



**II CONPESQ**  
**Congresso de Pesquisa,  
Pós-Graduação e Inovação**

**Os novos rumos da ciência pós-pandemia**

12 a 16 de abril de 2021 Universidade Federal do Cariri - UFCA

**INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES  
ÁREAS DE AGREGAÇÃO NOS MODELOS  
MACROSCÓPICOS DA FREQUÊNCIA DE ACIDENTES DE  
TRÂNSITO**

**CAVALCANTE, Mateus Marcial Magalhães<sup>1</sup>**

Centro de Ciências e Tecnologia  
Universidade Federal do Cariri

[mateus.magalhaes@aluno.ufca.edu.br](mailto:mateus.magalhaes@aluno.ufca.edu.br)

**GOMES, Marcos José Timbó Lima<sup>2</sup>**

Centro de Ciências e Tecnologia,  
Universidade Federal do Cariri

[marcos.timbo@ufca.edu.br](mailto:marcos.timbo@ufca.edu.br)

**RESUMO:** Dados espaciais agregados sofrem os efeitos do Problema da Unidade de Área Modificável – PUAM notadamente quando o fenômeno de interesse não é utilizado como critério de definição das áreas de análise, podendo ocasionar inconsistências estatísticas. O objetivo deste artigo é investigar a influência de diferentes áreas de agregação nos modelos macroscópicos da frequência de acidentes de trânsito para a cidade de Fortaleza. Dois níveis de agregações com número diferentes de áreas foram utilizados na análise e uma estrutura de malha foi desenvolvida para realizar a comparação entre os modelos estatísticos calibrados. Dentre as unidades espaciais testadas, as zonas de tráfego apresentaram o melhor ajuste de modelo. No entanto, é proposto que este estudo seja estendido para outros tipos de zoneamentos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Problema da Unidade de Área Modificável (PUAM); Modelagem do desempenho da segurança viária; Zona de Tráfego.

**ABSTRACT:** Aggregate spatial data suffer the effects of the Modifiable Area Unit Problem – MAUP, especially when the phenomenon of interest is not used as a criterion for the definition of the areas of analysis, which may lead to statistical inconsistencies. The objective of this article is to investigate the influence of different areas of aggregation on

---

<sup>1</sup> Será preenchido pela Comissão após avaliação com as informações dos metadados da submissão.

<sup>2</sup> Será preenchido pela Comissão após avaliação com as informações dos metadados da submissão.

macroscopic models of the frequency of crashes for the city of Fortaleza. Two levels of aggregations with different number of areas were used in the analysis and a grid structure was developed to perform the comparison between the calibrated statistical models. Among the tested space units, the traffic zones presented the best model fit. However, it is proposed to extend this study to other types of zoning.

**Keywords:** Modifiable Area Unit Problem (MAUP); Modeling of the road safety performance; Traffic zone.

## 1 INTRODUÇÃO

Os acidentes de trânsito na atualidade constituem um sério desafio global, sendo responsáveis pela morte ou por sequelas de milhões de pessoas em todo o mundo. No Brasil, apesar das dificuldades de coleta de dados pelos órgãos de trânsito, de acordo com o Ministério da Saúde houve aproximadamente 34 mil mortes em decorrência de acidentes de trânsito (BRASIL, 2020).

O enfrentamento da problemática da segurança viária deve envolver estudos que permitam uma melhor compreensão dos fatores que influenciam a ocorrência dos acidentes de trânsito, na expectativa de que sejam capazes de prever melhor e assegurar um direcionamento para a adoção de políticas e medidas eficazes destinadas à redução do número e da severidade dos acidentes. Uma ferramenta muito utilizada para investigar a segurança viária são os modelos estatísticos aplicados ao desempenho da segurança viária (DSV).

Nos modelos estatísticos do DSV, em um nível mais desagregado, utilizam-se entidades da rede, como segmentos (links) e interseções (nós). Esses modelos permitem avaliar o nível de segurança dessas entidades, relacionando a influência dos atributos geométricos/operacionais com a frequência e/ou severidade dos acidentes, possibilitando identificar pontos críticos e avaliar soluções de engenharia.

