

CONCESSÕES RODOVIÁRIAS E MELHORIAS NAS VIAS EFETIVAMENTE DIMINUEM O CUSTO ECONÔMICO DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO? UMA ANÁLISE PARA A REDE RODOVIÁRIA FEDERAL BRASILEIRA

Carlos Eduardo da Gama Torres¹
Chrystian Soares Mendes²

Embora as taxas de acidente de trânsito observadas nas rodovias brasileiras tenham apresentado uma tendência de decréscimo nos últimos anos, ainda permanecem em patamares bastante elevados, principalmente se forem comparadas com as taxas observadas em países mais desenvolvidos. Para auxiliar na compreensão deste fenômeno, buscou-se, por meio de um modelo econométrico, apontar os principais fatores que influenciam a variação de três índices de acidentalidade, calculados de acordo com a gravidade do acidente: *i*) índice de acidentes com mortes (indexm); *ii*) índice de acidentes com feridos (indexf); e *iii*) índice de acidentes sem vítimas (indexsv). Tais índices foram calculados para os anos de 2006 e 2009, a partir de observações registradas em trechos da malha rodoviária das regiões Sul e Sudeste, conforme sua jurisdição (concedida ou administrada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT). Os resultados indicam que a gravidade dos acidentes está relacionada ao tipo de acidente e ao trecho analisado. Em especial, observou-se que parte significativa do aumento indexf, considerando-se os anos de 2009 e 2006, ocorreu na malha em pista dupla sob jurisdição do DNIT. Entretanto, considerando-se os trechos administrados pelas concessionárias Nova Dutra e Fluminense, foi observada significância estatística para redução no indexm.

Palavras-chave: índice de acidentes com mortes; índice de acidentes com feridos; índice de acidentes sem vítimas; concessões rodoviárias; infraestrutura de transporte rodoviário.

ROAD CONCESSIONS AND ROAD IMPROVEMENTS EFFECTIVELY REDUCE THE ECONOMIC COST OF TRAFFIC ACCIDENTS? AN ANALYSIS FOR THE BRAZILIAN FEDERAL ROAD NETWORK

Although the traffic accident rates observed on Brazilian highways have shown a downward trend in recent years, they still remain at very high levels, especially if we compare them with the rates observed in more developed countries. To help understand this phenomenon, an econometric model was used to identify the main factors influencing the variation of three accident rates calculated according to the severity of the accident : *i*) fatal accident rate (indexm); *ii*) injury accident rate (indexf); and *iii*) accident-free casualty rate (indexsv). These indices were calculated for the years 2006 and 2009, based on observations recorded in parts of the road network in the South and Southeast regions, according to their jurisdiction (granted or administered by the Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT). The results indicate that the severity of the accidents is related to the type of accident and to the section analyzed. In particular, it was observed that a significant part of the increase in the rate of accidents with injuries for 2006

1. Professor associado do Departamento de Economia/Programa de Pós-graduação em Economia Aplicada (PPEA) da Universidade Federal de Ouro Preto (Ufop). *E-mails:* <carlosgt32@hotmail.com> e <carlos.torres@ufop.edu.br>.

2. Professor adjunto do Departamento de Economia da UFOP. *E-mail:* <csmendes@ufop.edu.br>.

and 2009 occurred in the double lane network under DNIT jurisdiction, and statistical significance was observed for a reduction in the number of accidents involving deaths considering the stretches managed by Nova Dutra and Fluminense concessionaires.

Keywords: accident rate with deaths; accident rate with injuries; accident rate without victims; road concessions; road transport infrastructure.

¿CONCESIONES DE CARRETERAS Y MEJORAS EN LAS VÍAS EFECTIVAMENTE DISMINUYEN EL COSTO ECONÓMICO DE LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO? UN ANÁLISIS PARA LA RED CAMINERA FEDERAL BRASILEÑA

Aunque las tasas de accidentes de tránsito observadas en las carreteras brasileñas han presentado una tendencia de descenso en los últimos años, todavía permanecen en niveles bastante elevados, principalmente si las comparamos con las tasas observadas en países más desarrollados. Para ayudar en la comprensión de este fenómeno se buscó por medio de un modelo econométrico apuntar los principales factores a influenciar la variación de tres índices de accidentalidad calculados conforme a la gravedad del accidente: *i*) tasa de accidentes fatales (indexm); *ii*) tasa de accidentes con lesiones (indexf); y *iii*) tasa de accidentes sin víctimas (indexsv). Tales índices fueron calculados para los años 2006 y 2009, a partir de observaciones registradas en tramos de la red de carreteras de las regiones Sur y Sudeste, conforme a su jurisdicción (concedida o administrada por el Departamento Nacional de Infraestructura de Transportes – DNIT). Los resultados indican que la gravedad de los accidentes está relacionada con el tipo de accidente y el tramo analizado. En particular, se observó que una parte significativa del aumento en el índice de accidentes con heridos en 2006 y 2009 ocurrió en la malla en pista doble bajo jurisdicción del DNIT y, se observó significancia estadística para reducción en el índice de accidentes con muertes considerando los extractos administrados por las concesionarias Nova Dutra y Fluminense.

Palabras clave: índice de accidentes con muertes; índice de accidentes con heridos; índice de accidentes sin víctimas; concesiones viales; infraestructura de transporte por carretera.

CONCESSIONS ET AMELIORATIONS ROUTIERES REDUISENT-ELLES EFFICACEMENT LE COUT ECONOMIQUE DES ACCIDENTS DE LA ROUTE? UNE ANALYSE DU RÉSEAU ROUTIER FÉDÉRAL BRÉSILIEN

Bien que les taux d'accidents de la route observés sur les routes brésiliennes aient montré une tendance à la baisse ces dernières années, ils restent à des niveaux très élevés, surtout si on les compare aux taux observés dans les pays plus développés. Pour aider à comprendre ce phénomène, un modèle économétrique a été utilisé pour identifier les principaux facteurs influençant la variation de trois taux d'accidents calculés en fonction de la gravité de l'accident : *i*) taux d'accidents mortels (indexm); *ii*) taux d'accidents avec blessures (indexf); et *iii*) taux d'accidents pas de victimes (indexsv). Ces indices ont été calculés pour les années 2006 et 2009, à partir d'observations enregistrées dans les tronçons du réseau routier du Sud et du Sud-Est, comme sa juridiction (accordée ou administrés par Departamento Nacional de Infraestructura de Transportes – DNIT). Les résultats indiquent que la gravité des accidents est liée au type d'accident et à la section analysée. En particulier, on a constaté qu'une part importante de l'augmentation du nombre d'accidents avec blessures dans 2006 et 2009 a eu lieu dans la boucle double voie sous la juridiction de DNIT et la signification statistique a été trouvée pour réduire le taux d'accidents avec décès en tenant compte des extraits gérés par les concessionnaires Nova Dutra et Fluminense.

Mots clés: taux d'accidents avec décès; taux d'accidents avec blessures; taux d'accidents sans victimes; concessions routières; infrastructures de transport routier.

JEL: R41, R42, R48.

1 INTRODUÇÃO

Os acidentes de trânsito³ representam um sério problema de saúde em todo o mundo, e no Brasil esse quadro toma contornos ainda mais graves, uma vez que as taxas de acidentalidade aqui registradas superam amplamente os índices observados nos países mais desenvolvidos. Nesse contexto, os acidentes causados por meio do transporte terrestre (ATTs) são o segundo maior responsável pelas mortes por causas externas. Se considerarmos, por exemplo, o ano de 2010, foram notificadas 42.844 mortes decorrentes de ATTs, a maior parte entre homens (81,6%), nas faixas etárias de 20 a 39 anos e de 40 a 59 anos (Brasil, 2016). Ipea (2015) aponta que os acidentes nas rodovias federais respondem por cerca de 20% do total de mortes por ATTs; também alerta que essa situação pode se agravar ainda mais com a expansão da frota de veículos e motocicletas. Paralelamente, estimativas da Organização Mundial da Saúde (OMS) apontam para uma taxa de 22,5 mortes em acidentes em rodovias para cada 100 mil habitantes no Brasil, valor elevado se comparado a países como Argentina e Dinamarca, que têm taxas de 12,6 e 4,7, respectivamente (WHO, 2013).

Assim, considerando-se os dados levantados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF) a partir dos registros nos boletins de ocorrência dos acidentes na malha por ela fiscalizada, entre 2007 e 2015, foram registrados um total de 1.466.532 acidentes, resultando em 70.834 mortes no local do acidente e 235.382 feridos graves – muitos dos quais viriam a óbito posteriormente. Por sua vez, os mesmos dados indicam uma tendência considerável de queda nos acidentes em rodovias federais no período em questão. Dessa forma, foram notificados, em 2007, 128.444 acidentes, resultando em 23.829 feridos graves e 7.065 mortes no local; em 2011, atingiu-se o número máximo de acidentes e vítimas no período considerado: 192.326 acidentes, resultando em 29.053 feridos graves e 8.675 mortes no local do acidente; e, a partir desse ponto, observa-se um declínio tanto no número de acidentes como de vítimas, de modo que em 2015 foram registrados 122.010 acidentes, resultando em 22.452 feridos graves e 6.859 mortes no local do acidente. Note-se, porém, que uma das principais dificuldades na compreensão da real extensão dessa queda diz respeito à falta de dados sobre o fluxo de veículos nas rodovias; assim, embora entre 2015 e 2014 tenha ocorrido uma queda abrupta – em torno de 28% no total de acidentes –, a atual recessão econômica, ao implicar diminuição no fluxo de produtos e pessoas, também influenciou na queda do número de acidentes.

3. O autor agradece a Filipe Moura pela formatação da base de dados, isentando-o de qualquer possível equívoco.

Tomando-se como medida da evolução do fluxo de veículos a variação no consumo de combustíveis, dados da ANP (2016) apontam para uma queda de 4,69% no consumo de óleo diesel no Brasil entre 2014 e 2015.

Dessa maneira, se, por um lado, devemos salientar a queda nos índices de acidentalidade em rodovias federais – motivada pelos esforços do poder público em termos de melhorias da infraestrutura, aplicação de uma legislação mais severa (em especial com a promulgação da chamada Lei Seca), ações de educação para o trânsito e aumento da fiscalização –, por outro lado, a extensão do problema continua ainda inaceitável. Demanda-se, assim, o aprofundamento de estudos que compreendam a causalidade dos acidentes e a efetividade das políticas adotadas para atacar tal problema.

Acidentes de tráfego são eventos complexos, uma vez que envolvem a interação entre condutores, veículos, as vias por onde os condutores trafegam com seus veículos e as condições ambientais. Conforme aponta o *Estado de S. Paulo* (2007), cerca de 90% dos acidentes fatais apresentaram causas ligadas ao fator humano (embora não necessariamente tenha havido uma falha do condutor). Paralelamente, 50% dos acidentes fatais estavam ligados ao componente de infraestrutura, ao passo que em 30% desses casos fatores ligados aos veículos foram os principais motivadores.

O estudo pioneiro de Peltzman (1975) apontou que a obrigatoriedade da instalação de instrumentos de segurança nos veículos implicou um aumento no comportamento de risco dos motoristas, levando, por um lado, à redução de mortes dos ocupantes dos veículos, mas, por outro lado, levando ao aumento de mortes por atropelamentos e de acidentes sem fatalidade. Nos estudos mais recentes, Winston, Maheshri e Mannering (2006), ao verificarem os efeitos sobre o comportamento dos motoristas que utilizaram veículos com *air bag* e freios ABS, também encontraram evidências que sugerem que um aumento na sensação de segurança tende a implicar um comportamento mais arriscado por parte dos motoristas. Shikida, Araújo Júnior e Castro (2008), com base em dados do estado de Minas Gerais, também obtiveram evidências de que melhorias na segurança viária induzem a um comportamento mais desatento por parte dos condutores, corroborando a hipótese de Peltzman (*op. cit.*). Assim, a maneira como condutores, veículos e vias se relacionam, de acordo com as distintas condições ambientais, varia amplamente. Em muitas situações, melhorias nas condições de segurança, como a duplicação de uma rodovia, podem levar os usuários a aumentarem a velocidade ou a dirigirem de maneira mais imprudente ou desatenta, de modo a amplificar a probabilidade ou a gravidade dos acidentes, caso não haja uma fiscalização adequada.

Da mesma maneira que a relação entre melhorias nas condições de segurança de veículos e vias e número de acidentes é controversa, a relação entre volume de tráfego e número de acidentes também merece uma investigação adequada.

Conforme aponta Linderberg (2005), aumentos no volume de tráfego tenderão a reduzir a velocidade média dos veículos, o que poderá contribuir para uma redução no número de acidentes, em vez de um acréscimo proporcional nos acidentes. Essas diferenças nos levam a duas questões básicas: *i*) qual a relação entre volume de tráfego e número de acidentes; e *ii*) qual a relação entre investimentos na infraestrutura rodoviária e acidentes. Dadas essas inter-relações, compreende-se que as políticas públicas de logística e transporte devem considerar mais atentamente os aspectos pertinentes à segurança viária.

