

Radares de trânsito reduzem o número de feridos em acidentes? Análises para o município de Porto Alegre

Marco Túlio Aniceto França (PUCRS)

Guilherme Irffi (DEA/CAEN/UFC)

Luís Eduardo dos Santos Bernicker (PUCRS)

Ismael Cittadin (UNESC)

RESUMO

Esse trabalho visa verificar a eficácia de radares fixos na redução no número de mortes, feridos e severidade nos acidentes de trânsito em Porto Alegre. As observações compreenderam os anos de 2000 a 2014 e empregou-se uma regressão de Poisson com método de diferenças-em-diferenças a fim de medir a influência de três ondas de instalação de radares. Os dados foram oriundos de diversas fontes, sendo extraídas do portal #DATAPOA. Os resultados mostram que as duas primeiras ondas foram significativas sobre os indicadores de impacto. A ocorrência de radar fixo se mostrou eficaz na redução da probabilidade de ocorrência de feridos e no padrão de severidade do acidente.

Palavras-chave: Controle de velocidade, Radares Fixos, Feridos, Severidade, Regressão de Poisson.

ABSTRACT

This paper aims to check the efficacy of speed cameras to reduce traffic-related, injury, damage and death rates which occur in Porto Alegre. We employed a Poisson regression with a differences-in-differences method in order to measure the influence of three waves of radar installations in different areas of the city. The observations were made between 2000 to 2012. The data came from different sources and all of them are in #DATAPOA. The results show that the first two waves were significant over the impact indicators. The presence of speed cameras shows efficacy in order to reduce the damage and number of injured in traffic accidents

Key-words: *Panel Analysis, Fixed Speed Cameras, Mobile Speed Cameras, Speeding Control, Injuries, Severity, Poisson Regression.*

JEL: R41, C35

1. Introdução

O Brasil está no grupo de países com elevado número de mortes no trânsito, 23,4 mortos para cada 100 mil habitantes¹, sendo que a meta almejada pelo país seria a redução para 11 mortos para cada 100 mil habitantes entre os anos de 2004 e 2014. Embora no total, oitenta e oito países membros da WHO (*World Health Organization*) conseguiram reduzir o número de vítimas fatais no ano de 2010, esse número cresceu em outros oitenta e sete países, incluindo o Brasil. Segundo Nantulya e Reich (2002), a mortalidade tem crescido muito em países em desenvolvimento, sendo que entre as principais vítimas estão os indivíduos em idade produtiva, no papel de passageiros, pedestres ou ciclistas.

Em 2005, o país possuía 3,3% da frota mundial de veículos e era responsável por 5,5% dos acidentes fatais. Esta destruição de capital econômico e humano ocasionada pelos acidentes de trânsito no Brasil foi objeto de cálculo do IPEA em 2005, que estimou uma perda no PIB brasileiro por acidentes de trânsito de 1,2% ao ano, sendo a principal causa de mortalidade e invalidez entre a população brasileira abaixo de 40 anos. Considerando esse percentual estimado (1,2%) do PIB aos preços de mercado de 2012, representaria uma perda de 26,6 bilhões de dólares no PIB brasileiro.

Em comparação com outros países, o Brasil apresentou 42.291 mortes em 2013 (82% homens e 18% mulheres), enquanto que o Reino Unido apresentou 1.827 mortes no mesmo período e o Japão, com uma frota maior que a brasileira, cerca de 5.000. Diante disso, muitos países investiram em controladores de velocidade eletrônicos (lombadas eletrônicas, radares fixos, radares móveis e radares de velocidade média) para mudar esta situação, e dessa forma, aumentar a segurança viária e reduzir os riscos e o número de vítimas (WHO, 2015). A percepção geral da WHO sobre a qualidade da aplicação de todos os tipos de controles de trânsito no Brasil² recebeu nota 6 em uma escala de 0 a 10, elaborada pela própria organização.

O tipo mais comum desse aparelho consiste no sistema fixo que possui instalação de câmeras em postes com operação automática, dispensando a presença dos agentes de trânsito. A fiscalização é feita em todas as faixas de tráfego durante 24 horas por dia por meio da utilização de sensores embutidos no pavimento. Esses dispositivos

¹ World Health Organization Report on Road Safety, 2015.

² O novo Código de Trânsito Brasileiro (CTB) foi instituído pela Lei 9.503/97 e entrou em vigor em 1998. Na época, profundas modificações foram introduzidas visando à melhoria da segurança viária como o uso obrigatório de cintos de segurança, de capacete para motociclistas e o sistema de pontuação dos condutores por infrações.

permitem a detecção dos veículos e a medição da sua velocidade com o registro fotográfico da parte traseira ou dianteira do veículo por meio de um flash infravermelho. Em uma central eletrônica são armazenadas a data e o horário da infração assim como os demais dados registrados dos veículos infratores.

No Brasil, a maioria dos estudos relacionados a trânsito e acidentes pertence aos campos da engenharia de tráfego e saúde. Além dos custos decorrentes dos acidentes de trânsito como a perda de vidas, os danos materiais e os dias de inatividade quando feridos, do ponto de vista econômico também pode se medir a efetividade das medidas de segurança. No caso específico dos radares, os estudos de trânsito no Brasil com enfoque econômico ainda são raríssimos. Existe uma impressão generalizada entre a população, enfoque inclusive de uma discussão midiática, sobre um suposto abuso de multas ou “indústria da multa”³, mas pouco foi feito até agora, no Brasil, para verificar empiricamente a veracidade de tais argumentos e, principalmente, o *trade-off* entre fiscalização ou multas aplicadas e vidas poupadas. Este estudo pretende contribuir como referência bibliográfica e fonte de informações para futuras pesquisas nessa área.

A eficácia dos radares será testada sobre o número de feridos em acidentes de trânsito nas ruas da cidade de Porto Alegre. De acordo com informações disponibilizadas pelo DENATRAN, este município teve um crescimento da frota de veículos registrados de 639.097, em 2008, para 870.541 em janeiro de 2018, um aumento de 36%. No mesmo período, foram 1.435 as vítimas fatais nas vias públicas de Porto Alegre, de acordo com dados do DETRAN/RS. Em todo o estado do Rio Grande do Sul, segundo o mesmo departamento, há 14,39 mortos por 100 mil habitantes no trânsito gaúcho. Além da frota própria, a condição de capital de estado e polo regional faz a cidade atrair um tráfego muito superior ao nativo – Porto Alegre tem 1.481.019 habitantes, enquanto sua região metropolitana ultrapassa os 4 milhões, segundo o IBGE. Tal escala permite que este estudo possa ter validade externa e sirva de comparativo para outras regiões metropolitanas semelhantes.

A metodologia empregada foi o diferenças-em-diferenças, e as ruas em que receberam os radares formaram o grupo de tratamento enquanto que, aquelas sem esse tipo de equipamento compuseram o de controle. Os momentos de instalação de radares nas 20 ruas de Porto Alegre que receberam esse tipo de equipamento foram distintos. A primeira onda de instalação cobre o período de janeiro a março de 2000. A segunda

³ Ver, por exemplo: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/opiniao/noticia/2017/10/industria-da-multa-ou-excesso-de-infratores-cj9088ni4073401olchlqmlm.html>.

corresponde ao período de março de 2000 a agosto de 2002. A terceira diz respeito ao período de agosto de 2002 a dezembro de 2010. A quarta onda cobre dezembro de 2010 até dezembro de 2014. Além disso, não se verifica a ocorrência de desinstalação do equipamento. Logo, conseguimos observar se o efeito se perde no decorrer do tempo.