Recentemente, houve um esforço de pesquisas para o desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes em uma escala mais agregada, a fim de fornecer ferramentas para o planejamento da segurança viária (SONG *et al.*, 2015). Esses estudos em nível macroscópico são baseados em várias unidades espaciais e têm como objetivo capturar a relação entre a frequência de acidente e uma série de variáveis explicativas, que podem incluir informações socioeconômicas, demográficas, geração de viagens, características da rede viária, características operacionais, uso do solo, etc. Esse nível de análise destina-se a concepção, implementação e gestão de políticas públicas para a melhoria do DSV, como

alterações na legislação de trânsito, intensificação da fiscalização, elaboração de campanhas educativas e intervenções de engenharia em uma área (LEE *et al.*, 2015).

Conforme Huang *et al.* (2016), uma vantagem da análise macroscópica dos acidentes é que eles requerem menos dados detalhados, o que facilitaria uma investigação rápida ao monitorar a segurança em nível regional e permite estimular a redução do número de acidentes nas regiões através de programas específicos de segurança. Uma segunda vantagem dos modelos macroscópicos é que fatores como características da rede viária, uso do solo, população e nível de renda podem fornecer informações adicionais para problemas que não são da engenharia de tráfego e não são facilmente integrados na modelagem microscópica.

Por conta dessas vantagens, uma variedade de unidades geográficas espaciais tem sido explorada nos estudos macroscópicos de segurança viária, como setores censitários (ABDEL-ATY *et al.*, 2013), bairros (ROCHA, 2015), zonas de tráfego (CAI *et al.*, 2016), municípios (LI *et al.*, 2013), malha de quadriculas uniformes (AMOH-GYIMAH; SABERI; SARVI, 2017), etc. No entanto, muitos estudos não consideram nas suas análises que, quando se utilizam dados espaciais agregados, os resultados da análise podem ser influenciados diretamente pelo tamanho e delimitação das unidades espaciais, gerando inconsistências nos resultados. Este importante aspecto associado ao uso de dados agregados é usualmente denominado de Problema da Unidade de Área Modificável (PUAM).

As zonas de tráfego (ZT) são as unidades espaciais mais utilizadas nos estudos macroscópicos do DSV, pelo fato de permitir a integração de dados provenientes do processo de planejamento de transportes de forma mais fácil (ABDEL-ATY *et al.*, 2013). Entretanto, os acidentes apresentam uma heterogeneidade espacial/temporal que não são normalmente consideradas na delimitação das ZT (HUANG; XU; ABDEL-ATY, 2013). Conforme O'Sullivan e Unwin (2010), se as unidades de agregação são arbitrárias em relação ao fenômeno espacial investigado, diferentes configurações espaciais da mesma área oferecerão diferentes resultados da análise estatística.

A identificação e a avaliação dos efeitos do PUAM tornam-se importantes na modelagem do DSV, uma vez que a inferência a partir de dados espaciais pode ser enganosa e induzir ao erro, caso não seja identificado o adequado nível de escala e zoneamento das unidades de análise espacial, de modo a refletir a heterogeneidade do fenômeno estudado (HUANG; XU; ABDEL-ATY, 2013). Além disso, segundo Darmofal

(2006), o PUAM é particularmente problemático porque implica que uma escolha inadequada da escala geográfica pode gerar dependência espacial artificial.

Sabe-se que não há uma solução global que permita eliminar os efeitos do PUAM quando se usa dados espaciais agregados, porém é sensato questionar se os resultados estatísticos mantêm-se quando as unidades espaciais têm suas agregações alteradas, ao invés de simplesmente ignorar este aspecto. Desta forma, o objetivo deste artigo é investigar a influência de diferentes áreas de agregação nos modelos macroscópicos da frequência de acidentes de trânsito para a cidade de Fortaleza.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

O PUAM é composto pelo efeito de escala e de zoneamento. No efeito de escala, para um mesmo conjunto de dados, diferentes resultados estatísticos podem ser obtidos quando os tamanhos das unidades espaciais mudam devido às agregações. No efeito de zoneamento, resultados estatísticos diferentes podem ocorrer quando se alteram as fronteiras das unidades espaciais, mantendo-se o mesmo número de áreas (FOTHERINGHAM *et al.*, 2002). De acordo com Briant *et al.* (2010), o efeito de escala é reconhecidamente o componente mais problemático, enquanto o zoneamento é de menor importância. Para abordar o PUAM, Manley (2013) recomenda um procedimento no qual o primeiro passo é definir a adequada escala geográfica e em seguida avaliar possíveis configurações de zoneamento desta escala escolhida.