Desse modo, este artigo tem como objetivo geral compreender como o processo de concessão de rodovias federais, iniciado em 1995 e atualmente em expansão, tem influenciado o número e a gravidade dos acidentes registrados na malha viária. Busca-se, assim, quantificar os benefícios ocasionados pelas concessões e também compreender como melhorias, em especial a duplicação de alguns trechos da malha viária, influenciam o custo econômico dos acidentes nas rodovias. Sobre esse contexto, apontamos uma contradição na política de transportes brasileira para o período compreendido entre 2006 e 2009: a maior parte da variação observada no número de acidentes com feridos deu-se na malha administrada pelo DNIT em pista dupla, quando o efeito esperado no tocante à duplicação de vias é justamente uma redução no custo do transporte, incluindo-se uma redução no custo dos acidentes de trânsito.

Este trabalho insere-se, assim, nos esforços inicialmente empreendidos pelo Ipea (2003; 2006; 2015), que procurou apontar os custos econômicos e os sociais dos acidentes de trânsito – em especial acidentes em rodovias –, e, para tanto, estimou o custo de acidentes sem vítimas, com feridos e com mortes. Torres (2010; 2013) utilizou os resultados apontados pelo Ipea (2003; 2006), reforçando uma questão importante: a necessidade de uma abordagem integrada sobre melhoria logística e segurança viária. Para alcançar os objetivos propostos, além desta discussão inicial, na seção 2 são apresentados os dados sobre o problema e a metodologia a ser utilizada. Na seção 3, serão mostrados e discutidos os resultados obtidos a partir da implementação de modelos econométricos, e a seção 4 traz as considerações finais.

2 DADOS E METODOLOGIA

Conforme discutido na introdução, um acidente de trânsito decorre da interação de fatores relacionados ao comportamento dos condutores, à condição das vias, à conservação dos veículos e ao meio ambiente. Por seu lado, os altos índices observados nas estatísticas brasileiras resultam principalmente da “falta de consciência da sociedade brasileira para conviver com um trânsito seguro e cordial” (Meneses, 2001, p. 20). Nesse sentido, o componente humano toma uma relevância ainda maior no caso brasileiro.

QUADRO 1

Principais fatores causadores de acidentes de trânsito no Brasil conforme grupo de risco

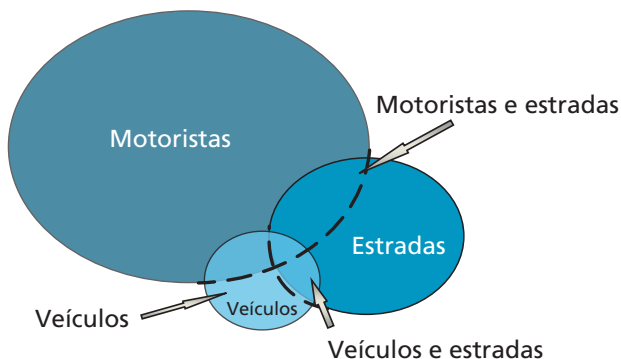
Fatores relacionados ao comportamento humano	Fatores relacionados à condição viária	Fatores relacionados à condição veicular
Circulação e velocidades incompatíveis.	Geometria e traçado.	Falha de manutenção do veículo.
Falhas de percepção de riscos.	Estado técnico e superfície do pavimento.	Idade do veículo em circulação.
Consumo de bebidas alcoólicas e drogas.	Estado técnico e credibilidade da sinalização.	Tipo de veículo.
Falta de uso do cinto de segurança.	Presença e estado técnico dos acostamentos.	Tamanho dos veículos.
Falta de atenção e distrações.	Condições de drenagem.	Função para a qual o veículo foi destinado.
Ultrapassagens arriscadas.	Presença de obstáculos laterais.	Fatores relacionados às condições ambientais.
Idade do motorista.	Condições de iluminação.	Condições climáticas (chuva, neblina, neve, ventos fortes e altas temperaturas).
Sonolência e estresse.	Presença de pedestres e ciclistas na via.	Condições de iluminação.
Uso do celular.	Presença de animais de grande porte.	-

Fonte: Sinay e Tamayo (2005).

De uma maneira mais geral, Sinay e Tamayo (2013) resumem no quadro 1 os principais fatores causadores de acidentes, conforme grupo de risco, discutidos na literatura nacional e internacional. Embora a legislação brasileira tenha se tornado mais dura, especialmente no que tange ao consumo de álcool, uma fiscalização ainda inadequada tem reduzido a efetividade das novas leis; como reflexo, os índices de acidentalidade continuam ainda elevados. Compreender a influência de todos os fatores apresentados no quadro 1 torna-se uma tarefa bastante complexa, uma vez que existe uma interação entre os fatores causais, conforme a figura 1 indica.

FIGURA 1

Interações entre veículos, estradas e motoristas na causalidade dos acidentes



Fonte: Lum e Reagan (1995).
Elaboração dos autores.

Nesse contexto, assume-se que a maior parte dos acidentes ocorre devido às falhas dos condutores, mas os dados disponíveis, muitas vezes, não conseguem abarcar toda a cadeia causal que leva a um acidente, dificultando a tarefa de compreender com precisão a participação dos fatores envolvidos.

Conforme a tabela 1 indica, mais de 50% dos acidentes registrados pela PRF na malha rodoviária federal teriam como causa direta falhas dos condutores, destacando-se: desobediência à sinalização, dormir ao volante, falta de atenção, ingestão de álcool, desobediência à distância de segurança, ultrapassagens indevidas e velocidade incompatível. Apenas o quesito falta de atenção seria responsável por aproximadamente um terço do total de acidentes. A tabela 1 também indica que o número de acidentes causados pela ingestão de álcool aumentou de 2,44% para 5,52% entre 2007 e 2015. Note-se que o aumento no registro dos acidentes causados por consumo de álcool pode derivar, na verdade, de um aumento da fiscalização, e não de um aumento do comportamento delituoso em si. Alguns autores argumentam também que as recentes modificações no Código de Trânsito Brasileiro, no que se refere à Lei Seca, surtiram efeito contrário ao inicialmente desejado.⁴

TABELA 1
Acidentes registrados segundo a causa na malha rodoviária federal (2007, 2012 e 2015)

Causa sugerida	Acidentes registrados na malha rodoviária federal em 2007	Acidentes registrados na malha rodoviária federal em 2007 (%)	Acidentes registrados na malha rodoviária federal em 2012	Acidentes registrados na malha rodoviária federal em 2012 (%)	Acidentes registrados na malha rodoviária federal em 2015	Acidentes registrados na malha rodoviária federal em 2015 (%)
Animais na pista	4.204	3,27	4.834	2,62	3.077	2,52
Defeito mecânico em veículo	5.404	4,21	6.831	3,70	5.726	4,69
Defeito na via	2.349	1,83	2.339	1,27	1.989	1,63
Desobediência à sinalização	4.061	3,16	7.789	4,22	6.009	4,93
Dormindo	3.367	2,62	4.624	2,51	4.059	3,33
Falta de atenção	42.502	33,09	61.205	33,16	36.773	30,14
Ingestão de álcool	3.134	2,44	7.594	4,11	6.739	5,52
Não guardar distância de segurança	8.138	6,34	18.804	10,19	11.400	9,34
Outras	46.415	36,14	49.581	26,86	28.994	23,76

(Continua)

4. Conforme argumenta Kist (2013), "a Lei nº 12.760, de 20 de dezembro de 2012, fez diversas modificações e inserções no Código de Trânsito Brasileiro, instituído pela Lei nº 9.503/97, de 23 de setembro de 1997". Nesse contexto, ao definir legalmente a concentração de álcool por litro de sangue, "ensejou graves dificuldades quanto à prova desta infração penal", uma vez que a exigência de comprovação de um delito por meio pericial pode ser lícitamente negada ao alegar-se o princípio da vedação da autoincriminação.

(Continuação)

Causa sugerida	Acidentes registrados na malha rodoviária federal em 2007	Acidentes registrados na malha rodoviária federal em 2007 (%)	Acidentes registrados na malha rodoviária federal em 2012	Acidentes registrados na malha rodoviária federal em 2012 (%)	Acidentes registrados na malha rodoviária federal em 2015	Acidentes registrados na malha rodoviária federal em 2015 (%)
Ultrapassagem indevida	2.845	2,21	4.134	2,24	2.993	2,45
Velocidade incompatível	6.025	4,69	16.827	9,12	14.251	11,68
Total	128.444	100,00	184.562	100,00	122.010	100,00

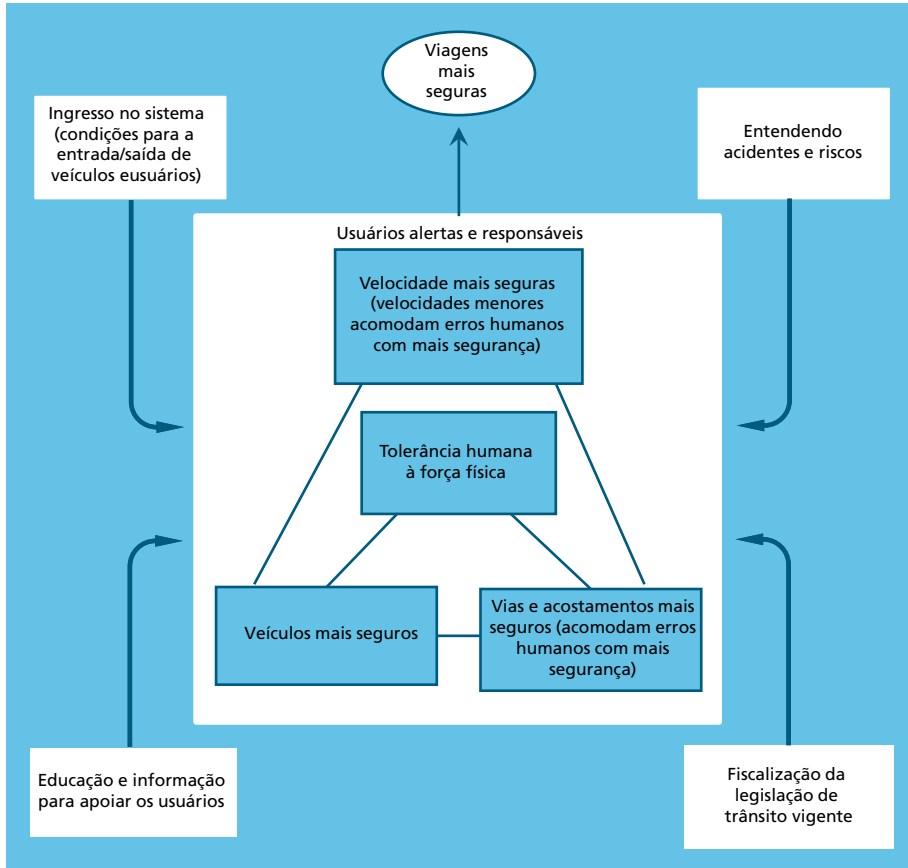
Fonte: PRF (2018).

Por seu lado, conforme aponta a OMS (2012, p. 13), existem várias medidas que abordam de maneira integrada os principais fatores de risco de acidentes de trânsito e podem ser adotadas com um custo relativamente reduzido, tais como:

- a) criar e fiscalizar a aplicação de leis que exijam a instalação e o uso de cintos de segurança por todos os ocupantes do veículo e a adoção de cadeirinhas infantis (equipamentos de retenção);
- b) criar e fiscalizar a aplicação de leis que exijam de motociclistas o uso de capacetes;
- c) definir e fiscalizar limites baixos de concentração alcoólica no sangue dos condutores de veículos;
- d) definir e fiscalizar limites de velocidade; e
- e) gerir infraestruturas viárias existentes para aumentar a segurança.

Considera-se, assim, que a sociedade brasileira tem evoluído bastante no que diz respeito à legislação de segurança viária, uma vez que os itens *a*, *b* e *c* estão tratados adequadamente pelo código de trânsito. Com relação ao item *d*, embora os limites de velocidade estejam bem instituídos, ainda falta fiscalização adequada. Com relação ao item *e*, objeto principal deste estudo, requer-se o aperfeiçoamento do conjunto de informações necessárias à melhor compreensão do problema.

FIGURA 2
Abordagem integrada Safe System



Fonte: OMS (2012).