A análise contempla informações sobre os tipos de veículos envolvidos (automóvel, táxi, lotação, ônibus urbano, ônibus intermunicipal, caminhão, moto, carroça e bicicleta), a condição climática (clima bom ou chuvoso), o horário (noturno, matutino e madrugada) e os tipos dos acidentes (abalroamento, incêndio, colisão, choque, capotagem, tombamento, queda ou atropelamento) em três regiões da cidade: norte, leste e central. Essas características foram registradas nas ocorrências de trânsito por obrigatoriedade do código de trânsito brasileiro.

Independente do modelo (FE, RE ou empilhado), verificamos um efeito negativo e estatisticamente significativo dos radares no número de feridos. No primeiro período de instalação dos equipamentos, o modelo de efeitos fixos indicou uma diminuição de 0,307 no número de feridos no período analisado; o modelo de efeitos aleatórios, uma diminuição de 0,439; já o modelo empilhado, 0,541.

Para consecução desses objetivos, optou-se por dividir o artigo em quatro seções além desta introdução. A próxima contempla uma discussão em torno dos instrumentos fixos de controle de velocidade e uma revisão da literatura empírica das diversas experiências internacionais sobre o uso desses equipamentos. Em seguida, são apresentadas a fonte dos dados e algumas evidências empíricas, considerando as Estatísticas de Trânsito em Porto Alegre, bem como o modelo empírico. Em seguida, são analisados os resultados sobre a eficácia do uso de controles de velocidade, radares fixos, sobre os acidentes com feridos. E, por fim, são reportadas as principais conclusões e recomendações.

2. Revisão da literatura.

2.1. Evidências empíricas sobre uso de radares e redução de acidentes

Blondieau e Rousseau (2013) argumentam que há dois conjuntos de critérios influenciando a segurança no tráfego: o comportamento do motorista e a ação regulatória. O primeiro é determinado por medidas preventivas como direção defensiva, uso de cinto de segurança, não dirigir fatigado, etc. Tais ações, entretanto, têm um custo que pode ser tanto em termos monetários como em tempo ou conforto. Além disso, os motoristas também levam em conta seu risco percebido e redução nas penalidades

esperadas por infringirem a regulação de trânsito. Portanto, motoristas tendem a minimizar todos os custos privados associados às regulações de trânsito selecionando o nível ótimo de medidas preventivas. Pelo lado do regulador, há a preocupação em minimizar os riscos através de medidas preventivas como: regulação, fiscalização, policiamento, manutenção de rodovias, campanhas educativas, exigências de qualidade na fabricação de veículos.

Fatores socioeconômicos e demográficos parecem ter um papel relevante na variação do número de vítimas de acidentes de trânsito. Oster Jr. e Strong (2013) apontam para o fato de que em 2009, acidentes fatais em áreas urbanas eram apenas 36% maiores proporcionalmente às áreas rurais, uma queda de 72% desde 1980, enquanto as milhas de veículos percorridas (*vehicle miles traveled - VMT*) saltaram 136% em áreas urbanas e apenas 46% em áreas rurais. Os grupos de motoristas entre 16 e 20 anos e entre 21 e 24 anos (grupos que têm uma taxa de fatalidade maior) caíram no mesmo período, enquanto grupos de motoristas mais velhos aumentaram sua participação na população, contribuindo para a queda nas taxas de fatalidades no trânsito.

A literatura internacional sobre os efeitos de radares na redução de acidentes de trânsito e fatalidades é vasta, tanto na área de economia do transporte quanto na área de engenharia de tráfego. No Brasil, há mais estudos dessa temática no escopo da engenharia de tráfego, tanto ao nível acadêmico quanto de trabalhos técnicos para autoridades governamentais. No campo internacional podemos citar os trabalhos de Elvik et al. (1997), Keall, Povey e Frith (2001), Elvik, Christensen e Amundsen (2004), Pérez et al (2007), Blondieau e Rousseau (2013), Li, Graham e Mumjadar (2013) e Pauw et alli (2014).

Elvik et al. (1997) realizaram a primeira avaliação na Noruega, com a metodologia denominada *Empirical Bayes Approach to the Estimation of Unsafty*, ou abordagem bayesiana empírica para estimação da insegurança, baseada em Hauer (1992), que propôs uma metodologia com uso da distribuição binomial negativa, com variáveis discretas, para calcular o nível de risco (*level of hazard*) e o potencial de melhoria da segurança (*potential for safety improvement*) para ruas e localidades. Os pesquisadores adaptaram o modelo, assumindo que o nível de risco de um local segue a distribuição de probabilidades de Poisson e que o nível de risco em toda a região segue uma distribuição Gama. Eles encontraram uma redução de 12% nos acidentes com danos materiais, e de 26% no número de feridos por meio da análise de 64 radares fixos

instalados em rodovias da Noruega.

Como exemplo de um trabalho que compara a eficácia de radares fixos visíveis e radares móveis ocultos, temos a pesquisa de Keal, Povey e Frith (2001). O objetivo do estudo foi avaliar os potenciais benefícios do uso de radares ocultos em comparação com os radares visíveis, usando como estudo de caso um programa governamental que utilizava radares ocultos a partir de meados de 1997 como forma de fiscalização e diminuição de acidentes de trânsito. As rodovias com limites de velocidade de 100 km/h na região policial de *Midlands*, Nova Zelândia, foram utilizadas no grupo de tratamento, uma vez que o programa de radares ocultos foi testado nessa região. As demais rodovias do país formaram o grupo de controle. Os resultados de interesse foram, nesse caso, o número de colisões, fatalidades e feridos. Um modelo logit foi ajustado para verificar a mudança na proporção entre o grupo de controle e o de tratamento. No primeiro ano do período de estudo, a velocidade média em *Midlands* caiu 2,3 km/h, em comparação com 1,6 km/h no restante da Nova Zelândia. Foram verificadas reduções de 11% de colisões, 19% de fatalidades e 8% no número de ocupantes feridos por colisão no grupo de controle (Nova Zelândia), com todos estes resultados sendo estatisticamente significantes.

Surveys de opinião ainda mostraram uma aceitação crescente dos radares ocultos na medida em que motoristas perceberam não dirigir tão rapidamente quanto antes da utilização dos radares, bem como uma diminuição no número de multas aplicadas. Porém, os pesquisadores não encontraram efeitos duradouros na diminuição de acidentes no grupo de tratamento devido à utilização de radares ocultos. Eles concluíram que a diminuição, em geral, no restante do país se deu por conta da publicidade envolvida no programa de instalação de radares ocultos.

Para avaliar a eficácia de radares fixos na redução de ferimentos em colisões e veículos envolvidos em acidentes de tráfego no anel viário de Barcelona, Pérez et al (2007) desenvolveram um estudo em séries temporais com um grupo de controle e um grupo de tratamento. O primeiro consiste de rodovias sem radares fixos, e o segundo é formado no próprio anel viário de Barcelona com seus radares fixos. Os dados foram ajustados em um modelo de regressão de Poisson respeitando tendências e sazonalidades. Os dados foram analisados 24 meses depois da intervenção. Os pesquisadores derivaram o risco relativo (RR) do modelo ajustado e calcularam frações atribuíveis de tais riscos relativos para estimar o número de colisões evitadas e as reduções nos números de pessoas feridas e veículos envolvidos em colisões.