Anselin (1988) afirma que a menos que exista um processo espacial homogêneo dos dados, qualquer agregação tenderá a ser enviesada. Por conta disso, é necessário que ao se utilizar dados agregados em unidades geográficas de área, o analista adote procedimentos que permitam mitigar os impactos ocasionados pela agregação espacial nos resultados do estudo.

De acordo com Páez e Scoot (2004), a única forma para que os resultados de uma análise espacial não sofram influência do sistema de zoneamento é utilizando dados individuais. Estes dados diferem dos dados agregados em área e possuem suas posições representadas pelas coordenadas geográficas (latitude e longitude). No entanto, informações nesse nível são raramente disponíveis. Levando isso em consideração, Viegas *et al.* (2009) afirmam que uma forma de mitigar os efeitos do PUAM é utilizar dados a partir da menor divisão espacial disponível e realizar agregações dessas unidades espaciais

de uma forma relevante para o fenômeno estudado, avaliando repetitivamente os resultados para várias configurações de agregações.

Uma maneira de gerar agregações relevantes ao fenômeno estudado é criar um sistema de zoneamento que minimize as variações intrazonais e maximize as variações interzonais (WONG, 2009). Para esse objetivo, a regionalização tem sido uma abordagem comumente utilizada, produzindo um novo conjunto de unidades de área agregadas a partir da otimização de uma função objetiva de medição de homogeneidade, mantendo-se a contiguidade dentro das unidades de áreas espaciais.

Para os municípios brasileiros ainda não há uma indicação de qual unidade espacial é mais adequada para a modelagem macroscópica da segurança viária. Compreender melhor essa questão melhorará a precisão dos modelos macroscópicos de previsão de acidentes e conseqüentemente a eficiência na alocação de recursos públicos para à redução do número de acidentes no ambiente urbano.

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Este estudo foi realizado a partir das seguintes etapas metodológicas: i) Preparação dos dados; ii) Calibração dos modelos macroscópicos; iii) Comparação das áreas de análise.

#### **3.1 PREPARAÇÃO DOS DADOS**

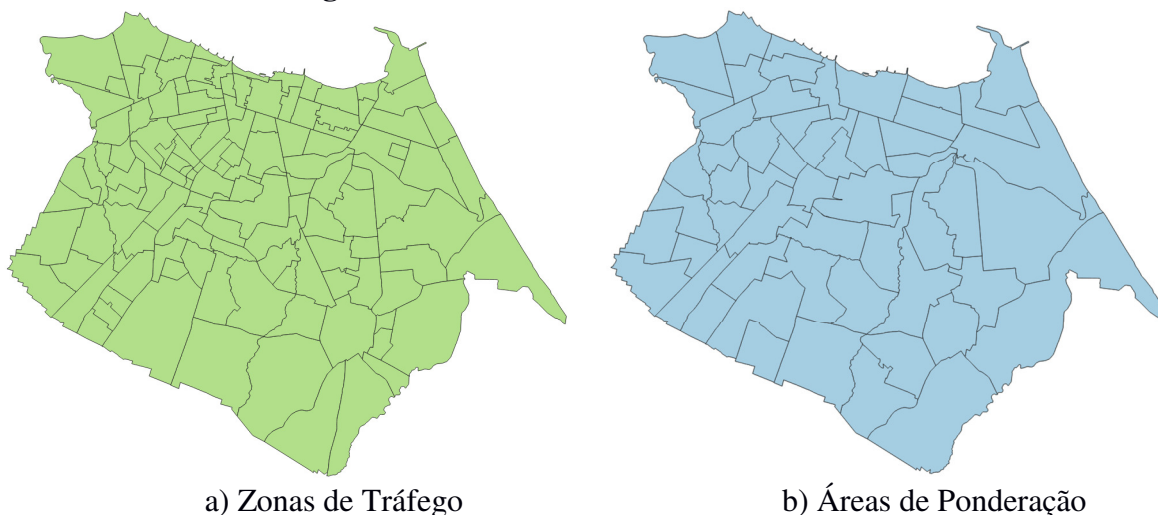
Neste estudo, foram utilizadas as seguintes bases georreferenciadas para o município de Fortaleza: Zonas de Tráfego (ZT) e Áreas de Ponderação (AP). As ZT são unidades espaciais usadas no processo de planejamento de transportes e as AP, são unidades geográficas formadas por setores censitários contíguos com informações relacionadas à amostra do Censo.

