para identificação de segmentos críticos em rodovias. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/93059> (Acesso: 06 dez 2021)
- PRASANNAKUMAR, V.; Vijith, H.; Charutha R. and Geetha, N. (2011) Spatio-temporal clustering of road accidents: GIS based analysis and assessment. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, Vol. 21, 317-325p. DOI: 10.1016/j.sbspro.2011.07.020
- SATRIA, R. e Castro, M. (2016) GIS Tools for Analyzing Accidents and Road Design: A Review. *Transportation Research Procedia*, Vol. 18, 242-247p. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.12.033
- SCHMITZ, A. (2011) Proposta metodológica baseada em GIS para análise dos segmentos críticos de rodovia: estudo de caso na BR-285/RS. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFSC. Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/95657> (Acesso: 06 dez 2021)
- SHAFABAKHSH, G.A.; Famili, A. e Bahadori, M.S. (2017) GIS-based spatial analysis of urban traffic accidents: Case study in Mashhad, Iran. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, Vol. 4, Issue 3. 290-299p. DOI: 10.1016/j.jtte.2017.05.005.
- SOARES, A.L.; Costa, O. P. e Tonioli, F. (2004) Cadastro Viário Georreferenciado com ênfase em Acidentes. II Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Anais... Aracaju-SE, 10-12p. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/labgeo/srgsr2/pdfs/poster11.pdf> (Acesso: 06 dez 2021)
- SOLEIMANI, M.R. e Jahani, T. (2009) Applications of GIS Software in Road traffic safety. *Journal of Traffic Management Study*. Vol. 4, Issue 14. 111-130p. Disponível em: www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=171172 (Acesso: 06 dez 2021)
- STRAUCH, C. E. (2004) Acidentes com produtos perigosos no transporte rodoviário no Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. FEN/UERJ. 216p. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.peamb.eng.uerj.br/producao.php?id=140> (Acesso: 06 dez 2021)
- VILELA, P. R. (2018) Brasil reduz mortes no trânsito, mas está longe da meta para 2020. Agência Brasil, EBC. Brasília. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-09/brasil-reduz-mortes-no-transito-mas-esta-longe-da-meta-para-2020> (Acesso: 06 dez 2021)
- WHO (2018) World Health Organization. Global status report on road safety 2018. 403p. Geneva. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684> (Acesso: 06 dez 2021)
- WOLFF, M. e Asche, H. (2009) Geospatial Crime Scene Investigation – From Hotspot Analysis to Interactive 3D Visualization. 285-299p. DOI: 10.1007/978-3-642-02454-2_20.
- YE, H.; Meng, X.; Yang, L. and Anand, S. (2014) Development of a Digital Accident Hotspot Map for ADAS Applications Using Geospatial Methods in GIS. *Journal of Navigation*. Vol. 67, Issue 3. 353–369p. DOI: 10.1017/s0373463313000805.

RECEBIDO EM: 25/07/2022

ACEITO EM: 11/07/2024