Os pesquisadores descobriram que o risco relativo (RR) de uma colisão ocorrida no anel viário antes da instalação dos radares fixos era de 73% com o efeito de proteção sendo maior em períodos de fins de semana. Nenhuma diferença foi observada para o grupo de controle. As estimações das frações atribuíveis para os dois anos do estudo mostraram 364 colisões evitadas e 507 pessoas feridas a menos e ainda, 789 veículos a menos envolvidos em colisões. Pérez et al (2007) concluíram, portanto, que radares fixos instalados em áreas urbanas são efetivos na prevenção desses tipos de ocorrências.

Para avaliar os mesmos efeitos no Reino Unido, Li, Graham e Majumdar (2013) ajustaram seu modelo utilizando o método de PSM (*propensity score matching*) comparando os seus resultados com os dos métodos: antes-e-depois e EB (empírico bayesiano). Grupos de tratamento e controle totalizaram 771 e 4787 locais com radares fixos disponíveis, respectivamente, distribuídos na Inglaterra e avaliados ao longo de 9 anos (1999 – 2007). Os pesquisadores utilizaram cinco critérios de avaliação: i) amplitude do local fiscalizado pelo radar (400m a 1500m); ii) número de colisões sérias e fatais; iii) número de pessoas feridas em colisões; iv) 85º percentil de velocidade em pontos críticos para colisões (considerando o 85º percentil como 10% acima do limite de velocidade); e v) percentual de motoristas que excederam ao menos 20% o limite de velocidade.

Os resultados indicaram que o método de PSM e o método EB são comparáveis. Os pesquisadores não identificaram o “*kangaroo effect*”⁴, ou seja, não houve aumento dos acidentes *upstream* ou *downstream* dos locais monitorados por radares nas rodovias da Inglaterra, mesmo controlando o fator de migração de acidentes – as rotas alternativas que motoristas tomam para evitar radares. Houve também uma diminuição relevante de 0,53 pessoas feridas em colisões e 0,087 em colisões sérias e fatais em até 500m da localização do radar. Até 1000m depois do local do radar, a diminuição de feridos se mantém crescente em 0,57, e as colisões sérias e fatais caem para 0,049. Os pesquisadores concluem que os motoristas não alteram seu comportamento com reduções de velocidade estando próximos aos radares e acelerando ao passar por eles, mas que os radares têm um efeito constante no comportamento do motorista em reduzir sua velocidade.

Pauw et al (2014) avaliam os efeitos de 97 locais com radares fixos ou uma

⁴ Para maiores detalhes sobre o “Kangaroo effect”, ver Elvik, 1997.

combinação de radares fixos ou outra medida de segurança (por exemplo, mudança no limite de velocidade, mudança na infraestrutura para pedestres e ciclistas e recapeamento das rodovias) no número de acidentes com feridos leves, feridos graves e fatalidades nas rodovias da região de Flandres, Bélgica, entre 2002 e 2007. Eles adotaram uma abordagem antes-e-depois com controle de tendência. A evolução do número de acidentes no grupo de tratamento foi comparada com a evolução do número total de acidentes em Flandres, fazendo inicialmente uma análise individual da efetividade dos radares em cada local, e depois combinando os diferentes locais em meta-análise para averiguar a efetividade geral. Os resultados mostraram uma diminuição de 8% no número de acidentes com feridos, ainda que estatisticamente não significativa. Entretanto, o estudo trouxe resultados estatisticamente significantes de uma diminuição de 29% no número de acidentes com feridos graves e fatalidades, com um efeito favorável para todas as categorias de usuários das rodovias (ocupantes de carros, ciclistas, motociclistas, pedestres, etc.). Também observou uma diminuição maior no número de usuários das rodovias no grupo de controle do que no grupo de tratamento. Os pesquisadores concluem que os radares fixos tiveram um efeito favorável para a segurança de tráfego, especialmente para o caso de acidentes graves.

Muitos outros estudos internacionais têm chegado a resultados similares. Para os Estados Unidos, Joerger (2010) descobriu que radares fixos resultaram em uma redução de 27% na velocidade em uma zona de 40 milhas por hora no estado do Oregon, enquanto Huebschman et al. (2003) identificaram uma redução de 19% em velocidades médias durante o tempo de ativação de radares. No Reino Unido, Gains et al. (2004), perceberam que o número de veículos que passavam do limite de velocidade caía 71% em pontos de radares fixos e 24% em pontos de radares móveis. Resultados similares foram encontrados na Austrália (BELIN et al., 2010), Holanda (SWOV, 2011), Suécia (BELIN et al., 2010) e Noruega (ELVIK, 2009).

2. Estratégia empírica

2.1 Fonte dos dados

A base de dados compreende os acidentes de trânsito registrados em Porto Alegre entre o mês de janeiro de 2000 a dezembro de 2014. Os dados estão disponíveis a partir de 2000, e foram obtidos por meio do portal #DATAPOA. Ao longo dos anos

verificamos que ocorreram 316.197 acidentes sendo que 78% deles sucederam em vias sem radares fixos.

Para analisar o efeito dos radares fixos, checamos que foram instalados⁵ 63 equipamentos em 20 ruas durante os anos de 2000 a 2014. Cabe destacar que não foi uniforme a instalação desses equipamentos ao longo dos anos, assim, foram criadas quatro novas variáveis que representam os períodos de duração da instalação de novos radares fixos em Porto Alegre⁶.

Os períodos 3 (agosto de 2002 a dezembro de 2010) e 4 (dezembro de 2010 até o presente) são aquelas em que tem os maiores números acidentes registrados, todavia, cabe destacar que possuem os maiores tempos de duração. O número de acidentes ocorrido nesses períodos foi de 37.925 e 20.112, respectivamente. Esses períodos são seguidos pelo período 2 com 9.688 acidentes e, por fim o período 1 em que é a menor de todas em duração e ocorreu apenas 273 acidentes. Ao atentar-se ao número de acidentes com feridos é constatado que do total de 83.897 ocorrências com feridos, 79% delas transcorreram em vias sem radares fixos.

Na Tabela 1 é possível analisar os meios de locomoção que foram envolvidos nos acidentes. O automóvel é o principal veículo que está envolvido nos acidentes de trânsito na cidade, sendo responsável por 168.032 casos ou 59,3% do total. Em seguida estão as motos, caminhão, ônibus, bicicleta e outros, respectivamente.

Tabela 1: Meios de Locomoção envolvido nos acidentes de trânsito em Porto Alegre entre 2000 e 2014.

Tipos de Locomoção	AUTO	BICICLETA	CAMINHAO	CARROCA	ONIBUS	MOTO	OUTRO	TOTAL
Acidentes	187304	4176	37838	890	26225	56939	2514	315886
%	59,29%	1,32%	11,98%	0,28%	8,30%	18,03%	0,80%	100,00%

Fonte: Datapoa. Elaboração dos autores.

Na Tabela 2 são apresentadas as tipologias de acidentes ocorridos. O abalroamento⁷ é o que acontece com maior frequência sendo seguido pela colisão⁸ e o choque⁹.

⁵No ano de 2014 existia 49 radares fixos em funcionamento.

⁶A duração de cada período de instalação, o número de aparelhos instalados e suas respectivas regiões são disponibilizados pela EPTC: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/eptc>.

⁷O abalroamento acontece quando um veículo em movimento sofre o impacto de outro veículo, também em movimento lateral ou traseiro.

⁸A colisão acontece quando o veículo em movimento sofre impacto de outro veículo, também em movimento.

⁹O choque acontece quando há impacto de um veículo contra qualquer outro objeto.

Tabela 2: Tipologia de Acidentes ocorridos em Porto Alegre entre 2000 e 2014.