As duas bases geográficas possuem dados demográficos e socioeconômicos do Censo 2010, informações relativas às variáveis da infraestrutura da rede viária, disponibilizada pelo órgão gestor do trânsito do município (AMC), que também forneceu a localização de semáforos, equipamentos de fiscalização eletrônica e informações de acidentes de trânsito, obtido do Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza (SIAT/FOR). As informações relativas ao uso do solo foram obtidas da base

geográfica disponibilizada pela Secretaria de Finanças do município.

A Figura 1 e a Tabela 1 mostram as duas bases georreferenciadas utilizadas neste estudo e suas características. Conforme ilustra a Tabela 1, existe um maior número de áreas nas ZT e as AP apresentam uma maior variação em suas dimensões.

**Figura 1** – Unidades de áreas de análise deste estudo



Fonte: Produzida pelo autor.

**Tabela 1** – Área das zonas das unidades geográficas.

Unidade Espacial	Nº de unidades	Área média	Desvio padrão da área	Área mínima	Área máxima
Zonas de Tráfego	127	2,48 km <sup>2</sup>	2,62 km <sup>2</sup>	0,14 km <sup>2</sup>	13,90 km <sup>2</sup>
Áreas de Ponderação	55	5,72 km <sup>2</sup>	4,24 km <sup>2</sup>	1,72 km <sup>2</sup>	24,54 km <sup>2</sup>

Fonte: Produzida pelos autores.

As informações disponíveis foram divididas em cinco categorias: acidentes, exposição, características socioeconômicas e demográficas, características da rede viária e uso do solo. As estatísticas descritivas dessas variáveis são mostradas na Tabela 2.

**Tabela 2 – Análise descritiva das variáveis.**

Grupos	Variáveis	Zonas de Tráfego				Áreas de Ponderação			
		Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Acidentes	Total de Acidentes com Vítimas	120	4	831	119,66	354,40	39	1.434	227,70
Variáveis de Exposição	População Total	19.308	908	115.490	16.818,87	44.458	28.647	76.505	11.348,84
	Nº de Automóveis e Motocicletas dentro da área	-	-	-	-	5.960	2.009	12.500	2.088,10
Socioeconômicas e demográficas	Proporção da população entre 0 e 17 anos	0,27	0,16	0,37	0,05	0,28	0,16	0,37	0,05
	Proporção da população entre 18 e 64 anos	0,66	0,59	0,72	0,03	0,66	0,59	0,72	0,03
	Proporção da população maior que 64 anos	0,07	0,03	0,14	0,03	0,07	0,03	0,13	0,03
	Proporção de domicílios com renda até 3 salários mínimos	0,59	0,08	0,93	0,22	0,63	0,10	0,94	0,20
	Proporção de domicílios com renda acima de 3 salários mínimos	0,41	0,08	0,92	0,22	0,37	0,06	0,90	0,20
Uso de solo	Uso de área residencial (m²/km²) dentro da área	0,24	0,01	1,51	0,23	0,20	0,01	1,42	0,22
	Uso de área comercial e de prestação de serviços (m²/km²) dentro da área	0,09	0,01	0,72	0,10	0,08	0,01	0,45	0,09
Rede viária	Número de interseções semaforizadas por km de via	0,30	0,00	1,92	0,35	0,22	0,00	1,25	0,28
	Extensão total das vias (km)	33,40	2,71	190,35	26,79	75,32	35,96	153,59	26,12
	Número de equipamentos de fiscalização por km de via	0,01	0,00	0,15	0,07	0,07	0,00	0,22	0,06

**Fonte:** Produzidas pelos autores.

### 3.2 CALIBRAÇÃO DOS MODELOS MACROSCÓPICOS

Na calibração de modelos macroscópicos comumente observa-se um direcionamento aos Modelos Lineares Generalizados em virtude da variável resposta (acidentes de trânsito) ser aleatória discreta e positiva, além dos erros se apresentarem com distribuição compatível com a distribuição de Poisson ou Binomial Negativa (Lord e Persaud, 2004). A formulação do modelo, como proposta na literatura, adotada neste estudo é apresentada abaixo.

$$E(y|x_1, x_2, \dots, x_k) = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k)$$

em que  $E(y|x_1, x_2, \dots, x_k)$  é o valor esperado da variável resposta dado que um conjunto de  $k$  valores das variáveis explicativas é observado e os  $\beta$ 's são as estimativas dos coeficientes

para cada variável independente  $x$  do modelo.

