

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS
ESCOLA de PÓS-GRADUAÇÃO em ECONOMIA

Fernanda Baldim Jardim

Estimando o impacto da redução da
velocidade máxima nas vias de São
Paulo e o valor estatístico de uma vida

Rio de Janeiro
31 de março de 2017

Fernanda Baldim Jardim

Estimando o impacto da redução da velocidade máxima nas vias de São Paulo e o valor estatístico de uma vida

Dissertação para obtenção do grau de mestre apresentada à Escola de Pós-Graduação em Economia

Área de concentração: Microeconomia
Empírica

Orientador: Francisco Junqueira Moreira da Costa

Rio de Janeiro
2017

Jardim, Fernanda Baldim

Estimando o impacto da redução da velocidade máxima nas vias de São Paulo e o valor estatístico de uma vida / Fernanda Baldim Jardim. – 2018.

52 f.

Dissertação (mestrado) - Fundação Getulio Vargas, Escola de Pós-Graduação em Economia.

Orientador: Francisco Junqueira Moreira da Costa.

Inclui bibliografia.

1. Microeconomia. 2. Acidentes de trânsito. 3. Veículos a motor - Velocidade - Modelos matemáticos. I. Costa, Francisco Junqueira Moreira da. II. Fundação Getulio Vargas. Escola de Pós-Graduação em Economia. III. Título.

CDD – 338.5

FERNANDA BALDIM JARDIM

**ESTIMANDO O IMPACTO DA REDUÇÃO DA VELOCIDADE MÁXIMA NAS
VIAS DE SÃO PAULO E O VALOR ESTATÍSTICO DE UMA VIDA.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Economia da Escola de Pós-Graduação em Economia para obtenção do grau de Mestre em Economia.

Data da defesa: 31/03/2017.

ASSINATURA DOS MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA



Francisco Junqueira Moreira da Costa
Orientador (a)



Cecilia Machado Berriel



Cláudio Ribeiro de Lucinda

Aos meus amados pais, Luiz e Josélia.

Resumo

Utilizando robusta base de dados da CET-SP e a mudança da regra de velocidade máxima imposta pelo PPV no ano de 2015 para um grupo de vias de São Paulo, este trabalho estima o efeito da alteração no limite de velocidade de uma via na velocidade média dos motoristas, no número de acidentes de trânsito e no número de feridos e fatalidades causados nesses. Constatou-se através de estimação de diferenças em diferenças que, na média, as vias que tiveram sua velocidade máxima reduzida no programa, apresentaram redução de 0,32 acidentes ao mês. Adicionalmente, empregando o modelo proposto por Ashenfelter e Greenstone (2004b), buscou-se estimar a elasticidade entre o custo da variação do tempo de viagem e o risco de mortalidade incorridos pela intervenção e o VSL.

Palavras-chave: Acidentes de trânsito, Diferenças em diferenças, VSL.

Lista de Figuras

4.1	Acidentes de Trânsito no município de São Paulo	9
4.2	Feridos em Acidentes de Trânsito no município de São Paulo	9
4.3	Fatalidades em Acidentes de Trânsito no município de São Paulo	9
4.4	Vias do MSVP 2015 e Zonas de Máxima Restrição	11
5.1	Acidentes de Trânsito- Comparação de Trajetória entre Tratado e Controle	16
5.2	Feridos no Trânsito- Comparação de Trajetória entre Tratado e Controle	17
5.3	Fatalidades no Trânsito- Comparação de Trajetória entre Tratado e Controle	17
A.1	Vias do MSVP 2014 e Zonas de Máxima Restrição	31
A.2	Rota 01G - Av. Eusébio Matoso, Av. Rebouças, R. da Consolação	32
A.3	Rota 02G - R. Clélia, R. Guaicurus, Av. Francisco Matarazzo, Av. São João	32
A.4	Rota 04G - Av. Zaki Narchi, Av. Santos Dumont, Av. Tiradentes, Av. Prestes Maia	33
A.5	Rota 06G - Av. Rangel Pestana, Av. Celso Garcia	33
A.6	Rota 07G - Radial Leste (R. Melo Freire, Av. Alcântara Machado)	34
A.7	Rota 10G - Av. Washington Luís, Av. Rubem Berta, Av. Vinte e Três de Maio	34
A.8	Rota 13G - Av. Heitor Penteado, Av. Dr. Arnaldo, Av. Paulista, Av. Bernardino de Campos	35
A.9	Rota 14G - Elevado Costa e Silva, Ligação Leste-Oeste	35
A.10	Rota 15G - Rótula Central (R. Maria Paula, Av. Senador Queiróz, Av. Ipiranga)	36
A.11	Rota 18G - Av. Sen. Teotônio Vilela, Av. Interlagos, Av. Washington Luís	36
A.12	Rota 19G - Av. dos Bandeirantes, Av. Affonso D'Escragnolle Taunay, C.V. Maria Maluf, Av. Pres. Tancredo Neves	37
A.13	Rota 29G - Av. Radial Leste (Av. Dr. Luís Aires, Av. Antônio Estevão de Carvalho, Av. Conde de Frontin)	37
A.14	Rota 32G - R. Vergueiro, Av. Liberdade	38
A.15	Rota 33G - Av. Jacu-Pêssego	38
A.16	Rota 36G - Marg. Tietê (Av. Assis Chateaubriand, Av. Otaviano A. de Lima, Av. Emb. Macedo Soares, Av. Pres. Castelo Branco)	39
A.17	Rota 38G - Marg. Pinheiros (Av. das Nações Unidas, Av. Magalhães de Castro, Av. Alcides Sangirardi)	39