Tipos de acidentes	ABALROAMENTO	ATROPELAMENTO	CAPOTAGEM	CHOQUE	COLISAO	EVENTUAL	INCENDIO	QUEDA	TOMBAMENTO	TOTAL
Acidentes	146539	18569	1401	32116	105329	5323	84	6009	777	316147
%	46,35%	5,87%	0,44%	10,16%	33,32%	1,68%	0,03%	1,90%	0,25%	100,00%

Fonte: Datapoa. Elaboração dos autores.

Os dados em painel são observações em duas dimensões de variáveis, o tempo e o espaço. Este tipo de dados contém informações que possibilitam uma melhor investigação da dinâmica das variáveis, pois atribuem um identificador para cada variável, que acompanha a sua evolução. O painel do estudo foi declarado com a variável Avenida como identificador e a combinação das variáveis Dia e Hora do acidente como dimensão temporal das ocorrências.

2.2 Estratégia empírica

A variável dependente usada na análise dos efeitos dos Radares Fixos sobre os feridos nos Acidentes de Trânsito na cidade de Porto Alegre possui características que levam adotar os modelos de dados de contagem que possuem como principais expoentes as distribuições de Poisson e Binomial Negativa. Essas distribuições podem ser expressas por meio da equação 1, sendo a Poisson, um caso particular em que $\alpha = 0$.

$$Pr(Y = y) = \frac{\Gamma(\alpha^{-1} + y)}{\Gamma(\alpha^{-1})\Gamma(y + 1)} \left(\frac{\alpha^{-1}}{\alpha^{-1} + \mu} \right)^{\alpha^{-1}} \left(\frac{\mu}{\mu + \alpha^{-1}} \right)^{y - \alpha^{-1}}, y = 0, 1, 2, \dots, \mu > 0; \alpha \geq 0 \quad (1)$$

Esses modelos são usados em muitos trabalhos de acidentes de trânsito como os estudos de Hauer (1992) e (1996), Elvik et al. (1997), Transportation Research Board (1998), Pérez et al. (2007) Roux et al. (2010) e Newstead et al. (2011).

A distribuição de Poisson é equidispersa em sua abordagem, e tem as seguintes propriedades de média e variância:

$$E[Y] = Var[Y] = \mu \quad (2)$$

Conforme Cameron e Trivedi (2010), o modelo de regressão de Poisson é derivado a partir da distribuição de Poisson parametrizando a relação entre a média μ e seus regressores x . A parametrização usual é dada por:

$$\mu_i = \exp(x_i'\beta), i = 1, \dots, N \quad (3)$$

E o modelo de regressão será definido por:

$$\lambda_i = \mu_i \cdot v_i \quad (4)$$

A derivação do modelo Binomial Negativa é realizada a partir de uma distribuição de Poisson com ocorrência de uma parcela aleatória. O primeiro termo μ_i representa o valor esperado de ocorrências e possui distribuição de Poisson e o segundo termo v_i corresponde à parcela aleatória do número de ocorrências da variável dependente e possui uma distribuição Gama, $v \sim \text{Gamma}(1, \alpha)$.

Segundo Cameron e Trivedi (2010), a parametrização da distribuição Binomial Negativa implica que a variância exceda a média, desde que $\alpha > 0$ e a $\mu > 0$. É possível analisar que o modelo acomoda casos em que exista sobredispersão. As propriedades da variância e da média do modelo Binomial Negativa são:

$$E[Y|\mu, \alpha] = \mu \quad (5)$$

$$\text{Var}[Y|\mu, \alpha] = \mu + \alpha g(\mu) \quad (6)$$

Em que se conhece a função $g(\mu) = \mu$ ou $g(\mu) = \mu^2$. Para decidir entre qual dos dois modelos deve ser utilizado, será realizado um teste de sobredispersão em que a hipótese nula diz respeito à igualdade da média e variância em relação à hipótese alternativa em que a média e variância seriam diferentes: $H_0: E(Y|X) = \text{Var}(Y|X)$ contra $H_1: E(Y|X) \neq \text{Var}(Y|X)$.

O teste estima um modelo de Poisson, e em seguida, se elabora com valores ajustados $\mu_i = \exp(x_i'\beta)$ e roda uma regressão auxiliar sem a constante, em que μ_i é um termo de erro (Cameron e Trivedi 2010).

$$\frac{(y - \mu_i)^2 - y}{\mu_i} = \sigma \frac{g(\mu_i)}{\mu_i} + \mu_i \quad (7)$$

De acordo com os resultados da Tabela 3, não podemos rejeitar a hipótese nula, logo, sugerindo a existência de equidispersão e o uso da regressão de Poisson.

Tabela 03 – Teste de Sobredispersão		
T	P>t	Intervalo de Confiança de 95%
1.39	0.164	-0,05 0.29

Porém, a variável dependente que corresponde aos feridos nos acidentes expressa uma excessiva quantidade de zeros, pois, a ocorrência de acidentes não está atrelada a presença de feridos. Dessa forma, precisaremos testar a necessidade de controlar por zeros inflados.

Conforme Barry e Welsh (2002), os zeros inflados são definidos como dados que dispõem de uma maior proporção de zeros do que o esperado a partir da existência de dados de contagem. Dado que nossa variável de interesse é o número de feridos em acidentes de trânsito, e que estes ocorrem com muito maior regularidade, se faz necessário o controle por zeros inflados. O modelo de Poisson com zeros inflados é construído como uma mistura entre uma Poisson padrão e uma distribuição que é degenerada em 0 (Li et. al., 1999). A sua função de densidade de probabilidade pode descrever esses modelos como um processo binário:

$$\begin{cases} p_0 + (1 - p_0)\exp(-\alpha) & \text{para } y = 0 \\ (1 - p_0)\alpha^y \exp(-\alpha)/y! & \text{para } y = 1, 2, \dots \end{cases}$$

Para $\alpha \leq p_0 \leq 1$ e $\alpha > 0$.

Além das características relacionadas a distribuição, cabe destacar que, os dados compreendem os anos de 2000 a 2014. Dessa forma, precisamos considerar os aspectos inerentes aos dados em painel. Segundo Cameron e Trivedi (2010) o modelo de efeito fixo (FE) é especificado da seguinte forma:

$$y_{it} = c_i + x'_{it}\beta + u_{it} \quad (8)$$

O modelo leva em consideração os efeitos individuais específicos de cada indivíduo em que c_i, \dots, c_n mensura a heterogeneidade individual que é correlacionada com o regressor x'_{it} e os erros são i.i.d. $[0, \sigma^2]$.

O modelo de efeito aleatório (RE) assume as hipóteses de que os erros idiossincráticos são: i) autocorrelacionados e ii) de exogeneidade estrita, além das hipóteses do modelo de efeitos fixos.

- i) $E(u_{it}u_{is}) = 0, \quad t \neq s$
- ii) $E(u_{it}|X_i, c_i) = 0, t = 1, \dots, T.$
 $E(c_i|X_i) = E c_i = 0$

Para se conduzir o estudo, foram controladas dezesseis variáveis de ambiente, oito variáveis de tipos de acidente, três variáveis de região e três variáveis de período

que se refere às diferentes épocas de instalações dos radares. Estas informações estão disponíveis no apêndice da Tabela A1. O modelo especificado tem a seguinte forma funcional:

$$Y_{itj} = \text{Exp}(\alpha + \varphi_{1tj}X_{1tj} + \dots + \varphi_{ntj}X_{ntj} + \varepsilon_{itj}), i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

em que Y é o impacto no número de feridos em acidentes a partir da instalação dos radares na avenida i , no mês t e no ano j ; α é uma constante e φ_{itj} são os coeficientes associados às covariadas dispostas no vetor X_{itj} , enquanto que ε_{itj} representa o termo de erro. Nos modelos de Poisson linearizados, a interpretação dos coeficientes é feita diretamente, e seus efeitos marginais (dy/dx) são calculados em função de $\text{Exp}(\varphi_i X_i)$.