Antes de calibrar os modelos, realizou-se uma análise exploratória dos dados para identificar as variáveis mais correlacionadas com acidentes de trânsito com vítimas e determinar a presença de multicolinearidade entre as variáveis explicativas. A Tabela 3 mostra a calibração dos dois modelos para as duas áreas de análise.

**Tabela 3 – Modelos de previsão de acidentes**

Parâmetro	Zonas de Tráfego			Área de Ponderação		
	$\beta$	Desvio Padrão	Valor-p	$\beta$	Desvio Padrão	Valor-p
Constante	-3,95	0,41	8,39e-16	-3,63	2,00	0,07
ln (População Total)	0,87	0,05	< 2e-16	-	-	-
ln (Número de Automóveis e Motocicletas)	-	-	-	0,88	0,19	3,72e-6
Número de Interseções semaforizadas por km de via	0,82	0,15	4,01e-8	0,85	0,32	0,01
Proporção de domicílios com renda até 3 salários mínimos	-0,63	0,27	0,02	1,07	0,57	0,06
Nº de equipamentos de fiscalização por km de via	2,43	0,50	1,32e-6	2,85	1,07	0,01
Uso de área residencial (m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> )	-1,11	0,24	4,90e-6	-1,15	0,34	0,00
Proporção da população maior que 64 anos	9,15	2,06	8,78e-6	14,58	3,50	3,14e-5
$2 \times \log\text{-likelihood}$	-1.327,70			-663,95		
AIC	1.343,7			674,59		

Fonte: Produzida pelos autores.

Um aspecto que chama atenção na Tabela 3 é o sinal do coeficiente para a variável

“Proporção de domicílios com renda até 3 salários mínimos”. Para a zona de tráfego o coeficiente é negativo, significando dizer que reduz o número acidentes, enquanto que para as áreas de ponderação esse coeficiente é positivo, gerando um aumento no número de acidentes. Isso é o efeito do PUAM, que com o mesmo conjunto de dados, mas com agregações diferentes, o sinal e a significância das variáveis podem ser alterados.

Apesar dos resultados dos valores do logaritmo da máxima verossimilhança e do AIC indicarem um melhor ajuste para o modelo de área de ponderação, como os dois zoneamentos possuem quantidade de áreas diferentes, não é possível comparar estas medidas de ajuste dos dois modelos calibrados (CAI *et al.*, 2017).