Para que a redução de acidentes decorrentes da melhoria da infraestrutura se torne efetiva, deve-se buscar uma abordagem integrada na questão da segurança viária, como na chamada abordagem *Safe System* (OMS, 2012). Tal abordagem tem como objetivo principal “evitar lesões graves e fatais por meio da identificação e correção das principais fontes de erros e das falhas no design do sistema que agravem tais erros” (OMS, *op. cit.*, p. 6). A figura 2 resume as ideias básicas dessa abordagem. Dessa forma, a melhoria da infraestrutura viária aumentaria a margem de erro dos usuários, mas a educação e a fiscalização viriam a coibir os efeitos indesejáveis de o aumento da sensação de segurança induzir a um comportamento mais arriscado ou desatento por parte dos motoristas.

Considerando-se mais diretamente a relação entre acidentalidade e infraestrutura viária, podemos observar, conforme indica a tabela 2, que os tipos de acidente registrados em pista simples, dupla ou múltipla diferem significativamente. Destaca-se a alta proporção de acidentes registrados como colisão frontal em pista simples *vis à vis* a alta proporção de acidentes registrados como colisão traseira em pista dupla e múltipla. Conjuntamente, a tabela 3 indica que aproximadamente 79% dos acidentes registrados na categoria colisão frontal implicam mortes ou feridos, enquanto esse percentual corresponde a aproximadamente 23% se considerada a categoria colisão traseira. Considerando-se ainda as tabelas 2 e 3, podemos observar que a categoria atropelamento, a qual possui a segunda maior média de acidentes que resultaram em mortes e a maior média de acidentes que resultaram em feridos, não apresentou diferenças significativas ao considerarmos os percentuais de acidentes registrados em pista simples, dupla ou múltipla.

TABELA 2

Média de acidentes registrados em pista simples dupla ou múltipla, por tipo de acidente (2007 e 2015)
(Em %)

Tipo de acidente	Acidentes registrados em pista simples em 2007	Acidentes registrados em pista dupla em 2007	Acidentes registrados em pista múltipla em 2007	Acidentes registrados em pista simples em 2015	Acidentes registrados em pista dupla em 2015	Acidentes registrados em pista múltipla em 2015
Atropelamento de animal	3,88	1,54	0,47	3,12	1,24	0,57
Atropelamento	3,25	3,97	4,06	2,61	3,31	3,96
Capotamento	5,89	5,37	1,89	5,10	6,18	2,53
Colisão com objeto fixo	4,64	8,85	7,27	3,71	9,14	7,95
Colisão frontal	5,55	1,07	0,83	8,07	1,07	1,02
Colisão transversal	11,32	6,08	8,62	14,50	6,42	8,63
Colisão traseira	19,70	32,6	42,10	18,62	30,19	38,69
Saída de Pista	18,06	13,17	3,51	18,90	14,86	4,32
Tombamento	5,99	3,59	1,58	5,75	3,70	1,59
Outros tipos ¹	21,72	23,70	29,65	19,62	23,92	30,74
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: PRF (2018).

Nota: ¹ As seguintes categorias são englobadas em outros tipos: colisão com bicicleta, colisão com objeto móvel, colisão lateral, danos eventuais, derramamento de carga, incêndio, queda de motocicleta/bicicleta /veículo.

Os dados dispostos nas tabelas 2 e 3 nos permitem inferir, inicialmente, que a probabilidade de ocorrência de cada tipo de acidente está diretamente relacionada à característica da via e que a gravidade do acidente está relacionada ao tipo de acidente. Portanto, melhorias na infraestrutura viária alteram a proporção dos tipos de acidente em cada trecho e, assim, tendem a diminuir a gravidade destes. Esta relação será mais bem detalhada ao longo do texto.

TABELA 3
Média de acidentes com morte, feridos e sem vítimas
(Em %)

Tipo de acidente	Acidentes com mortes entre 2005 e 2011	Acidentes com feridos entre 2005 e 2011	Acidentes sem vítimas entre 2005 e 2011
Abaloamento transversal	3,31	47,43	49,24
Atropelamento	22,43	74,40	3,14
Atropelamento de animal	1,53	22,66	75,59
Capotagem	4,55	52,19	41,86
Choque com objeto fixo	2,40	31,36	65,27
Colisão frontal	26,24	53,05	20,64
Colisão traseira	1,25	21,26	77,46
Outros tipos	2,19	22,55	74,74
Saída de pista	2,93	37,48	58,64
Tombamento	2,40	43,38	53,82
Total	4,12	34,78	60,77

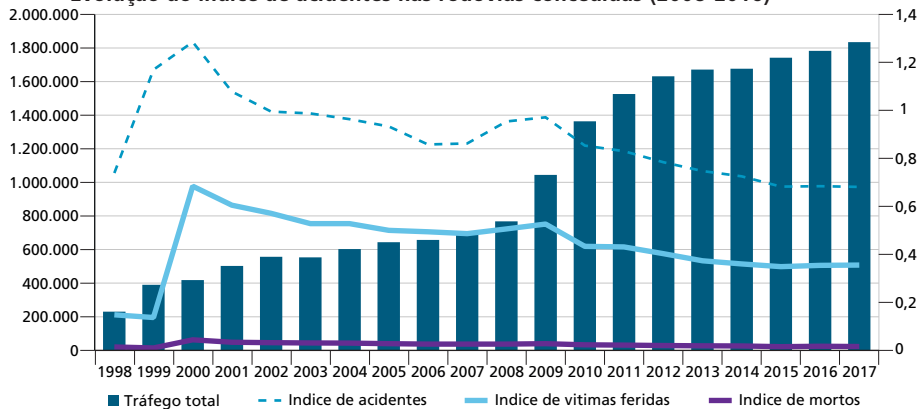
Fonte: DNIT (2015).

Considerando-se especificamente a questão da rede federal concedida, podemos notar, conforme exposto no gráfico 1, que o índice de acidentes, calculado como proporção de acidentes sobre o total de veículos pedagogados, tem apresentado uma tendência de queda. Conjuntamente, conforme indica a tabela 4, a partir de 1995, os programas de concessão rodoviária apresentaram uma expansão considerável no Brasil. Nesse sentido, em 2013 existiam 54 concessões em curso no Brasil, sendo quatorze destas fiscalizadas pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).⁵

5. A Lei Delegada nº 9.277, instituída em 1996, autorizou a União a delegar aos municípios, estados da Federação e ao Distrito Federal a administração e a exploração de rodovias e portos federais. Nesse momento, o Rio Grande do Sul e o Paraná instituíram concessões em rodovias federais.

GRÁFICO 1

Evolução do índice de acidentes nas rodovias concedidas (2008-2016)



Fonte: ABCR ([s.d.]). Disponível em: <<http://bit.ly/2TukKgp>>.

O processo de expansão da rede rodoviária federal concedida acelerou-se substancialmente com a implementação da segunda fase dos processos de concessões em 2008-2009, quando o número de concessões aumentou de seis para treze, e a extensão concedida aumentou de 1.493 km para 4.094 km, entre 2007 e 2009. Dada essa evolução, torna-se importante compreender se tal processo efetivamente reduziu os índices de acidentalidade nas rodovias concedidas e se tais reduções foram mais significativas do que aquelas observadas nas rodovias que se mantêm sob a jurisdição do DNIT.

Para respondermos a essas perguntas, devemos inicialmente compatibilizar as informações sobre acidentes em rodovias federais. Estas informações são repassadas pela PRF por meio da compilação dos boletins de ocorrência. Conforme aponta Lima *et al.* (2008, p. 7):

embora existam relatórios policiais (boletins de ocorrência) referentes a cada acidente, não existe uma caracterização sistemática e completa das situações que resultam nos acidentes com mortes e feridos, ocorridos e ocorrendo nas rodovias federais, o que seria fundamental como insumo a um programa efetivo de prevenção e redução destes eventos.

TABELA 4

Evolução das concessões rodoviárias no Brasil (1995-2013)

Ano	Federal		SP		PR		PE/BA/MG/ES/RJ		RS		Total de concessões	Extensão total concedida	Volume total pedagiado
	Número	Extensão	Número	Extensão	Número	Extensão	Número	Extensão	Número	Extensão			
1995	1	23	0	0	0	0	0	0	0	0	1	23	0
1996	4	748	0	0	0	0	0	0	0	0	4	748	19.563.940
1997	5	869	0	0	0	0	2	57	0	0	7	926	73.646.333
1998	6	1.493	9	2.403	6	2.498	3	142	6	1.654	30	8.190	230.441.640

(Continua)

(Continuação)

Ano	Federal		SP		PR		PE/BA/MG/ES/RJ		RS		Total de concessões	Extensão total concedida	Volume total pedagiado
	Número	Extensão	Número	Extensão	Número	Extensão	Número	Extensão	Número	Extensão			
1999	6	1.493	9	2.403	6	2.498	3	142	7	1.796	31	8.332	390.560.610
2000	6	1.493	12	3.601	6	2.498	4	359	7	1.796	35	9.747	418.336.121
2001	6	1.493	12	3.601	6	2.498	5	499	7	1.796	36	9.888	502.053.600
2002	6	1.493	12	3.601	6	2.498	5	499	7	1.796	36	9.888	557.273.585
2003	6	1.493	12	3.601	6	2.498	5	499	7	1.796	36	9.888	553.121.836
2004	6	1.493	12	3.601	6	2.498	5	499	7	1.796	36	9.888	602.885.991
2005	6	1.493	12	3.601	6	2.498	5	499	7	1.796	36	9.888	643.435.828
2006	6	1.493	12	3.601	6	2.498	5	499	7	1.796	36	9.888	657.181.766
2007	6	1.493	12	3.601	6	2.498	5	499	7	1.796	36	9.888	706.456.766
2008	10	3.191	13	3.631	6	2.498	6	871	7	1.796	42	11.987	767.547.527
2009	13	4.094	18	5.326	6	2.498	6	871	7	1.796	50	14.585	1.044.487.826
2010	14	4.774	18	5.326	6	2.498	7	877	7	1.796	52	15.272	1.363.323.147
2011	14	4.774	19	5.387	6	2.498	8	999	7	1.796	54	15.454	1.526.124.384
2012	14	4.774	19	5.387	6	2.498	8	999	7	1.796	54	15.454	1.631.138.171
2013	14	4.774	19	5.390	6	2.498	8	999	7	1.796	54	15.458	1.671.479.072

Fonte: ABCR ([s.d.]). Disponível em: <<http://bit.ly/2NSetOa>>.

O quadro 2 destaca as variáveis disponíveis no sítio eletrônico do DNIT que caracterizam os acidentes ocorridos em 2009. A ausência de dados sobre o fluxo de veículos em cada ponto da rede (medido pelo chamado volume médio diário anual – VMDa) constitui-se um ponto crítico no que diz respeito às informações necessárias para gerir adequadamente a rede de infraestrutura viária. Para minimizar essa ausência de dados, optamos por trabalhar com as unidades de análise descritas no Plano Nacional de Viação (PNV) e com os valores e as classificações estimadas por meio do convênio firmado entre o DNIT e o Laboratório de Transportes da Universidade Federal de Santa Catarina (LabTrans/UFSC), que apontaram valores para o VMDa e sua respectiva classificação (DNIT e UFSC, 2008b). O referido trabalho utilizou como fonte primária de dados as contagens de tráfego volumétricas, realizadas em 256 postos de contagem entre 1994 e 2001 (DNIT e UFSC, 2008a), sendo que tais valores foram extrapolados para 2006 e posteriormente 2009. Essas são as únicas informações sistematizadas disponíveis para a estimativa do fluxo viário de toda a rede federal.

QUADRO 2

Dados disponíveis sobre a característica de um acidente (2009)

UF	BR	Hora do registro da ocorrência	Data do acidente	Local da ocorrência	Uso do solo	Dia	Tipo de acidente	Gravidade do acidente	Número de feridos	Número de mortos
SP	116	12:50	14/12/2009	Km 87,7	Urbano	Segunda-feira	Colisão traseira	Acidente com morte	0	1

Fonte: DNIT (2015).

Obs.: UF – Unidade da Federação; BR – rodovia.

Em um primeiro momento, os dados e as projeções sistematizadas por DNIT/Labtrans (2008b) que apontavam informações pertinentes às UFs, o número da BR, o código do PNV, uma descrição textual sobre os locais de início e fim, o quilômetro inicial e o final do trecho, a extensão em quilômetros, a situação física da superfície de rolamento⁶ e o VDMA foram agregados aos dados sobre acidentes informados pelo DNIT, conforme disposto no quadro 2.

FIGURA 3
Concessões de rodovias federais



Fonte: BIT e Ministério dos Transportes, 2013. Acesso em: 15 jan. 2016.

Obs.: Figura reproduzida em baixa resolução em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

Por seu turno, conforme a figura 3 descreve, podemos perceber que as regiões Sul e Sudeste do Brasil apresentam a maior parte das concessões rodoviárias em curso. Nesse sentido, optamos por considerar os trechos do PNV referentes aos sete estados destas duas regiões, uma vez que abranger o Brasil como um todo iria aumentar muito a heterogeneidade da amostra, dificultando, assim, a implementação da análise estatística.