Finalmente, para verificarmos o efeito da instalação de radares fixos, complementamos as estimações com o método de diferenças em diferenças. A ideia básica é poder observar dois grupos diferentes (tratados e controles) em dois períodos no tempo (antes e depois) e comparar as evoluções temporais (depois-antes) entre os dois grupos. O grupo de tratamento é formado pelas 20 ruas e avenidas que receberam os equipamentos a partir de 2000 e o grupo de controle é composto pelas ruas e avenidas que não receberam os equipamentos. Neste sentido, a trajetória temporal da variável resultado do grupo de controle é o contrafactual do que aconteceria ao grupo de tratamento na ausência da instalação do equipamento fixo de controle de velocidade.

O modelo estimado pode ser resumido da seguinte forma:

$$\begin{aligned} y_{itj} = & \beta_0 + \beta_1 \text{Rua_Nova_2}_{tj} + \beta_2 \text{Rua_Nova_3}_{tj} + \beta_3 \text{Rua_Nova_4}_{tj} \quad (2) \\ & + c_2 \text{Pardal_300m}_{itj} + c_3 \text{Pardal}_{itj} + c_4 \text{Modal}_{itj} \\ & + c_5 \text{Período_dia}_{itj} + c_6 \text{Tempo}_{itj} + c_7 \text{Ano}_i + c_8 \text{Mês}_j \\ & + c_9 \text{Região}_{tj} + c_{10} \text{Acidente_tipo}_{itj} + c_{11} \text{Onda}_{tj} + \varepsilon_{itj} \end{aligned}$$

Como estamos estimando os efeitos do tratamento em mais de dois períodos, visto que a instalação dos radares passou por 4 ondas, ao modelo acima é acrescentado um parâmetro que indique o efeito fixo do tempo. Cabe destacar que, a variável *pardal* mede a presença do equipamento de controle de velocidade e *pardal_300m* visa mensurar o efeito canguru (o condutor reduzir a velocidade do veículo antes do radar e acelerar em seguida). As variáveis *rua nova 2*, *rua nova 3* e *rua nova 4* são variáveis de interação que é formada pela multiplicação entre a presença do radar em uma nova rua

(isto é, que ainda não tinha recebido o equipamento de velocidade, pois, a mesma rua pode receber, em momentos distintos, esse tipo de aparelho), pelo período de instalação. Ela será responsável em medir o efeito do radar, na via, dentro do período de instalação¹⁰. As ondas captam os períodos de intervenção sendo que a onda 1 é uma variável de interação que capta o período que a avenida recebeu o radar. As demais ondas (2 e 3) medem os demais períodos em que as avenidas receberam os radares. As variáveis de ano e mês medem possíveis efeitos relacionados a sazonalidade, como o baixo número de veículos e pessoas na capital durante o período do verão (dezembro, janeiro e fevereiro).

3. Resultados

Os resultados expostos na Tabela 5 indicam os efeitos dos períodos de instalação dos radares segundo diferentes modelos (empilhado, fixo e aleatório) sobre o número de feridos. O primeiro período cobre os meses de janeiro a março de 2000. O seguinte cobre os meses de março de 2000 a agosto de 2002. Na sequência, o terceiro período corresponde aos meses de agosto de 2002 a dezembro de 2010. Por fim, o quarto período cobre os meses de dezembro de 2010 até o presente.

Tabela 5: resultados de efeitos fixos, efeitos aleatórios e empilhado sobre feridos.

Feridos	FE	RE	Empilhado
Onda 1 (01/2000 a 03/2000)	-0.307* (-1.69)	-0.439*** (-2.63)	-0.541*** (-3.31)
Onda 2 (03/2000 a 08/2002)	0.0662* (1.84)	0.108*** (3.64)	0.0751*** (2.69)
Rua nova 2	-0.281*** (-5.07)	-0.239*** (-5.13)	-0.210*** (-4.83)
Onda 3 (08/2002 a 12/2010)	0.00608 (0.27)	0.0328* (1.76)	0.0150 (0.86)
Rua nova 3	0.0810 (1.32)	-0.0179 (-0.47)	0.00481 (0.15)
Rua nova 4	-0.212*** (-2.89)	0.0339 (0.99)	0.0890*** (2.97)

¹⁰ Os locais exatos onde estão em operação os pardais e lombadas eletrônicas no município de porto alegre estão disponíveis no site da EPTC (Empresa Pública de Transporte e Circulação). Para pardais: http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/eptc/usu_doc/enderecos_pardais_fev2018.pdf. Para lombadas eletrônicas: http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/eptc/usu_doc/enderecos_lombadas_fev2018.pdf.

Fonte: elaborado pelos autores.

*** $p \leq 0,01$

** $p \leq 0,05$

* $p \leq 0,10$

Os resultados considerando todas as covariáveis estão expostos na Tabela A1, em anexo, para o número de feridos, cujas colunas estão subdivididas para os modelos de efeitos fixos (FE), efeitos aleatórios (RE) e empilhado. Além disso, ela expõe os resultados referentes à cada modal de transporte, tipo de acidente e para as *dummies* de tempo e de clima. Aqui destacamos apenas os resultados para os períodos de instalação (onda 1, onda 2, onda 3) e para as ruas (rua nova 2, rua nova 3 e rua nova 4) que receberam radares isoladamente e posteriormente às ondas de instalação.

A eficácia dos radares é confirmada a partir dos resultados referentes ao primeiro período, independentemente do modelo. A relação causal captada pelo modelo é que a instalação de radares tende a diminuir o número de feridos. Tal relação foi observada em Wilson et al. (2010), Soole et al. (2013) e Carnis e Blais (2013) em suas extensas revisões sistemáticas de estudos, que investigam o impacto de radares sobre o trânsito. Em nosso modelo, todos os resultados demonstram uma redução estatisticamente significativa no número de feridos. No modelo de efeitos fixos (FE), os resultados são estatisticamente significantes e verificamos a incidência de queda de 0,3 no número de feridos no primeiro período de instalação dos radares. No segundo período, se verifica um ligeiro aumento de 0,06, e não se verifica efeito estatisticamente significativo no terceiro período. No entanto, as variáveis de interação: “rua nova 2” e “rua nova 4” apontaram para uma queda de 0,28 e 0,21 respectivamente. Esse resultado não é verificado para a variável de interação “rua nova 3”.

Os resultados do modelo de efeitos aleatórios (RE) foram estatisticamente significantes para todos os períodos de instalação sendo de queda no primeiro período, 0,439 e de elevação nos períodos subsequentes: 2 e 3, da ordem de 0,108 e 0,033, respectivamente. Apenas se observa efeitos estatisticamente significantes para a variável de interação correspondente ao segundo período. Os demais efeitos não se mostraram diferentes de zero. O modelo empilhado também obteve resultados significativos sendo semelhantes aos apresentados anteriormente. Observa-se uma queda no número de feridos relacionados à primeira onda, porém, um ligeiro aumento nos demais períodos: 2 e 3. Todavia, enquanto se verifica um efeito de queda no número de feridos nas novas ruas que receberam os equipamentos de velocidade na segunda onda de instalação,

resultado semelhante não é observado nas ondas seguintes. Inclusive, se percebe um aumento nos feridos relativo as novas ruas que receberam equipamentos na quarta.