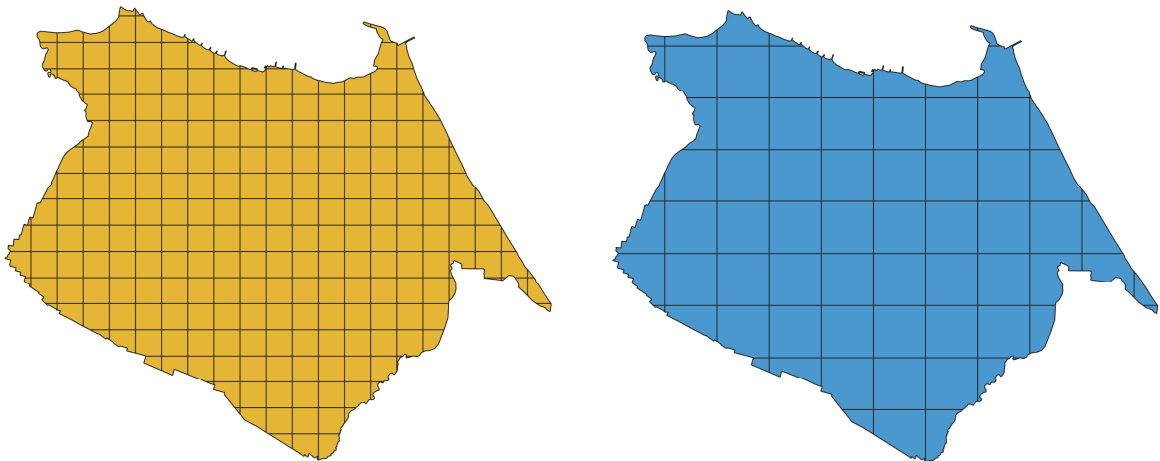
### 3.3 COMPARAÇÃO DAS ÁREAS DE ANÁLISE

Para resolver este problema de comparação entre zoneamentos diferentes, Cai *et al.* (2017) propuseram um método de comparação utilizando uma estrutura da malha quadriculada como unidade geográfica substituta para comparar o desempenho de modelos baseados em diferentes sistemas de zoneamento. Usando este método, foram desenvolvidas seis malhas de tamanhos diferentes de lados (1,25, 1,50, 1,75, 2,00, 2,25 e 2,50 km) e calculados a frequência dos acidentes previstos pelo modelo e os valores observados de acidentes dentro de uma grade. Usando o software R, estas variáveis foram convertidas em proporção por meio da seguinte expressão:

$$y'_{malha} = y'_{original} \cdot \frac{y_{malha}}{y_{original}}$$

Onde  $y_i$  é o valor observado do número de acidentes (contado dentro de uma zona, seja ela da malha ou da unidade geográfica original) e  $y'_i$  é o valor previsto pelo modelo. A Figura 2 ilustra o menor e o maior tamanho para a malha de grids de comparação.

**Figura 2** – Exemplo de malhas de comparação



a) Malha de 1,25 × 1,25 km

b) Malha de 2,5 × 2,5 km

**Fonte:** Produzida pelo autor.

Para avaliar o efeito do PUAM, os modelos serão então comparados com base na Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), ponderado através de sua divisão pela área das zonas de modo a comparar malhas de áreas distintas. Esta nova métrica, a Raiz do Erro Quadrático Médio Ponderado (REQMp) é calculada como:

$$\text{REQMp} = \frac{1}{A} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2}$$

onde A é a área de cada zona da malha, n o número de observações,  $y_i$  número observado de acidentes e  $y'_i$ , número previsto de acidentes pelo modelo.

#### **4 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS**

A Tabela 4 ilustra a comparação dos resultados dos dois zoneamentos das duas unidades de análise espacial. Pode-se observar que uma tendência de aumento consistentemente com o tamanho do grid da malha, confirmando que as medidas de comparação podem ser influenciadas pelo número áreas e valores observados.

Observando a média dos valores da REQM na Tabela 4, conclui-se que o desempenho do modelo utilizando zonas de tráfego foi melhor que o modelo para as áreas de ponderação. As zonas de tráfego é sistema zonal básico nas análises para o desenvolvimento de modelos de demanda de viagens de transportes e têm sido amplamente

utilizado também nos estudos de segurança viária pela facilidade da integração dos dados disponíveis. Desta forma, para o município de Fortaleza, entre os dois tipos de zoneamento estudados, é preferível utilizar as zonas de tráfego para a realização da modelagem macroscópica do desempenho da segurança viária.

**Tabela 4** – Comparação dos resultados dos zoneamentos diferentes

Malha	Raiz do Erro Quadrático Médio Ponderado (REQMp)	
	Zonas de Tráfego	Áreas de Ponderação
1,25 × 1,25 km	25,31	25,52
1,50 × 1,50 km	20,70	23,43
1,75 × 1,75 km	20,97	22,48
2,00 × 2,00 km	17,23	18,76
2,25 × 2,25 km	16,51	18,68
2,50 × 2,50 km	17,92	19,92
Média	19,77	21,47

**Fonte:** Produzida pelos autores.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi realizada com o propósito de contribuir na compreensão da influência de diferentes áreas de agregações nos modelos macroscópicos da frequência de acidentes de trânsito no município de Fortaleza. As informações relacionadas aos modelos macroscópicos foram disponibilizadas pelos órgãos do município e dados do Censo 2010, consolidando duas bases georreferenciadas, sendo a primeira, a zona de tráfego com 127 áreas e a segunda, a área de ponderação com 55 áreas.

Foi calibrado um modelo binomial negativo para cada zoneamento e em seguida realizada a comparação dos ajustes dos modelos a partir da criação estruturas de malha quadriculada de diversos tamanhos. Os resultados apresentaram uma tendência de aumento do parâmetro Raiz do Erro Médio Quadrático em função do tamanho da zona da malha, o que confirma que as medidas de comparação podem ser influenciadas pelo número de áreas e o valores observados.

Comparando a medida de ajuste, o modelo das zonas de tráfego apresentou um melhor desempenho que a área de ponderação. Neste caso, as zonas de tráfego seria um zoneamento mais adequado para a modelagem do desempenho da segurança viária.