Em um segundo momento, dado o interesse em se compreender o efeito das concessões na redução dos índices de acidentalidade, buscamos verificar a compatibilidade entre os trechos do PNV e os trechos concedidos da rede federal. Em algumas situações, como no caso do trecho entre o km 400,5 e o km 430,8 da BR-116, concedido à concessionária Ecosul, não foi possível compatibilizar

6. As características físicas descritas no PNV são: trechos duplicados; em obras de duplicação; em obras de implantação; em obras de pavimentação; implantado (rodovias construídas de acordo com as normas rodoviárias de projeto geométrico e que se enquadram em determinada classe estabelecida pelo DNIT e que apresentam superfície de rolamento sem pavimentação); leito natural (rodovia construída em primeira abertura, em terreno natural, sem atendimento às normas, podendo eventualmente receber revestimento primário); pavimentado; planejado (rodovia que consta de um planejamento e cuja construção se acha em perspectiva); e travessia (travessias de cursos d'água – são trechos de transposição de rios em que não há ponte) (DNIT, 2007, p. 3).

os dados da amostra, pois o trecho mais correspondente do PNV compreendia o intervalo entre o km 395,1 e o km 421,5. Trechos com essas características não foram considerados na amostra.

Outro ponto a se destacar diz respeito à heterogeneidade entre os distintos trechos de rodovias considerados inicialmente na amostra. Além das características físicas – tais como: número de faixas, presença de canteiro central acostamento, entre outras –, o fluxo de veículos também diferiu significativamente entre cada um dos trechos amostrados, variando de um VDMa mínimo de 104 – no trecho entre o km 252 e o km 260 da BR-282, no estado de Santa Catarina, em 2006 – para um VDMa máximo de 261.520 – no trecho entre o km 231,8 e o km 236,6 da BR-116, próximo à capital do estado de São Paulo, em 2009.

Para contornarmos esse problema de medida, seguimos a metodologia proposta por Míau (1994) e calculamos três índices, de acordo com a gravidade dos acidentes, para cada um dos trechos e anos amostrais, conforme as equações (1), (2) e (3) indicam.

$$Indexm = \frac{MA_i \times 10^6}{365 \times VDMa_i \times l_i} \quad (1)$$

Em que:

índice de acidentes com mortes (indexm) = índice referente aos acidentes com mortes no trecho i da amostra;

MA_i = número de acidentes com mortes no trecho i da amostra;

l_i = comprimento do trecho i ; e

$VMDa_i$ = média diária de veículos computadas para o trecho i .

$$Indexf = \frac{FA_i \times 10^6}{365 \times VDMa_i \times l_i} \quad (2)$$

Em que:

índice de acidentes com feridos (indexf) = índice referente aos acidentes com feridos no trecho i da amostra; e

FA_i = número de acidentes com feridos no trecho i da amostra.

$$Indexsv = \frac{SVA_i \times 10^6}{365 \times VDMa_i \times l_i} \quad (3)$$

Em que:

índice de acidentes sem vítimas (indexsv) = índice referente aos acidentes sem vítimas no trecho i da amostra; e

SVA_i = número de acidentes sem vítimas no trecho i da amostra.

TABELA 5
Número de trechos e extensão por característica física e UF

UF/característica física	Trechos amostrados	Extensão dos trechos amostrados
ES	6	32,6
MG	22	411,4
PR	15	172,4
RJ	51	438,5
RS	13	143,4
SC	22	224
SP	41	646,2
Total de trechos duplicados	170	1.945
MG	9	351,2
PR	2	16,4
SP	1	16,2
Total de trechos em obras de duplicação	12	383,8
ES	1	7,6
PR	1	40,2
RS	3	161
Total de trechos em obras de pavimentação	5	208,8
ES	53	657,9
MG	199	4.724,3
PR	29	344
RJ	73	1.014,2
RS	121	2.745,7
SC	112	1.838,7
SP	25	385,3
Total de trechos pavimentados	612	11.710,10
Total geral	799	14.247,70

Fonte: DNIT (2014).

A análise preliminar dos dados nos permitiu observar que o indexm da classe de VDMA abaixo de mil é significativamente superior às médias observadas nas demais classes, e o indexm das demais classes não difere significativamente. Dada essa constatação, optamos por retirar da amostra os trechos com VDMA menor do que mil. Outro ponto a se destacar é a tendência observada no aumento do indexm entre 2006 e 2009. Assim, da amostra inicial, formada pelos trechos do PNV nas regiões Sul e Sudeste, foram retirados os trechos com VDMA menor que mil, trechos onde observou-se falta de compatibilidade entre o PNV e o trecho concedido; trechos sem informações adequadas sobre o VDMA e/ou acidentes; e trechos com superfície implantada, planejada ou sobre leito natural, uma vez que as concessões são todas realizadas em pistas pavimentadas ou duplas. Paralelamente, o trecho administrado pela Concessionária Ponte (ponte Rio-Niterói) também foi retirado da amostra, dadas as suas especificidades. Considerando-se esses ajustes, a amostra selecionada passou a contar com 799 observações para cada um dos dois anos amostrados, com uma extensão total de 14.162,4 km. As tabelas 5 e 6 apresentam as principais características das observações amostrais.

Por meio da tabela 5, pode-se perceber que o maior número de trechos observados possui pista simples, 230 trechos e 5.420,6 km pertencem ao estado de Minas Gerais, detentor da maior extensão da rede rodoviária federal.

TABELA 6
Número de trechos e extensão por concessionária e rodovia

Concessionária e contrato de concessão	BR	Trechos	Extensão (km)
Rodovia do Aço – 2ª etapa concessão federal	393	16	187
Concepa – 1ª etapa concessão federal	290	4	79,6
Concer – 1ª etapa concessão federal	40	23	180,4
CRT ¹ – 1ª etapa concessão federal	116	12	144,3
	40	40	791,5
	50	9	208,9
	101	77	1.032,1
	116	48	968,3
	135	8	300,6
	146	1	11,7
	153	36	557,3
	158	21	459,2
	163	6	59,4
	251	7	340,5
	259	7	70,1
	262	50	828,2
	267	10	321,9
	272	3	28,1
	280	13	209,2
	282	29	529,8
	285	21	388,5
	287	10	286,3
	290	14	326,2
	293	3	132,7
DNIT	354	6	97,6
	356	10	159,9
	365	25	688,1
	373	1	5,9
	381	15	300,6
	386	3	60,3
	392	4	103,6
	393	1	3,7
	452	3	51
	459	9	159
	460	2	25,3
	465	2	12,3
	470	18	312
	471	5	210,1
	472	7	214,5
	473	1	6,4
	476	10	122,2
	487	2	8,5
	488	1	0,4
	493	3	26
	495	1	33,4

(Continua)

(Continuação)

Concessionária e contrato de concessão	BR	Trechos	Extensão (km)
Total DNIT		542	10.451,30
Nova Dutra – 1ª etapa concessão federal	116	42	399,2
	116	10	232,3
Ecosul	293	6	161,2
	392	5	141,5
Total Ecosul		21	535
Fernão Dias – 2ª etapa concessão federal	381	23	532
Fluminense – 2ª etapa concessão federal	101	26	321,6
	101	21	218,5
Autopista Litoral Sul – 2ª etapa concessão federal	116	3	29,2
	376	2	68,9
Total Litoral Sul		26	316,6
Autopista Planalto – 2ª etapa concessão federal	116	23	412,5
Autopista Régis Bittencourt – 2ª etapa concessão federal	116	19	370,8
Transbrasiliana – 2ª etapa concessão federal	153	23	317,4
Total geral		799	14.247,40

Fonte: DNIT (2014).

Obs.: CRT – Concessionária Rio-Teresópolis.

A tabela 6 divide, por sua vez, os trechos amostrados de acordo com a rodovia em análise e sua respectiva jurisdição. Note-se que a rodovia BR-116 é aquela com maior número de trechos e extensão sob análise – 157 trechos e 2.556,6 km. Em seguida, destaca-se a BR-101, com 125 trechos e 1.572,2 km em análise. Além dos 10.451,3 km de rodovias amostradas sob jurisdição do DNIT, foram analisados 3.769,4 km de rodovias atualmente geridas sob regime de concessão, sendo 1.338,5 km concedidos pelo governo federal na primeira etapa das concessões federais e 2.457,9 km concedidos pelo governo federal na segunda etapa de concessões federais.

Importante destacar que a BR-116 também apresenta maior extensão concedida – 1.588,3 km, administrados por seis concessionárias (CRT, Nova Dutra, Ecosul, Litoral Sul, Planalto e Régis Bittencourt). Na atualidade, além das doze concessionárias da rede rodoviária federal aqui analisadas – o que inclui todas as concessões realizadas na primeira fase (exceto o trecho da ponte Rio-Niterói) e as da primeira etapa da segunda fase das concessões de rodovias federais –, o trecho da BR-116 entre Feira de Santana e a divisa com Minas Gerais e o trecho da BR-101 entre o entroncamento para o município de Mucuri, na Bahia, e a divisa com o Espírito Santo também foram concedidos na segunda fase da segunda etapa de concessões federais.

A tabela 7 apresenta valores referentes aos índices $indexm$, $indexf$ e $indexsv$ por concessionária em 2006 e 2009. Por meio de suas informações, podemos perceber que, ao tomarmos a amostra como um todo, os valores médios do $indexm$, $indexf$ e $indexsv$ aumentaram entre 2006 e 2009. A tabela 7 indica, ainda, que a concessionária Nova Dutra apresentou índices de mortes e feridos relativamente baixos, mas, em contrapartida, apresentou índices de acidentes sem vítimas relativamente altos.

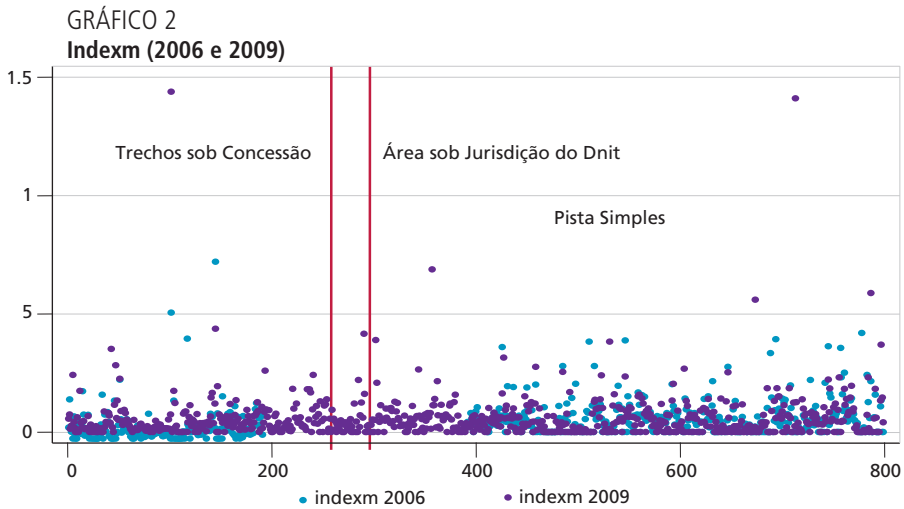
Em um sentido oposto, as concessionárias Ecosul e CRT apresentaram *indexsv* baixos e *indexm* e *indexf* relativamente altos. Nesse sentido, a gravidade dos acidentes em trechos de pista dupla/múltipla (como no caso da concessionária Nova Dutra) parece ser menor do que a gravidade dos acidentes em trechos de pista simples (como no caso das concessionárias Ecosul e CRT). A tabela 7 indica também que, ao considerarmos os trechos sob jurisdição do DNIT, embora o *indexm* médio dos trechos em pista dupla situem-se abaixo do *indexm* médio dos trechos em pista simples, o *indexf* médio dos trechos em pista dupla é significativamente maior do que todos os demais recortes analisados.