Os resultados também estão disponíveis no anexo A1, onde estão expostos os resultados para todas as covariáveis dos três modelos investigados. Observamos que a presença do radar dentro de um raio de 300 metros não apresentou os sinais esperados para os modelos de efeitos aleatórios e empilhado, ainda que para o modelo de efeitos fixos indica-se um resultado negativo de 0,12, que é estatisticamente significante a 1%. Dentro de um raio de 300m em relação ao equipamento de controle de velocidade o resultado não se mostra conclusivo para os diferentes modelos: para o de efeitos fixos, o coeficiente é de 0,13 e é estatisticamente significante a 5%, enquanto para os modelos de efeitos aleatórios e empilhado, os resultados são negativos de 0,006 (não significativo) e 0,03, sendo significativo a 10%, respectivamente. Esses resultados mostram a não ocorrência do *kangaroo effects* decorrente da frenagem súbita do veículo momentos antes de passar pelos radares fixos, e em seguida retomar a sua velocidade. Essa frenagem súbita pode afetar negativamente o efeito de segurança esperado pela presença dos radares, resultado semelhante também identificado no estudo de Pauw et alli (2014) e em trabalhos de Elvik (1997) e Keal et ali (2001).

Os resultados apontam para efeitos negativos e estatisticamente significantes no número de feridos para a presença de caminhões, ônibus, táxi, lotação e automóveis envolvidos nos acidentes de trânsito. Entretanto, para os modais relativos aos ônibus urbano e interurbano, bicicleta e motocicleta, os efeitos se mostraram positivos e estatisticamente significantes. Segundo dados da EPTC¹¹, o número de ciclistas feridos em acidentes de trânsito, apenas de 2013 a 2014 teve um incremento de 10%, de 225 para 248 vítimas. A mesma empresa verificou um aumento de 1% no mesmo período envolvendo ônibus, de 782 para 789 vítimas. A maior incidência de feridos nos modais motocicleta e bicicleta pode ter relação com o fato de que seus condutores são mais sujeitos a serem feridos, uma vez que ficam mais expostos, precisando confiar em equipamentos básicos de segurança, como capacetes – que são insuficientes para prevenir lesões em outras partes do corpo que não a cabeça.¹²

¹¹ Detalhes sobre o número absolutos de vítimas no trânsito de Porto Alegre estão disponíveis em: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/eptc/default.php?p_secao=203

¹² São relativamente frequentes as ocorrências envolvendo atropelamento de ciclistas por ônibus, mas para verificar uma correlação entre a incidência de feridos em ambos os modais seriam necessários dados específicos sobre este tipo de acidentes. No momento, tal evidência não passa de anedótica.

As *dummies* de horário e clima apresentaram os resultados esperados: à noite, verificamos diminuição no número de vítimas independente do modelo empregado. Contudo, se observa efeito positivo no número de feridos no que tange ao período matutino. Uma possível razão para isso é a grande intensidade no tráfego de veículos devido ao início do horário comercial. Para *madrugada*, os resultados também influenciam de forma positiva no aumento do número de acidentes. Este resultado vai ao encontro das descobertas da literatura internacional (ELVIK, 2012) na qual concluiu-se que estradas sob condições de escuridão têm mais chances de provocar acidentes em relação à estradas bem iluminadas.

Uma forma de obter um grau maior de certeza sobre as razões que levam o período da madrugada a ser mais propenso a produzir acidentes de trânsito seria modelar uma variável para as operações de fiscalização (*blitz*) de trânsito nesse horário. Além disso, é possível que estes resultados sejam em decorrência do menor fluxo de veículos na via que permite o desenvolvimento de maiores velocidades por parte dos motoristas, conforme citado por Kloeden et al. (1997). Outras possibilidades são a sonolência, além de aspectos relacionados à insegurança cujo medo de roubo de veículos e assaltos durante a madrugada que pode levar os condutores a não pararem em cruzamentos, mesmo correndo risco de ocasionar acidentes.

A ocorrência de tempo chuvoso aponta para um efeito positivo entre 0,33 e 0,36 no aumento do número de feridos independente do modelo analisado. A ocorrência de tempo bom também indica efeitos positivos no número de feridos. Novamente, este resultado encontra respaldo na literatura internacional (ELVIK, 2012), na qual foi verificada maior probabilidade de acidentes e feridos em estradas molhadas e em condições adversas (chuva, nevasca, etc.) e menor probabilidade em condições de tempo favoráveis. Quanto a região da cidade, verificamos um efeito de redução no número de feridos nos acidentes em relação aos modelos de efeitos aleatórios e empilhado. Para o modelo de efeitos fixos, o resultado não se mostra estatisticamente significativo.

Para o tipo de acidente, observa-se que os acidentes em que ocorrem atropelamento, capotagem e queda estão positivamente associados à ocorrência de feridos em comparação ao abalroamento. Entretanto, os choques e incêndios estão negativamente associados à ocorrência de feridos vis a vis ao abalroamento para a maioria dos modelos analisados.

Levando em consideração fatores sazonais dos acidentes, verificamos que existe uma associação negativa ao longo dos meses do ano em comparação a janeiro. Todavia, se verifica um aumento no número de feridos no decorrer dos anos em comparação a 2000. Isso pode ser reflexo do paulatino crescimento na frota de veículos, inclusive maior presença de ciclistas e motociclistas, e o conseqüente aumento do nível geral de circulação. Outra explicação pode ser o aumento verificado no número de condutores engajados em comportamento de risco, como por exemplo, embriaguez: entre 2008 e 2014, o DETRAN-RS reporta um aumento de 241,85% no número de infrações por embriaguez no estado, passando de 6.829 casos para 23.345¹³. Infrações graves e gravíssimas também tiveram aumento significativo, algo que pode estar correlacionado ao aumento do número de feridos verificado. Infrações graves eram 432.453 em 2007 e saltaram para 862.252 em 2014; já as gravíssimas, o aumento foi de 332.756 em 2007, para 479.819 em 2014¹⁴.

É importante destacar que, pode existir uma possibilidade de subestimação dos resultados, devido a problemas de endogeneidade na escolha do local de implantação do radar, devido à falta de informações em torno dos locais escolhidos para a instalação dos equipamentos de controle de velocidade. Além disto, não se tem informações a respeito dos condutores (idade e sexo) envolvidos no acidente, tampouco do seu comportamento na via (trafegava ou não em alta velocidade, estado de embriaguez ou de sonolência), e sobre o fluxo de tráfego nas vias ao longo dos anos, uma vez que pode ocorrer a migração para vias em que não receberam radares. No entanto, em relação ao último ponto, acredita-se que tenha aumentado, principalmente, em decorrência dos incentivos oferecidos pelo governo para aquisição de veículos, com reflexo na frota circulante da cidade.

4. Considerações finais

Os acidentes de trânsito geram uma perda econômica para a sociedade, pois consomem recursos financeiros, bens e serviços médicos, além de capital humano. Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da política de controle de velocidade a partir de radares fixos na redução do número de feridos em acidentes de trânsito.

¹³ <http://www.detran.rs.gov.br/conteudo/40990/infracoes-por-embriaguez-triplicam-em-oito-anos-de-lei-seca>.

¹⁴ Os dados a partir de 2007 e consolidados para todo o RS estão disponíveis ao público em: <http://www.detran.rs.gov.br/lista/797/estatisticas-de-transito>.