Entretanto, este estudo limitou-se a estudar dois sistemas de zoneamento, sendo recomendado estender esta análise a outros zoneamentos ou criar um zoneamento próprio para a modelagem da segurança viária.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal do Cariri (UFCA) pelo financiamento do bolsista desta pesquisa. Os autores agradecem ainda a Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e Cidadania de Fortaleza - AMC pelas informações disponibilizadas neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ABDEL-ATY, Mohamed *et al.* Geographical unit based analysis in the context of transportation safety planning. **Transportation Research Part A**, v. 49, p.62-75. 2013.
- AMOH-GYIMAH, Richard; SABERI, Meead; SARVI, Majid. The effect of variations in spatial units on unobserved heterogeneity in macroscopic crash models. **Analytic Methods in Accident Research**, v.13, p.28-51. 2017.
- ANSELIN, Luc. **Spatial econometrics: methods and models**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 1988.
- BRASIL (2020) DATASUS. Estatísticas vitais: Mortalidade - 1996 a 2017, pela CID-10. Departamento de Informática do SUS. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/ext10uf.def>>. Acesso em: 14 de dezembro de 2020.
- BRIANT, Anthony; COMBES, Pierre-Philippe; LAFOURCADE, Miren. Dots to boxes: do the size and shape of spatial units jeopardize economic geography estimations? **Journal of Urban Economics**, v. 67, p. 287-302, 2010
- CAI, Qing *et al.* Comparative analysis of zonal systems for macro-level crash modeling. **Journal of Safety Research**, v. 61, p. 157-166. 2017.
- CAI, Qing *et al.* Macro-level pedestrian and bicycle crash analysis: Incorporating spatial spillover effects in dual state count models. **Analysis and Prevention**, v. 93, p. 14-22. 2016.
- DARMOFAL, David. Spatial econometrics and political science. **Annual Meeting of the Southern Political Science Association**, Atlanta, GA. 2006.
- FOTHERINGHAM, A. Stewart. Geographically weighted regression. *In*: A. Stewart Fotheringham e Peter A. Rogerson. **The SAGE Handbook of Spatial Analysis**. SAGE Publications, Londres. 2009.
- HUANG, Helai *et al.* Macro and micro models for zonal crash prediction with application in hot zones identification. **Journal of Transport Geography**, v.54, p. 248–256, 2016.

HUANG, Helai; XU, Pengpeng; ABDEL-ATY, Mohamed. Transportation Safety Planning: a Spatial Analysis Approach. *In: TRB 92th Annual Meeting* (TRB 2013-1855). 2013.

LEE, Jaeyoung; ABDEL-ATY, Mohamed; JIANG, Ximiao. Multivariate crash modeling for motor vehicle and non-motorized modes at the macroscopic level. **Accident Analysis e Prevention**, v.78, p. 146-154, 2015.

LI, Zhibin *et al.* Using geographically weighted poisson regression for county-level crash modeling in California. **Safety Science**, v. 58, p. 89–97, 2013.

MANLEY, David. Scale, aggregation, and the modifiable areal unit problem. In Manfred M. Fischer e Peter Nijkamp. **Handbook of Regional Science**. Springer Heidelberg, New York. 2013.

O'SULLIVAN, David; UNWIN, David. **Geographic information analysis**. John Wiley and Sons, 2a. Edição, New Jersey, 2010.

PÁEZ, Antonio; SCOTT, Darren. Spatial statistics for urban analysis: A review of techniques with examples. **GeoJournal**, v. 61, n. 1, p. 53-67, 2004.

ROCHA, Marcos de Meneses. Proposta metodológica de análise espacial de acidentes de trânsito no contexto de variáveis agregadas em áreas. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2015.

SONG, Bo *et al.* Comparative analysis of macro and micro models for zonal crash prediction. *In: TRB 94th Annual Meeting*. 2015.

VIEGAS, José Manuel; MARTINEZ, L. Miguel; SILVA, Elisabete A. Effects of the modifiable areal unit problem on the delineation of traffic analysis zones. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 36, n. 4, p. 625-643, 2009.

WONG, David. The Modifiable Areal Unit Problem (MAUP). *In: A. Stewart Fotheringham e Peter A. Rogerson. The SAGE Handbook of Spatial Analysis*. SAGE Publications, Londres. 2009.