TABELA 7
Índice de acidentes com mortes, feridos e sem vítimas por concessionária (2006 e 2009)

Concessionária	Valor Médio do Indexm em 2006	Valor Máximo do Indexm em 2006	Valor Médio do Indexm em 2009	Valor Máximo do Indexm em 2009	Valor Médio do Indexf em 2006	Valor Máximo do Indexf em 2006	Valor Médio do Indexf em 2009	Valor Máximo do Indexf em 2009	Valor Médio do Indexsv em 2006	Valor Máximo do Indexsv em 2006	Valor Médio do Indexsv em 2009	Valor Máximo do Indexsv em 2009
Rodovia do Aço	0,06	0,20	0,05	0,24	0,34	1,49	0,47	2,04	0,99	5,01	1,47	6,44
Concepa	0,04	0,10	0,03	0,07	0,48	1,02	0,49	0,89	1,15	2,07	1,11	2,15
Concer	0,04	0,18	0,04	0,35	0,43	2,30	0,40	0,88	1,14	6,53	1,29	5,97
CRT	0,06	0,25	0,09	0,28	0,43	0,87	0,47	1,14	0,62	1,31	0,77	1,46
DNIT – pista dupla	0,04	0,21	0,05	0,42	1,15	5,30	1,66	7,13	2,76	10,63	3,73	28,54
DNIT – pista simples	0,06	1,50	0,06	1,41	0,58	12,76	0,67	13,98	0,76	30,03	0,90	28,64
Nova Dutra	0,03	0,10	0,02	0,09	0,19	0,73	0,20	0,59	0,72	3,96	0,82	4,31
Ecosul	0,06	0,52	0,11	1,44	0,54	4,19	0,48	2,40	0,54	3,66	0,73	23,98
Fernão Dias	0,04	0,11	0,04	0,11	0,35	0,60	0,55	1,44	0,64	1,06	1,15	2,05
Fluminense	0,09	0,74	0,08	0,44	0,49	3,79	0,53	3,63	0,96	3,64	1,16	5,72
Autopista Litoral Sul	0,05	0,15	0,05	0,13	0,62	2,96	0,97	5,83	1,08	7,08	1,86	1,06
Planalto	0,05	0,25	0,04	0,26	0,51	3,96	0,57	4,06	0,60	3,87	0,95	7,17
R. B. Bittencourt	0,04	0,09	0,05	0,18	0,35	1,50	0,37	1,65	0,64	1,61	0,89	2,41
Transbrasiliana	0,06	0,19	0,08	0,24	0,61	2,24	0,49	1,68	0,63	1,72	0,81	2,32
Toda a amostra	0,05	1,50	0,06	1,44	0,56	12,76	0,65	13,98	0,86	30,03	1,09	28,64

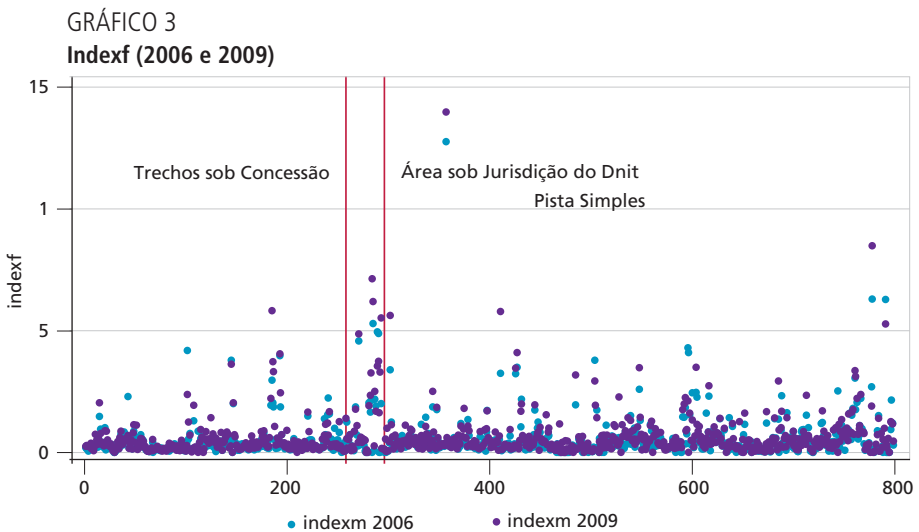
Fonte: DNIT (2015).

O gráfico 2, por sua vez, nos permite inspecionar visualmente o *indexm* em cada um dos 799 pontos da amostra, nos anos de 2006 e 2009. Destacam-se o ponto extremo na área – referente aos trechos concedidos à concessionária Ecosul –, e alguns pontos à direita da última barra vertical vermelha – que indicam os pontos sob jurisdição do DNIT em pista simples. Outra questão relevante diz respeito ao fato de que muitas das observações repetem, para os dois anos da amostra, valores discrepantes em torno da média, mas, em alguns casos, observaram-se reduções significativas no *indexm*, indicando a efetividade de ações pontuais, como a instalação de quebra-molas.



Fonte: DNIT (2015).

O gráfico 3, por sua vez, nos permite inspecionar visualmente o indexf em cada um dos 799 pontos da amostra, nos anos de 2006 e 2009. Destaca-se o elevado número de pontos discrepantes para o indexf no que tange à área em pista dupla sob jurisdição do DNIT (no gráfico representado pela área entre as duas barras vermelhas). Ressalta-se, assim, o aumento do indexf médio nesse segmento, considerando-se os anos de 2006 e 2009.



Fonte: Dados brutos: DNIT (2015).

Considerando-se novamente a relação entre a gravidade dos acidentes e o tipo de pista para a amostra como um todo, podemos observar, conforme a tabela 8, que a média do *indexm* é de fato maior para trechos em pista simples. No entanto, a maior discrepância aparece por meio dos valores máximos, substancialmente maiores em trechos de pista simples. Por seu turno, os valores médios observados para o *indexf*, em 2009, e para o *indexsv*, em 2006 e 2009, são maiores em trechos de pista dupla. Reforça-se, portanto, a ideia de que a duplicação não diminui necessariamente o número de acidentes, mas, sim, a gravidade desses.

TABELA 8
Índice de acidentes em pista dupla e pista simples (2006 e 2009)

Característica do trecho	Valor médio do <i>indexm</i> em 2006	Valor máximo do <i>indexm</i> em 2006	Valor médio do <i>indexm</i> em 2009	Valor máximo do <i>indexm</i> em 2009	Valor médio do <i>indexf</i> em 2006	Valor máximo do <i>indexf</i> em 2006	Valor médio do <i>indexf</i> em 2009	Valor máximo do <i>indexf</i> em 2009	Valor médio do <i>indexsv</i> em 2006	Valor máximo do <i>indexsv</i> em 2006	Valor médio do <i>indexsv</i> em 2009	Valor máximo do <i>indexsv</i> em 2009
Trechos em pista simples	0,06	1,50	0,06	1,44	0,57	12,76	0,64	13,98	0,76	30,03	0,91	28,64
Trechos em pista dupla	0,04	0,25	0,04	0,42	0,55	5,30	0,73	7,13	1,28	10,63	1,76	28,54

Fonte: DNIT (2015).

Outro ponto a se destacar diz respeito ao fato de que pontos com *indexm* alto, em geral, também possuem *indexf* e *indexsv* altos. Esta relação, a princípio, pode parecer óbvia, mas determinado trecho pode apresentar, devido às suas características específicas, um alto número de acidentes, mas uma pequena proporção de acidentes com mortes – como no caso de um trecho congestionado, com velocidade lenta e uma maior quantidade de veículos leves trafegando ali. Os valores máximos dispostos na tabela 9, incluídos os três índices de acidentalidade aqui calculados para 2006, foram registrados no trecho compreendido entre o km 289,4 e o km 294,3 da BR-101, no Espírito Santo. Paralelamente, o trecho da BR-116 entre os km 518, 1 e 521, no Rio Grande do Sul, apresentou o maior *indexm* em 2009 e o terceiro maior *indexm* em 2006.

TABELA 9
Características dos cinco pontos da rede com os maiores *indexm* (2009)

UF	BR	Descrição do trecho	Km inicial	Km final	Concessionária	Tipo de pista	VDMa	<i>Indexm</i> 2009	Ranking <i>indexm</i> em 2006	Ranking <i>indexf</i> em 2009	Ranking <i>indexsv</i> em 2009
RS	116	ENTR BR-393(A)/392(A)/471(A) (P/Pelotas) – ENTR BR-392(B)/471(B)	518,1	521	Ecosul	Pavimentada	1970	1,44	3	32	67
MG	365	Acesso Irac de Minas - ENTR MG-223	522,7	525,8	DNIT	Pavimentada	1880	1,41	Nd. ¹	34	25
ES	101	ENTR ES-080 (Tabajara) – ENTR BR-262(A) (P/Campo Grande)	289,4	294,3	DNIT	Pavimentada	2440	0,69	1	1	1
RS	472	ENTR BR-290(B)/293(B) – Acesso Sul Uruguaiana	576,3	580,3	DNIT	Pavimentada	3490	0,59	25	168	195
RS	290	ENTR BR-472(A) – ENTR BR-472(B) (Uruguaiana)	719,9	720,9	DNIT	Pavimentada	4890	0,56	Nd.	60	51

Fonte: DNIT (2014).

Nota: ¹ O *indexm* do trecho em questão foi zero em 2006, por isso não houve classificação para esse.

Assim, a análise dos gráficos 2 e 3 e da tabela 9 nos permite perceber que vários trechos do PNV podem ser classificados como pontos críticos (*black spots*). Embora não haja uma definição precisa deste conceito na literatura especializada em segurança viária, Geurts e Wets (2003) apontam que os acidentes derivam, na sua maior parte, de um comportamento de motoristas inadequado às condições das estradas ou inadequado às características dos veículos, ou até de ambos, emergindo daí o conceito de pontos críticos:

As exigências do ambiente exercidas sobre determinado motorista variam devido a fatores como fluxo do tráfego, características geométricas e tipo de estrada. Os motoristas normalmente adaptam seu nível de desempenho a tais exigências. Um acidente ocorre quando o nível de desempenho do motorista é insuficiente para atender às exigências de desempenho decorrentes das características da estrada. Na maioria das vezes, os recursos do motorista excedem as exigências de desempenho. Pontos críticos (“black points”) são pontos de exigência de desempenho de pico. (Geurts e Wets, 2003, p. 7, tradução nossa).⁷

Sendo assim, melhorias na infraestrutura tenderiam a aumentar a margem de segurança ao reduzirem o nível de desempenho desejável por parte dos motoristas, de acordo com as características ambientais, reduzindo, assim, a probabilidade de ocorrência de acidentes (Geurts e Wets, 2003). Destacam-se como potenciais pontos críticos as travessias urbanas, ou travessias de zonas em curso de urbanização, interseções em nível, trechos sinuosos, descidas com forte declive e pontes estreitas (ABPA, 2006).⁸ Reforça-se a importância de identificar e tratar adequadamente os pontos críticos da rede, conforme aponta Ipea (2015, p. 14): “ao verificar os vinte trechos de 10 km mais críticos em acidentes graves, observa-se que em 0,27% da malha fiscalizada ocorreram 6,74% dos acidentes, 1,85% dos mortos e 5,45% dos acidentes graves”.

TABELA 10
Índices de acidentes em pista dupla e pista simples e percentual de acidentes registrados em área urbana (2009)

Acidentes registrados em área urbana	Média do indexm para trechos em pista simples	Média do indexm para trechos em pista dupla	Média do indexf para trechos em pista simples	Média do indexf para trechos em pista dupla	Média do indexsv para trechos em pista simples	Média do indexsv para trechos em pista dupla
Menor do que 25%	0,12	0,07	1,89	1,47	2,55	3,50
Entre 25% e 50%	0,06	0,04	0,78	0,44	1,13	0,87
Entre 50% e 75%	0,05	0,03	0,53	0,28	0,77	0,70
Maior que 75%	0,05	0,03	0,39	0,30	0,57	0,86

Fonte: DNIT (2015).

7. “The demands of the road environment vary due to factors such as traffic flow rates, geometric features of the road and type of road. Drivers normally adapt their performance level to the demands of the road system. A crash occurs when the driver’s performance level is insufficient to meet the performance demands of the road environment. Most of the time, driver capabilities exceed performance demands. Black spots are points of peak performance demand”.

8. Deve-se reforçar novamente que, além de características infraestruturais das rodovias – tais como geometria, deficiências no desenho viário, na sinalização ou no esquema de circulação –, características comportamentais dos condutores são fundamentais para a ocorrência de acidentes, conforme o quadro 1 indica.

Uma ressalva importante a ser feita é que os dados disponíveis no PNV não qualificam adequadamente a oferta de infraestrutura rodoviária. Assim, as pistas de rolamento em um trecho em pista dupla podem não estar separadas, estar separadas por canteiro central ou separadas por defesa. Paralelamente, trechos com mais de duas faixas também são classificados como pista dupla. Nesse sentido, a categoria informada no PNV como em pista dupla engloba rodovias com características bastante distintas: por exemplo, um trecho em pista dupla sem separação e um trecho em pista quádrupla separada por canteiro central. É razoável supor que cada uma das subcategorias citadas apresentaria índices de acidentalidade bastante distintos, o que não pôde ser aferido pelos dados disponibilizados pelo DNIT. Para minorar esse problema no modelo econométrico a ser explicitado a seguir, criou-se uma variável *dummy*, em que os trechos administrados pelo DNIT em pista simples receberam o valor 0 e os demais trechos receberam o valor 1.