A partir da análise dos resultados pode-se dizer que, a presença de radares se mostrou eficaz na redução da probabilidade de ocorrência de feridos, embora isto se verifique apenas no primeiro e segundo períodos. É provável que a instalação do radar tenha modificado o comportamento dos condutores, porém, esta atitude cautelosa pode não se espalhar para demais trechos e avenidas. Quanto ao modal de transporte, verificou-se uma redução do número de feridos em acidentes com envolvimento de caminhões, táxis, lotações e automóveis. A adversidade no clima aumenta a probabilidade de ocorrer acidentes. Isso se deve à maior incidência de automóveis nas vias, bem como às condições adversas nas pistas, elevando a probabilidade de acidentes (como aquaplanagem e visibilidade reduzida).

De maneira geral, pode-se dizer que os resultados fornecem evidências de que existe um grau de eficácia dos radares na diminuição do número de feridos. Esta diminuição pode ser resultado de incentivos produzidos pelos equipamentos que levam à redução da velocidade e mudança do comportamento dos condutores nos locais onde foram instalados, mesmo que esta redução da velocidade fique limitada a um pequeno trecho da via, localizado na sua maior parte, imediatamente no entorno dos radares fixos. Estes resultados são semelhantes aos observados na literatura internacional sobre os efeitos de radares.

Os controladores de velocidade se mostram eficazes em algumas circunstâncias, mas, seria necessário que o país regulamente e adote novas tecnologias existentes na área de controle viário, como, por exemplo, o sistema inglês de monitoramento chamado de SPECS (*Speed Check Services*), que consiste em radares fixos que calculam a velocidade média de cada veículo por trecho. O sistema consiste na instalação de câmeras que estejam posicionadas de 200 metros até 10 km de distância entre si e que realizam a leitura e reconhecimento da placa dos veículos por meio do cálculo da sua velocidade média no trecho e assim, aplicando multas aos infratores. Sistemas semelhantes são utilizados em diversos outros países como Itália, Austrália, Bélgica, Holanda e Áustria. Em diversos países o valor das multas varia conforme a renda do condutor e também pela reincidência nas infrações de trânsito. O sistema de perda de pontuação dos condutores atual, também deve ser revisto, no Brasil, muitos motoristas transferem suas multas a outros condutores, quando não conseguem transferir os pontos, se utilizam de recursos judiciais para atrasar o processo de perda do direito de dirigir por diversos meses.

5. Referências bibliográficas

BELIN, M.A., TILGREN, P., VERDUNG, E., CAMERON, M. TINGVALL, C. (2010), *Speed cameras in Sweden and Victoria, Australia—A case study*. Accident Analysis and Prevention, 42(6): 2165-2170.

Barry, Simon C. and Welsh, A.H. (2002) *Generalized additive modelling and zero inflated count data*. Ecological Modelling, 157, (2-3), pp. 179-188

BLONDIEU, T. ROUSSEAU, S. (2013) – Report – *Insights into the Effectiveness of Road Safety Enforcement*. Consortium UHasselt, KU Leuven en VITO.

CAMERON, A. C. TRIVEDI, P. K. (2010). *Microeconometrics Using Stata*. College Station, Texas: Stata Press

CARNIS, Laurent; BLAIS, Etienne: *An assessment of the safety effects of the French speed camera program* (2013). Accident Analysis and Prevention, 51, pp. 301–309

Código de Trânsito Brasileiro (CTB) (1998) – Ministério da Justiça – Brasil - Brasília, disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503.htm, acessado em: 14/12/2013.

#DATAPOA, Portal de dados abertos de Porto Alegre, disponível em: <http://datapoa.com.br/dataset>, acessado em 08/01/18.

DENATRAN, Departamento Nacional de Trânsito, disponível em <https://www.denatran.gov.br/>, acessado em 20/04/2018.

DETRAN/RS, Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Sul, disponível em <http://www.detran.rs.gov.br>, acessado em 20/04/2018.

ELVIK, R. (2009), *Effects on Accidents of Automatic Speed Enforcement in Norway*, Transportation Research Record paper no. 970118.

_____. *Speed Limits, Enforcement, and Health Consequences* (2012). Annu. Rev. Public Health, 33, pp. 225-238.

_____; VAA, T. (1997), *Effects on accidents of automated speed enforcement in Norway*. Transportation Research Record, ed.95, pág:14-19.

GAINS, A., HEYDECKER, B, SHREWSBURY, J. ROBERTSON, S. (2004), *The national safety camera programme: Three-year evaluation report*, PA Consulting Group and University College London.

GOLD, Philip Anthony (jan/2003) – Documento Técnico - Fiscalização eletrônica de velocidade. São Paulo, SP.

HUEBSCHMAN, C.R., GARCIA, C., BULLOCK, D.M. ABRAHAM, D.M. (2003), *Construction work zone safety*. Joint Transportation Research Program Technical Report Series.

INFRAÇÕES POR EMBRIAGUEZ TRIPLICAM EM OITO ANOS DE LEI SECA (2016). Disponível em: <http://www.detran.rs.gov.br/conteudo/40990/infracoes-por-embriaguez-triplicam-em-oito-anos-de-lei-seca>, acessado em 20/04/2018.

IPEA, (2006). Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras, disponível em: http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/custos_acidentes_transito.pdf, acessado em: 11/12/2013.

JOERGER, M. (2010), *Photo radar speed enforcement in a state highway work zone: Yeon Avenue Demonstration project*. No OR-RD-10-17.

KEALL, Michael D.;POVEY, Lynley J.; FRITH, William J. 2001. *The relative effectiveness of a hidden versus a visible speed camera programme*. Accident Analysis and Prevention v. 33. pp. 277–284

Kloeden, C. N., McLean, A. J., Moore, V. M. & Ponte, G. (1997). Travelling speed and the risk of crash involvement. Report CR172, Federal Office of Road Safety, Canberra

LI, Haojie; GRAHAM, Daniel J.; MAJUMDAR, Arnab. 2013. *The impacts of speed cameras on road accidents: An application of propensity score matching methods*. Accident Analysis and Prevention. Vol. 60. pp. 148–157.

MOUKARZEL, P. (1999) A Utilização de Radares Eletrônicos nas Rodovias Estaduais de Santa Catarina, Dissertação de Mestrado, UNISUL, Florianópolis, SC.

NANTULYA, V. M.; REICH, M. R. 2002. *The neglected epidemic: road traffic injuries in developing countries*. British Medical Journal International. 324.7346. pp.1139-41.

OSTER JR, Clinton V. STRONG, John S. (2013). *Analyzing road safety in the United States*. Research in Transportation Economics. Vol 43, pp. 98 – 111.

PAWN, Ellen De; DANIELS, Stijn; BRIJS, Tom; HERMANS, Elke; WETS, Geert. 2014. *An evaluation of the traffic safety effect of fixed speed cameras*. Safety Science v. 62. pp. 168–174.

_____: *Behavioural effects of fixed speed cameras on motorways: Overall improved speed compliance or kangaroo jumps?* (2014) Transportation Research Institute, Hasselt University, Diepenbeek, Belgium. Accident and Analysis Prevention v. 73 pp. 132 – 140.

PÉREZ, Katherine; MARÍ-DELL'OLMO, Marc; TOBIAS, Aurelio; BORREL, Carme. *Reducing Road Traffic Injuries: Effectiveness of Speed Cameras in an Urban Setting*. American Journal of Public Health. September 2007, v. 97, No. 9. pp. 1632-37

SOOLE, David W.; WATSON, Barry C.; FLEITER, Judy J. *Effects of average speed enforcement on speed compliance and crashes: a review of the literature* (2013). Accident Analysis and Prevention, 54, pp. 46–56

SWOV (2011), *Speed cameras: how they work and what effect they have*, SWOV fact sheet. Disponível em: www.swov.nl/en/publication/speed-cameras-how-they-work-and-what-effect-they-have. Acessado em: 26/11/2017.