Outro ponto a se destacar no que se refere à categoria pista dupla é que muitos trechos com alto índice de acidentalidade registrados nessa categoria se situam em áreas urbanas, onde ocorre a junção do tráfego urbano com o tráfego rodoviário de longa distância. Nesse caso, o efeito pista dupla não foi suficiente para minorar os conflitos derivados da utilização da infraestrutura viária. Podemos destacar como exemplo de um trecho emblemático da malha do DNIT com as características descritas – isto é, um trecho classificado no PNV como trecho em pista dupla e trecho urbano com alto índice de acidentalidade – o Anel Rodoviário de Belo Horizonte. Este trecho coleta o tráfego das rodovias BR-040 e BR-381, e, em apenas 7,9 km, foram registrados 294 acidentes no ano de 2009, 202 sem vítimas, 88 com feridos e quatro com mortes (DNIT, 2015).

Com relação à categoria uso do solo (urbano ou rural), observou-se que ocorreram algumas incongruências na coleta de dados por parte das autoridades responsáveis. Assim, em alguns pontos da malha, em determinado ano, os acidentes foram registrados nos boletins de ocorrência como tendo ocorrido em área urbana, enquanto em outro ano os acidentes ocorridos no mesmo ponto foram registrados como tendo ocorrido em área rural. Para contornar esse problema, criamos uma variável referente ao percentual de acidentes registrados em área urbana para cada um dos trechos. Para facilitar o entendimento, propomos quatro categorias com distintos graus de urbanização, ou: menos de 25%; entre 25% e 50%; entre 50% e 75%; e mais de 75% de acidentes registrados em área urbana. A tabela 10 indica que, em geral, à medida que aumenta o grau de urbanização, diminuem os índices de acidentalidade. No entanto, observaram-se aumentos para o *indexf* e *indexsv*, comparando-se as classes de 50% a 75% e mais de 75% no caso de pista dupla. Reforça-se, assim, a ressalva feita no parágrafo anterior. Embora a discussão precedente aponte para os efeitos da urbanização sobre o número e a gravidade dos acidentes, dada a limitação dos dados disponíveis, optou-se por não incluir tal variável no modelo econométrico.

Um fator que também exerce influência sobre a ocorrência e a gravidade dos acidentes diz respeito à categoria do veículo envolvido no acidente. Conforme a

tabela 11 indica, em 2007, 58,15% dos veículos envolvidos em acidentes enquadravam-se na categoria veículo de passeio, tal categoria representava uma proporção em torno de 65% do total de veículos licenciados. Considerando-se 2015, não houve alterações significativas em termos de percentuais de automóveis envolvidos em acidentes ou em termos de percentual de automóveis na frota. Conjuntamente, em 2007, embora os caminhões representassem algo em torno de 4% da frota, 21,64% dos acidentes em rodovias federais envolveram caminhões. Em 2015, no entanto, essa categoria apresentou uma queda significativa no percentual de acidentes registrados. Tal resultado merece investigação específica, em especial no que tange à efetividade da promulgação da “lei do descanso dos caminhoneiros”.⁹ A categoria motos, por seu turno, apresentou aumentos proporcionais, considerando-se a participação na frota e o percentual de veículos envolvidos em acidentes.

Considerando-se a amostra em questão, a classificação por tipo de veículo para cada trecho foi estimada somente para o ano de 2006. A porcentagem média de caminhões registrada nos 799 trechos da amostra foi de 38,66%, variando de um mínimo de 30,34% para um máximo de 47,88%. Não foi verificada uma diferenciação significativa em termos de porcentagem de caminhões ao considerarmos vias em pista dupla ou pista simples. Como a classificação dos veículos foi realizada apenas para o ano de 2006, utilizamos como hipótese no modelo econométrico o fato de que a proporção de caminhões em relação ao fluxo total de veículos manteve-se constante ao longo do tempo.

TABELA 11
Informações sobre a categoria de veículo envolvidos em acidentes em rodovias federais (2007 e 2015)

Tipo de veículo	Veículos envolvidos em acidentes em 2007	Veículos envolvidos em acidentes em 2007 (%)	Veículos em relação à frota total de veículos em 2007 (%)	Veículos envolvidos em acidentes em 2015	Veículos envolvidos em acidentes em 2015 (%)	Veículos em relação à frota total de veículos em 2015 (%)
Automóvel ¹	156.505	58,15	65,53	163.922	60,85	66,12
Caminhão ²	58.234	21,64	4,34	46.968	17,43	3,57
Ônibus ³	16.023	5,95	1,19	12.762	4,74	1,07
Motos ⁴	26.285	9,77	22,48	35.149	13,05	26,80
Outros ⁵	12.092	4,49	6,47	10.600	3,93	2,44
Total	269.139	100,00	100,00	269.401	100,00	100,00

Fontes: Denatran (2016); PRF (2018).

Notas: ¹ Compreende automóveis, caminhonetes, caminhonetas e utilitários.

² Compreende caminhões, caminhões-tanque e caminhões-tractor.

³ Compreende ônibus e micro-ônibus.

⁴ Compreende motocicletas, motonetas, quadriciclos e triciclos.

⁵ Compreende bicicletas, bondes/trens, carroças, carros-de-mão, charretes, ciclomotores, motores-casa, não identificados, reboques, semirreboques, *sídecars*, tratores de esteiras, tratores de rodas e tratores mistos.

9. A Lei nº 12.619/2012 regulamenta a profissão de motorista de caminhão e prevê, entre outros dispositivos, uma jornada diária máxima de oito horas e uma jornada semanal de quarenta e quatro horas; intervalo mínimo de uma hora para refeição; repouso diário de onze horas a cada vinte e quatro horas obrigatoriamente, com o veículo estacionado; descanso semanal de trinta e cinco horas; intervalo mínimo de trinta minutos para descanso, a cada quatro horas de tempo ininterrupto de direção (Lei do Motorista de Caminhão, guia do TRC). Disponível em: <<https://bit.ly/2E2HGRT>>.

Assim, para procedermos à análise econométrica das questões propostas no decorrer deste trabalho, utilizou-se inicialmente um modelo básico de dados em painel equilibrado representado pela equação (4):

$$y_{it} = \alpha_i + \beta x_{it} + \varepsilon_{it}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, 799 \text{ e } \forall t = 2006, 2009. \quad (4)$$

Em que y_{it} , α_i , x_{it} , β e ε_{it} representam, respectivamente, os índices de acidentalidade calculados para o trecho i no período t , a heterogeneidade não observada para cada trecho i , a matriz de variáveis explicativas, o vetor de parâmetros não observados e o termo de erro aleatório. O vetor β é o centro de interesse deste trabalho, sendo desejável estimá-lo consistentemente utilizando uma hipótese de identificação factível. Nesse caso, para dados em painel, a atenção recai sobre o parâmetro não observável α_i , que será parte da hipótese central de estimação.

Nesse contexto, a heterogeneidade não observada α_i é representada pelas variáveis que não podem ser medidas (ou cujas informações não estão disponíveis) e que são fixas no tempo (Wooldridge, 2002, p. 248), tais como: características dos condutores presentes em determinado trecho, relevo, geometria e infraestrutura. Assim, a questão central para a estimação recai sobre as hipóteses acerca da correlação entre o vetor α_i e as variáveis contidas na matriz x_{it} . Neste trabalho, assume-se que a heterogeneidade não observada é correlacionada com o vetor x_{it} , pois as características dos condutores, do relevo, dentre outras variáveis fixas para cada observação estão correlacionadas com as variáveis explicativas.

Nesse caso, o modelo a ser escolhido é o de efeitos fixos,¹⁰ e as hipóteses de identificação, utilizando diferenças para eliminar o vetor α , serão dadas por:

$$H_1: \mathbb{E}(\varepsilon_{it} | x_{it}, \alpha_i) = 0 \quad \forall t = 1, 2, 3, \dots, T. \quad (5)$$

$$H_2: \text{Posto}(\sum_{t=2}^T \mathbb{E}(\Delta x'_{it} x_{it})) = K. \quad (6)$$

A hipótese H_2 está relacionada à possibilidade de se inverter a matriz x_{it} , pois, se esta não possuir posto igual ao número de variáveis explicativas (máximo), não será possível estimar os parâmetros. Os casos em que isto não é verificado são raros, e, portanto, assumir tal hipótese não prejudica a obtenção do vetor de interesse. Já a hipótese H_1 é de suma importância, pois assume-se exogeneidade estrita e também que existe correlação $\mathbb{E}(\alpha_i | x_{it})$ (Wooldridge, 2002, p. 266). Assim, caso H_1 não seja satisfeita, pode-se inferir que os parâmetros estimados sejam viesados e inconsistentes.

10. Para efeitos aleatórios, ver Wooldridge (2002, p. 257).

QUADRO 3
Variáveis dependentes utilizadas no modelo econométrico

Variável	Descrição
Rodovia do Aço	Variável indicativa em que 1 representa os trechos sob concessão da concessionária Rodovia do Aço e 0, casos contrários.
Concer	Variável indicativa em que 1 representa os trechos sob concessão da concessionária Concer e 0, casos contrários.
CRT	Variável indicativa em que 1 representa os trechos sob concessão da concessionária CRT e 0, casos contrários.
Nova Dutra	Variável indicativa em que 1 representa os trechos sob concessão da concessionária Nova Dutra e 0, casos contrários.
Concepa	Variável indicativa em que 1 representa os trechos sob concessão da concessionária Concepa e 0, casos contrários.
Ecosul	Variável indicativa em que 1 representa os trechos sob concessão da concessionária Ecosul e 0, casos contrários.
Fernão Dias	Variável indicativa em que 1 representa os trechos sob concessão da concessionária Fernão Dias e 0, casos contrários.
Fluminense	Variável indicativa em que 1 representa os trechos sob concessão da concessionária Fluminense e 0, casos contrários.
Litoral	Variável indicativa em que 1 representa os trechos sob concessão da concessionária Autopista Litoral Sul e 0, casos contrários.
Planalto	Variável indicativa em que 1 representa os trechos sob concessão da concessionária Autopista Planalto e 0, casos contrários.
Régis Bittencourt	Variável indicativa em que 1 representa os trechos sob concessão da concessionária Autopista Régis Bittencourt e 0, casos contrários.
Transbrasiliana	Variável indicativa em que 1 representa os trechos sob concessão da concessionária Transbrasiliana e 0, casos contrários.
Dupdnit	Variável indicativa em que 1 representa os trechos sob jurisdição do DNIT em pista dupla e 0, caso contrário.
Abalroamento transversal	Proporção de acidentes registrados no trecho como abalroamento transversal.
Atropelamento	Proporção de acidentes registrados no trecho como atropelamento.
Atropelamento de animal	Proporção de acidentes registrados no trecho como atropelamento de animal.
Capotagem	Proporção de acidentes registrados no trecho como capotagem.
Choque com objeto fixo	Proporção de acidentes registrados no trecho como choque com objeto fixo.
Colisão frontal	Proporção de acidentes registrados no trecho como colisão frontal.
Colisão traseira	Proporção de acidentes registrados no trecho como colisão traseira.
Saída de pista	Proporção de acidentes registrados no trecho como saída de pista.
Tombamento	Proporção de acidentes registrados no trecho como tombamento.
Carnaval	Proporção de acidentes registrados no trecho durante o feriado de Carnaval.
Semana Santa	Proporção de acidentes registrados no trecho durante o feriado de Semana Santa.
Ptrucks	Percentual de caminhões sobre o fluxo total de veículos estimado para 2006 e considerado constante para 2009.

Elaboração dos autores.

Ainda segundo Wooldridge (2002, p. 284), “ao considerarmos dois períodos no tempo estimação por meio de efeitos fixos ou primeira diferença produzem estimativas semelhantes”. Como existem apenas dois períodos e considerando que H_1 e H_2 são válidas, pode-se diferenciar a equação (4) e obter o modelo utilizado neste trabalho:

$$\Delta y_{it} = \Delta x_{it}\beta + \Delta \varepsilon_{it}, \quad (7)$$

em que $\Delta y_{it} = y_{i2009} - y_{i2006}$, $\Delta x_{it} = x_{i2009} - x_{i2006}$.

Conforme podemos identificar no quadro 3, as variáveis que codificam os trechos concedidos, os trechos em pista dupla administrados pelo DNIT (de modo que o trecho sob jurisdição do DNIT em pista simples foi tomado como base) e o percentual de caminhões sobre o fluxo total de veículos não varia ao longo do tempo, de modo que seriam anuladas pela diferenciação. Para contornar tal problema, utilizamos um termo de interação e multiplicamos as variáveis fixas ao longo do tempo pela diferença entre a variação no percentual de acidentes registrados em 2009 em dias de semana e o percentual de acidentes registrados em 2006 em dias de semana para cada um dos 799 trechos analisados. Como as variáveis referentes ao percentual de acidentes por tipo e o percentual de acidentes registrados em cada trecho em feriados de Carnaval e Semana Santa variaram ao longo do tempo, não foram multiplicadas pelo termo de interação. Feitas essas considerações, estimamos três equações, considerando-se como variável dependente cada um dos índices de acidentalidade propostos no texto, de acordo com o modelo representado pela equação (8):

$$\Delta y_{it} = \Delta p_{sit}x_i\beta + \Delta x_{it}\beta + \Delta \varepsilon_{it}. \quad (8)$$

Em que x_i indica as variáveis fixas ao longo do tempo e $\Delta p_{sit} = p_{sit2009} - p_{sit2006}$ indica a diferença no percentual de acidentes registrados em dias de semana em 2009 e 2006, em cada um dos i trechos. Os resultados obtidos serão discutidos na seção 3.