WILSON, C; WILLIS, C; HENDRIKZ, JK; LE BROUQUE, R; BELLAMY, N. 2010. *Speed cameras for the prevention of road traffic injuries and deaths (Review)*. The Cochrane Collaboration. John Wiley & Sons.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2015) – *Global Status Report on Road Safety 2015*. World Health Organization. Disponível em: http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/. Acessado em: 15/11/2017.

Anexo A1 – Resultados

Feridos	FE	RE	EMPILHADO
Rua nova 1	-0.281*** (-5.07)	-0.239*** (-5.13)	-0.210*** (-4.83)
Rua nova 2	0.0810 (1.32)	-0.0179 (-0.47)	0.00481 (0.15)
Rua nova 3	-0.212*** (-2.89)	0.0339 (0.99)	0.0890*** (2.97)
Pardal 300m	-0.122*** (-2.65)	0.0459* (1.78)	0.131*** (6.52)
Pardal	0.126** (2.06)	-0.00569 (-0.33)	-0.0261* (-1.79)
Automóvel	-0.150*** (-12.36)	-0.290*** (-27.97)	-0.452*** (-48.80)
Táxi	-0.192*** (-9.49)	-0.374*** (-21.70)	-0.554*** (-33.95)
Lotação	-0.136*** (-3.90)	-0.308*** (-10.55)	-0.467*** (-16.58)
Ônibus urbano	0.351*** (18.23)	0.207*** (13.15)	0.0613*** (4.21)
Ônibus interurbano	0.207*** (8.04)	0.0634*** (2.91)	-0.0938*** (-4.55)
Caminhão	-0.582*** (-28.16)	-0.764*** (-44.14)	-0.940*** (-57.39)
Motocicleta	0.863*** (61.03)	0.772*** (66.49)	0.669*** (66.67)
Carroça	0.398*** (6.07)	0.466*** (9.96)	0.381*** (8.61)

Feridos	FE	RE	EMPILHADO
Fevereiro	-0.0226 (-1.06)	-0.0110 (-0.64)	-0.0139 (-0.84)
Março	-0.086*** (-4.28)	-0.0794*** (-4.90)	-0.0743*** (-4.78)
Abril	-0.111*** (-5.56)	-0.0821*** (-5.09)	-0.0783*** (-5.06)
Maio	-0.065*** (-3.29)	-0.0577*** (-3.61)	-0.0571*** (-3.72)
Junho	-0.039** (-1.97)	-0.0333** (-2.06)	-0.0340** (-2.19)
Julho	-0.074** (-3.70)	-0.0541*** (-3.35)	-0.0589*** (-3.80)
Agosto	-0.058*** (-2.92)	-0.0355** (-2.21)	-0.0359** (-2.33)
Setembro	-0.0284 (-1.42)	-0.000489 (-0.03)	0.000989 (0.06)
Outubro	-0.0364* (-1.84)	-0.0230 (-1.45)	-0.0206 (-1.35)
Novembro	-0.049** (-2.48)	-0.0262 (-1.63)	-0.0202 (-1.31)
Dezembro	-0.041** (-2.08)	-0.00860 (-0.53)	0.00440 (0.29)
Região Central	0.0171 (0.40)	-0.363*** (-27.19)	-0.354*** (-33.32)
Região Leste	0.0580 (1.58)	-0.168*** (-15.45)	-0.179*** (-20.08)

Bicicleta	0.927*** (36.62)	0.827*** (42.55)	0.381*** (59.75)
Outro	-0.193*** (-3.67)	-0.291*** (-6.89)	-0.426*** (-10.35)
Dia	-0.444*** (-24.38)	-0.451*** (-30.69)	-0.449*** (-31.72)
Tempo chuvoso	0.335*** (14.34)	0.348*** (17.83)	0.357*** (18.65)
Tempo bom	0.659*** (35.35)	0.672*** (43.06)	0.695*** (45.36)
Noite	-0.226*** (-11.72)	-0.207*** (-13.31)	-0.199*** (-13.25)
Manhã	0.0561*** (5.38)	0.0490*** (5.78)	0.0505*** (6.17)
Madrugada	0.276*** (13.05)	0.259*** (15.19)	0.228*** (13.94)
Ano 2001	0.0115 (0.45)	-0.0284 (-1.39)	-0.0198 (-1.00)
Ano 2002	0.291*** (11.85)	0.158*** (8.10)	0.139*** (7.40)
Ano 2003	0.281*** (11.25)	0.184*** (9.39)	0.180*** (9.59)
Ano 2004	0.0967*** (3.77)	0.0589*** (2.93)	0.0923*** (4.78)
Ano 2005	0.160*** (6.29)	0.140*** (7.03)	0.167*** (8.70)
Ano 2006	0.0955*** (3.74)	0.0745*** (3.72)	0.104*** (5.39)
Ano 2007	0.0749*** (2.97)	0.0635*** (3.23)	0.0899*** (4.77)
Ano 2008	0.0101 (0.39)	0.0147 (0.73)	0.0407** (2.12)
Ano 2009	-0.00828 (-0.32)	0.0200 (1.00)	0.0572*** (2.97)
Ano 2010	0.0730*** (2.93)	0.0924*** (4.81)	0.135*** (7.35)
Ano 2011	0.0634** (2.49)	0.0890*** (4.55)	0.119*** (6.34)
Ano 2012	0.146*** (5.65)	0.112*** (5.62)	0.162*** (8.52)
Ano 2013	0.0635** (2.45)	0.118*** (6.00)	0.156*** (8.30)
Ano 2014	0.0789*** (2.93)	0.115*** (4.81)	0.152*** (7.35)

Região Norte	0.0467 (1.04)	-0.203*** (-19.61)	-0.204*** (-24.33)
Acidente com incêndio	-1.842** (-2.56)	-1.586*** (-3.53)	-1.689*** (-3.78)
Acidente com atropelamento	0.927*** (52.19)	0.793*** (56.94)	0.686*** (56.00)
Acidente com capotagem	0.717*** (16.49)	0.768*** (23.51)	0.759*** (24.87)
Acidente com choque	-0.057*** (-3.30)	-0.137*** (-10.28)	-0.142*** (-11.34)
Acidente com colisão	-0.417*** (-38.01)	-0.392*** (-43.46)	-0.376*** (-43.13)
Acidente eventual	-0.610*** (-13.07)	-0.741*** (-20.14)	-0.799*** (-22.27)
Acidente com queda	0.401*** (17.62)	0.211*** (11.88)	0.0721*** (4.45)
Acidente com tombamento	0.0522 (0.62)	0.124* (1.91)	0.112* (1.77)
Primeira onda	-0.307* (-1.69)	-0.439*** (-2.63)	-0.541*** (-3.31)
Segunda onda	0.0662* (1.84)	0.108*** (3.64)	0.0751*** (2.69)
Terceira onda	0.00608 (0.27)	0.0328* (1.76)	0.0150 (0.86)
Constante		-0.995*** (-27.32)	-0.831*** (-24.43)
Lnalpha			
Constante		-1.788*** (-81.68)	
N	228036	316197	316197

Fonte: Elaboração própria.

	(2.98)	(5.73)	(7.90)
--	--------	--------	--------