3 RESULTADOS

Antes de procedermos à análise das regressões, calculamos o fator de inflação da variância (VIF) para medirmos a presença de multicolinearidade. Todas as 25 variáveis independentes analisadas apresentaram uma estatística VIF abaixo de cinco. Conforme aponta Baum (2006), deve-se considerar a presença de multicolinearidade quando o fator VIF de uma das variáveis dependentes for maior do que dez. Sendo assim, descartamos a presença de multicolinearidade em alto grau e optamos por utilizar todas as variáveis independentes listadas no quadro 3. Outra hipótese importante a ser considerada diz respeito à normalidade dos resíduos: como esta foi rejeitada, por meio do teste Shapiro Francia (Fávero *et al.*,

2013), calculamos a matriz de variância e covariância por meio de reamostragem (*bootstrap*). Uma vez que, mesmo que os resíduos da regressão sejam não normais, ocorre uma convergência à normalidade assintoticamente, os coeficientes estimados são comparados por meio da estatística *Z*, ao contrário da estatística *t* de *student*, como em geral ocorre (Greene, 2012).

A tabela 12 apresenta os resultados referentes ao modelo implementado, considerando-se como variável dependente o *indexm*. Embora o *R* quadrado ajustado tenha se situado em torno de 5%, o modelo como um todo pode ser considerado significativo ao nível de 5%, conforme indicado pelo teste Wald. O modelo em questão indica que um aumento no percentual de atropelamentos e colisões frontais tendem a aumentar o *indexm*. Paralelamente, trechos onde observou-se um aumento no percentual de atropelamentos de animais apresentaram uma redução no *indexm*. Tais resultados vão de encontro às informações dispostas na tabela 3, que indicam que, na média entre 2005 e 2011, apenas 1,53% dos acidentes registrados como atropelamentos de animais resultaram em mortes, enquanto esta estatística representou 22,43% e 26,24% considerando-se, respectivamente, atropelamentos e colisões frontais.

TABELA 12

Resultados obtidos para a estimação dos efeitos das variáveis dependentes sobre o *indexm*

Variáveis	Coefficiente	Erro-padrão estimado	Valor Z	Prob. > Z
Abalroamento transversal	-0,02	0,04	-0,60	0,55
Atropelamento	0,31	0,12	2,55	0,01*
Atropelamento de animal	-0,09	0,04	-2,04	0,04**
Capotagem	-0,03	0,04	-0,91	0,36
Choque com objeto fixo	-0,05	0,05	-1,12	0,26
Colisão frontal	0,17	0,05	3,50	0,00*
Colisão traseira	-0,04	0,03	-1,33	0,18
Saída de pista	-0,04	0,03	-1,42	0,16
Tombamento	0,00	0,05	0,01	1,00
Carnaval	0,10	0,08	1,16	0,25
Semana santa	-0,09	0,17	-0,50	0,62
Concer	0,05	0,08	0,65	0,52
CRT	-0,13	0,16	-0,85	0,40
Dutra	-0,11	0,05	-1,96	0,05**
Concepa	0,56	0,39	1,45	0,15
Ecosul	-0,02	0,09	-0,24	0,81
Fernão Dias	-0,14	0,14	-0,97	0,33
Fluminense	-0,23	0,12	-1,82	0,07***

(Continua)

(Continuação)

Variáveis	Coefficiente	Erro-padrão estimado	Valor Z	Prob. > Z
Litoral	-0,03	0,09	-0,34	0,73
Planalto	0,03	0,10	0,25	0,80
Régis Bittencourt	-0,06	0,14	-0,46	0,64
Transbrasiliana	-0,09	0,11	-0,78	0,44
Rodovia do Aço	0,12	0,19	0,61	0,54
Dupdnit	0,03	0,08	0,37	0,71
Ptruks	0,09	0,06	1,54	0,12
Constante	0,01	0,00	1,16	0,25
Número de observações	799	-	-	-
Número de replicações (<i>bootstrap</i>)	9.835	-	-	-
Teste Wald (chi2(25))	38,77	-	-	-
Prob. > chi2	0,0389	-	-	-
R quadrado	0,081	-	-	-
R quadrado ajustado	0,051	-	-	-

Elaboração dos autores.

Obs.: 1. (*) estatisticamente significativo a 1%; (**) estatisticamente significativo a 5%; e (***) estatisticamente significativo a 10%.

2. Dados elaborados pelo autor a partir dos resultados da pesquisa.

As demais variáveis relacionadas ao tipo de acidente não se mostraram estatisticamente significativas, o mesmo se verificou com as variáveis referentes ao percentual de acidentes registrados no Carnaval ou na Semana Santa. No que tange às variáveis indicativas de trechos de rodovias, observaram-se coeficientes negativos e significativos para Nova Dutra e Fluminense. Com relação à concessionária Fluminense, esse é um resultado particularmente importante, pois, dado que o início da concessão se deu em fevereiro de 2008, temos aqui um indício de que o processo de concessão foi efetivo em termos de redução dos acidentes com mortes.

TABELA 13

Resultados obtidos para a estimação dos efeitos das variáveis dependentes sobre o indexf

Variáveis	Coefficiente	Erro-padrão estimado	Valor Z	Prob. > Z
Abalroamento transversal	0,53	0,17	3,07	0,00*
Atropelamento	0,84	0,35	2,38	0,02**
Atropelamento de animal	-0,04	0,18	-0,23	0,82
Capotagem	0,03	0,38	0,08	0,93
Choque com objeto fixo	0,38	0,18	2,14	0,03**
Colisão frontal	-0,05	0,25	-0,18	0,86
Colisão traseira	-0,04	0,22	-0,17	0,87
Saída de pista	0,25	0,14	1,77	0,08***
Tombamento	0,42	0,30	1,39	0,16
Carnaval	0,43	0,39	1,10	0,27

(Continua)

(Continuação)

Variáveis	Coefficiente	Erro-padrão estimado	Valor Z	Prob. > Z
Semana Santa	0,22	0,54	0,41	0,69
Concer	-0,59	0,35	-1,66	0,10***
CRT	0,68	1,01	0,67	0,50
Dutra	-0,22	0,28	-0,81	0,42
Concepa	0,86	1,81	0,48	0,63
Ecosul	0,57	0,62	0,93	0,35
Fernão Dias	-0,55	0,80	-0,69	0,49
Fluminense	-0,69	0,41	-1,70	0,09***
Litoral	0,32	2,47	0,13	0,90
Planalto	0,43	0,40	1,06	0,29
Régis Bittencourt	-0,99	0,72	-1,37	0,17
Transbrasiliana	0,04	0,61	0,06	0,95
Rodovia do Aço	-0,31	0,39	-0,79	0,43
Dupdnit	4,44	1,84	2,41	0,02**
Ptruks	0,27	0,26	1,05	0,30
Constante	0,07	0,02	2,99	0,00
Número de observações	799	-	-	-
Número de replicações (<i>bootstrap</i>)	9.823	-	-	-
Teste Wald (chi2(25))	46,50	-	-	-
Prob > chi2	0,0056	-	-	-
R quadrado	0,2530	-	-	-
R quadrado ajustado	0,2289	-	-	-

Elaboração dos autores.

Obs.: 1. (*) estatisticamente significativo a 1%; (**) estatisticamente significativo a 5%; e (***) estatisticamente significativo a 10%.

2. Dados elaborados pelo autor a partir dos resultados da pesquisa.

A tabela 13 apresenta os resultados referentes ao modelo implementado, considerando-se como variável dependente o *indexf*. O *R* quadrado ajustado se situou em torno de 23%, e o modelo como um todo pode ser considerado significativo ao nível de 1%. Por meio deste, podemos perceber que um aumento no percentual de abalroamentos, atropelamentos, choques com objetos fixos e saídas de pista tendem a aumentar o *indexf*. As demais variáveis relacionadas ao tipo de acidente não se mostraram estatisticamente significativas, e o mesmo se verificou com as variáveis referentes ao percentual de acidentes registrados no Carnaval ou na Semana Santa. No que tange às variáveis indicativas de trechos de rodovias, observaram-se coeficientes negativos e significativos para Concer e Fluminense. Assim como no caso do *indexm* em relação à concessionária Fluminense, reforçam-se os indícios de que o processo de concessão foi efetivo em termos de redução dos acidentes pertinentes à essa concessionária. No entanto, considerando-se o *indexf*, o resultado mais importante diz respeito à significância estatística, sinal positivo e coeficiente elevado para a variável indicativa referente aos trechos administrados pelo DNIT. Ao regressarmos o *indexf* contra tal variável, em um modelo de regressão linear simples, obtemos um *R* quadrado ajustado

de aproximadamente 21%. Esses resultados corroboram a análise gráfica (gráfico 3) e descritiva (tabela 7), apontando que, embora em 2006 o *indexf* médio dos trechos em pista simples tenha se situado abaixo do *indexf* médio dos trechos em pista dupla, em 2009 esta tendência inverteu-se. Tal inversão foi ocasionada, portanto, pelo aumento do *indexf* nos trechos em pista dupla administrados pelo DNIT.

TABELA 14
Resultados obtidos para a estimação dos efeitos das variáveis dependentes sobre o *indexsv*

Variáveis	Coefficiente	Erro-padrão estimado	Valor Z	Prob. > Z
Abalroamento transversal	0,95	0,90	1,06	0,29
Atropelamento	-0,04	0,55	-0,07	0,95
Atropelamento de animal	0,06	0,27	0,24	0,81
Capotagem	0,02	0,30	0,07	0,95
Choque com objeto fixo	0,75	0,34	2,20	0,03**
Colisão frontal	-0,01	0,37	-0,02	0,98
Colisão traseira	1,14	0,34	3,36	0,00*
Saída de pista	0,39	0,20	1,96	0,05**
Tombamento	0,16	0,46	0,35	0,73
Carnaval	1,30	0,68	1,92	0,06***
Semana Santa	-0,54	0,78	-0,69	0,49
Constante	0,17	0,03	5,04	0,00
Número de observações	799	-	-	-
Número de replicações (<i>bootstrap</i>)	10.000	-	-	-
Teste Wald (chi2(25))	24,40	-	-	-
Prob > chi2	0,0111	-	-	-
R quadrado	0,0257	-	-	-
R quadrado ajustado	0,0121	-	-	-

Elaboração dos autores.

Obs.: (*) estatisticamente significativo a 1%; (**) estatisticamente significativo a 5%; e (***) estatisticamente significativo a 10%.

Com relação ao modelo implementado, tendo como variável dependente o *indexsv*, não se rejeitou a hipótese nula de que o modelo possui coeficientes iguais a 0 em bloco quando incluímos no modelo as variáveis pertinentes à infraestrutura e ao percentual de caminhões em cada trecho. Neste caso, conforme a tabela 14 indica, calculou-se a variação no *indexsv* como função na variação dos tipos de acidente ocorridos em cada trecho e na variação no percentual de acidentes registrados em Semana Santa ou Carnaval. Embora tal modelo possa ser considerado estatisticamente significativo a 5%, conforme indica o teste Wald; considerando-se o baixo valor do *R* quadrado ajustado, conclui-se que os acidentes sem vítimas possuem, em geral, uma maior aleatoriedade. O quadro 6 aponta também para o fato de que as variáveis referentes ao percentual de acidentes registrados como choques com objeto fixo, colisões traseiras, saídas de pista e percentual de acidentes registrados no feriado de Carnaval apresentaram significância estatística e sinal positivo para explicar a variação no *indexsv*. A seção 4 procura apontar as principais conclusões levantadas neste trabalho.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora acidentes de trânsito sejam eventos complexos, por compreenderem a interação entre o comportamento de condutores, veículos, vias e condições ambientais, a discussão precedente procurou isolar os efeitos do fator infraestrutura comparando acidentes em trechos concedidos à iniciativa privada *vis à vis* trechos administrados pelo DNIT. Dessa maneira, observou-se que, se, por um lado, os acidentes ocorridos em pista dupla resultam em menor gravidade, por outro lado, a maior parte da variação dos acidentes com feridos em 2006 e 2009 ocorreu nos trechos em pista dupla administrados pelo DNIT. A concessionária Concer apresentou redução no *indexf* comparando-se 2006 e 2009, e o modelo proposto para estimar a variação no *indexf* apresentou significância estatística e sinal negativo para a variável referente a esta concessionária. Embora a variável referente à concessionária Fluminense também tenha apresentado significância estatística e sinal negativo para a estimativa da variação do *indexf*, observou-se um aumento neste índice comparando-se 2006 e 2009 para esta concessionária, indicando que ela tão somente apresentou uma variação menor do que os demais trechos analisados na amostra.

Em um sentido oposto, analisando os trechos onde se observaram reduções nos índices de accidentalidade com mortes, destacam-se as concessionárias Fluminense e Nova Dutra. Com relação à Nova Dutra, embora esta tenha apresentado o menor *indexm* de toda a amostra selecionada, também apontou significância para redução no *indexm* comparando-se 2006 e 2009. Este desempenho, superior não só em relação à amostra como um todo, mas também em relação às demais rodovias da mesma classe,¹¹ corrobora a tese de que uma melhor oferta de infraestrutura reduz efetivamente o *indexm*. Assim, a influência das características físicas específicas de cada trecho – tais como largura da pista central e das pistas marginais, rampa máxima, raio mínimo horizontal, capacidade, nível de serviço etc. – merece uma investigação mais adequada. Ressalta-se que tais informações estão disponíveis apenas para a rede concedida, não sendo possível compatibilizá-la com a rede administrada pelo DNIT. Informações desatualizadas sobre o fluxo de veículo na rede administrada pela entidade também dificultam uma compreensão mais acurada sobre o problema. Com relação à concessionária Fluminense, a significância para redução no *indexm*, comparando-se 2006 e 2009, indica que, conforme ressaltado no texto, o processo de concessão ali iniciado efetivamente em 2008 pode ter surtido efeito em termos de redução de acidentes com mortes.

O modelo proposto não se mostrou estatisticamente significativo para explicar a variação no *indexsv*, considerando-se o fator infraestrutura; no entanto, apresentou significância estatística para alguns tipos de acidente e ocorrência de Carnaval. Observou-se, nesse caso, um poder explicativo baixo do modelo, indicando uma maior aleatoriedade de acidentes com este nível de gravidade.

11. A Nova Dutra foi classificada, segundo relatório da ANTT (2013), como pertencente à Classe 1, indicando uma rodovia "com velocidade diretriz mínima de 100, 80 e 60 km/h, raio mínimo de curvatura horizontal de 375 a 80m, rampa máxima de 3 a 6%".

Conforme discutido na introdução, a partir de 2011 o número de acidentes em rodovias federais começa a declinar fortemente, tendo caído de aproximadamente 192 mil, em 2011, para 122 mil, em 2015. Como os dados disponíveis não nos permitem extrapolar para a atualidade os resultados obtidos por meio da análise econométrica, considerando-se os anos de 2006 e 2009, fica como agenda de pesquisa atualizar a base de dados utilizada e incorporar mudanças no arcabouço institucional (tais como implementação da “Lei Seca” e da Lei do Descanso dos caminhoneiros) e mudanças na oferta de infraestrutura (tais como a vigência de novas concessões e a instalação de lombadas eletrônicas). Com relação especialmente às chamadas lombadas eletrônicas (radares fixos, barreira eletrônicas e leitores de avanço de sinal), foram instalados 3.032 equipamentos em toda a rede administrada pelo DNIT entre janeiro de 2011 e julho de 2016. Deste total, 1.391 foram instalados nas regiões Sul e Sudeste, ou 153 no Espírito Santo, 472 em Minas Gerais, 81 no Paraná, 77 no Rio de Janeiro, 261 em Santa Catarina e 24 em São Paulo (DNIT, 2016). Analisando-se ainda, preliminarmente, este tema, visto que extrapola o escopo deste trabalho, verificamos que, entre 2010 e 2012, o número de acidentes nos 140 trechos (entre os 799 trechos da amostra como um todo) onde foram instaladas lombadas eletrônicas em 2011 ou 2012 apresentaram uma queda de aproximadamente 9% no número de acidentes, enquanto se verificou nos demais trechos uma queda de apenas 1%. Ainda que preliminar, este resultado sugere a eficácia da instalação destes aparelhos em termos de redução no custo dos acidentes. Por seu turno, se medidas como esta demandam um custo relativamente baixo para sua implementação, tendem também a aumentar a duração média das viagens.

Considerando-se que um dos principais entraves ao desenvolvimento brasileiro diz respeito a uma oferta de infraestrutura de transportes inadequada associada a uma elevada participação do modal rodoviário no transporte de cargas, pode-se chegar a um resultado indesejável, uma vez que os ganhos logísticos associados à duplicação das vias, principalmente a redução no tempo de viagem, poderia ser contrabalançado por um aumento no custo dos acidentes; tal custo tem sido atacado por meio de medidas que implicam o aumento no tempo das viagens, o que tende a elevar o custo logístico como um todo.

Outro ponto fundamental a se destacar, especialmente em um momento em que ocorre uma tendência à expansão da rede concedida, diz respeito à necessidade de se definir um preço justo para a tarifa de pedágio. Neste contexto, futuras concessões rodoviárias não devem ser implementadas simplesmente no intuito de aliviar o caixa da União ou dos estados, ao contrário, as concessões devem basear-se em estudos técnicos independentes, que forneçam uma estimativa acurada dos reais custos de transporte, incluindo o custo dos acidentes, a remuneração do custo do capital envolvido e os custos ambientais. Para tanto, torna-se necessário melhorar a qualidade dos dados disponíveis e ampliar os estudos realizados na área, no intuito de que o preço da tarifa reflita adequadamente o benefício social marginal.

REFERÊNCIAS

- ABCR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONCESSIONÁRIAS DE RODOVIAS. Acidentes de tráfego. **ABCR.org**, [s.d.]. Disponível em: <<http://bit.ly/2TUkKgp>>. Acesso em: 20 jun. 2018a.
- _____. Filtro de concessionárias. **ABCR.org**, [s.d.]. Disponível em: <<http://bit.ly/2NSetOa>>. Acesso em: 20 jun. 2018b.
- ABPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PREVENÇÃO DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO. Pontos Críticos. **Por vias seguras**, 4 set. 2006. Disponível em: <<https://bit.ly/36ddnUe>>. Acesso em: 2 mar. 2009.
- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL e BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. Brasília: ANP, 2016. Disponível em: <<http://bit.ly/36lqz8W>>. Acesso em: 6 out. 16.
- BAUM, C, F. **An introduction to modern econometrics using stata**. College Station: Stata Press, 2006.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Indicadores de mortalidade**. Brasília: MS, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/36jEYDa>>. Acesso em: 30 abr. 2016.
- DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Frota de veículos**. Disponível em: <<http://bit.ly/3aBtaiA>>. Acesso em: 10 mar. 2016.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Histórico de planilhas (1994-2010). **DNITCloud**, 2014. Disponível em: <<http://bit.ly/3aDDLJY>>.
- _____. **Estatísticas de acidentes**. [s.l.]: DNIT, 2015. Disponível em: <<http://bit.ly/2sKFVWO>>.
- _____. Programa Nacional de Controle Eletrônico de Velocidade: controle de velocidade. [s.l.]: DNIT, 2016. Disponível em: <<http://bit.ly/2GhfUlf>>.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES; UFSC – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Análise e tratamento estatístico dos resultados de contagem de tráfego**. Brasília: DNIT; Florianópolis: UFSC, mar. 2008a. Disponível em: <<https://bit.ly/355pcvs>>. Acesso em: 23 mar. 2014.
- _____. **Apresentação dos resultados**. Brasília: DNIT; Florianópolis: UFSC, mar. 2008b. Disponível em: <<http://bit.ly/38tF8sD>>. Acesso em: 23 mar. 2014.
- FÁVERO, L. P. *et al.* **Métodos quantitativos com stata**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2013. 264 p.

GEURTS, K; WETS, G. **Black spot analysis methods**: literature review. 2007. Hasselt: Limburgs Universitair Centrum, dez. 2003. Disponível em: <<http://bit.ly/2sNMvvM>>. Acesso em: 12 jan. 2010.

GREENE, W. H. **Econometric analysis**. 7th ed. Upper Saddle River: Ed. Prentice Hall, 2012.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas**. Brasília: Ipea, 2003. (Relatório de Pesquisa).

_____. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras** – relatório executivo. Brasília: Ipea; Denatran; ANTP, 2006. Disponível em: <<https://bit.ly/2Yv2qdX>>.

_____. **Acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras**: caracterização tendências e custos para a sociedade. Brasília: Ipea, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/2E2bP3e>>. (Relatório de Pesquisa).

KIST, J, D. A configuração atual do crime de embriaguez ao volante: art. 306 do Código de Trânsito Brasileiro. **DireitoNet**, 8 nov. 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2P27LX0>>.

LIMA, I. M. O. *et al.* **Fatores condicionantes da gravidade dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras**. Brasília: Ipea, 2008. (Texto para Discussão, n. 1344)

LINDERBERG, G. Measuring the marginal social cost of transport. **Research in Transportation Economics**, v. 14, 155-183, 2005.

LUM, H.; REAGAN, J. A. Interactive highway safety design model: accident predictive module. **Public Roads**, v. 58, n. 3, p. 19, 1995.

MENESES, F. A. B. **Análise e tratamento de trechos rodoviários críticos em ambientes de grandes centros urbanos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MIAOU, S. P. The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: poisson versus negative binomial regressions. **Accident Analysis & Prevention**, v. 26, n. 4, p. 471-482, Aug. 1994.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Sistemas de dados**: um manual de segurança viária para gestores e profissionais da área. Brasília: OPAS, 2012.

PELTZMAN, S. The effects of automobile safety regulation. **Journal of Political Economy**, v. 83, n. 4 p. 677-726, Aug. 1975.

PRF – POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL. **Acidentes agrupados por ocorrência**. Brasília, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/342YJ07>>.

ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria dos Transportes. **Balço anual dos transportes**. São Paulo, 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/355rWZv>>. Acesso em: 13 set. 2013.

SHIKIDA, C. D.; ARAUJO JÚNIOR, A. F.; CASTRO, G. Economic determinants of driver's behavior in Minas Gerais. **Economics Bulletin**, v. 8, n. 10, p. 1-7, 2008.

SINAY, M. C. F.; TAMAYO, A. S. Segurança viária: uma visão sistêmica. *In*: RIO DE TRANSPORTES III, 2005. **Anais...** Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: Rio de Transportes, 2005.

TORRES, C. E. G. A importância da inserção do custo dos acidentes de trânsito na viabilidade econômica de projetos de infraestrutura viária: uma análise de equilíbrio geral computável para as rodovias BR-116, BR-262, BR-381 em Minas Gerais. *In*: XIV SEMINÁRIO SOBRE A ECONOMIA MINEIRA, 14., 2010, Diamantina, Minas Gerais. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2010.

_____. Planejamento do Transporte Rodoviário em Minas Gerais: uma análise de equilíbrio geral computável incorporando o custo dos acidentes para as rodovias BR-381, BR-262 e BR-116. **Planejamento e Políticas Públicas**, Brasília, n. 40, p. 183-218, 2013.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action**. Genebra: WHO, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/36kYq2b>>. Acesso em: 13 May 2016.

WINSTON, C; MAHESHRI, V; MANNERING, F. An exploration of the offset hypothesis using disaggregate data: the case of airbags and antilock brakes. **Journal of Risk and Uncertainty**, v. 32, p. 83-99, Mar. 2006.

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric analysis of cross section and panel data**. 2. ed. Cambridge, Massachusetts: Mit Press, 2002.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ANTT – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Rodovias reguladas pela ANTT** – Relatório Anual 2009. Brasília: ANTT, 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/38dv3AN>>. Acesso em: 16 mar. 2015.

_____. **Rodovias reguladas pela ANTT** – Relatório Anual, 2013. Brasília: ANTT, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/36mK1mo>>. Acesso em: 7 nov. 2016.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Terminologias rodoviárias usualmente utilizadas**. Brasília, 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/2YvUB7A>>.

_____. **Estimativa do Volume Médio Diário Anual – VDMA 2009**. Brasília, 2009a. Disponível em: <<https://bit.ly/2DYJB9k>>. Acesso em: 13 set. 2013.

_____. **Estatísticas de acidentes**. Brasília, 7 dez. 2009b. Disponível em: <<http://bit.ly/2sKFVWO>>. Acesso em: 2 mar. 2015.

_____. **Locais com equipamentos instalados em todo o Brasil até 6/9/2016**. Disponível em: <<http://bit.ly/2GhfUlf>>. Acesso em: 8 dez. 2016.

_____. **Projeto trienal de coleta de tráfego**. Brasília; Florianópolis, dez. 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/2P5phtx>>. Acesso em: 23 mar. 2014.

Data de submissão: 20/1/2017

Primeira decisão editorial em: 7/2/2018

Última versão recebida em: 20/7/2018

Aprovação final em: 3/8/2018