Lista de Tabelas

4.1	Estatística Descritiva de observações por rota nos anos de 2014 e 2015	13
4.2	Estatística Descritiva de observações mensais para vias com acidentes entre 2013 e 2016	14
4.3	Estatística Descritiva de observações mensais por turno para vias com acidentes entre 2013 e 2016	14
5.1	Estimativa DID mensal para vias com acidentes entre 2013 e 2016	18
5.2	Estimativa DID para rotas	19
6.1	Estimação MQO com dias pesquisados no MSVP	24
6.2	Estimação IV para grupos distintos de variáveis	26
6.3	Estimativas de V^* e do VSL	27
B.1	Estatística Descritiva para todas as vias com acidentes entre 2013 e 2016	40
B.2	Estatística Descritiva por turno para vias com acidentes entre 2013 e 2016	41
B.3	DID sem duplicar acidentes que ocorreram em cruzamento	41
B.4	Estimação do modelo IV para os dias pesquisados do MSVP	42

Sumário

1	Introdução	1
2	Revisão da Literatura	3
3	O Programa de Proteção à Vida	6
4	Dados	8
4.1	Fonte dos Dados	8
4.1.1	Acidentes	8
4.1.2	Limite de Velocidade nas Vias	10
4.1.3	Velocidade e Contagem Volumétrica	10
4.1.4	Salários, Estimativas de População e Mortalidade	11
4.2	Construção da Base de Dados	12
5	Avaliação de Impacto do Limite de Velocidade em Acidentes e Fatalidades	15
5.1	Estratégia Empírica	15
5.2	Resultados	17
6	VSL	20
6.1	Modelo Teórico	20
6.1.1	O Modelo Padrão de VSL	20
6.1.2	O Modelo de VSL Aplicado para Escolha de Velocidade Empregada e Limite de Velocidade	21
6.2	Estratégia Empírica e Resultados	23
6.3	Estimativa do VSL	27
7	Considerações Finais	28
	Referências Bibliográficas	29
A	Rotas	31
B	Resultados Adicionais	40

Capítulo 1

Introdução

Políticas públicas que envolvem a imposição, extinção, redução ou o aumento de limites máximos de velocidade pelos órgãos responsáveis e o *trade-off* entre os benefícios e os custos de tais medidas têm sido frequente objeto de estudo de economistas, como Ashenfelter (2004b) [4] e van Benthem (2015) [17]. Embora a possível diminuição de acidentes viários e de fatalidades seja apontada como benefício da redução da velocidade máxima, o aumento do tempo de percurso nas vias também possui um custo de oportunidade para os agentes envolvidos e para a sociedade. Portanto, para realizar uma análise de custo-benefício desse tipo de política pública, são necessárias duas etapas. Primeiro, estima-se o efeito da variação do limite de velocidade na ocorrência de acidentes e fatalidades e, em seguida, mensura-se o valor de uma vida estatística (VSL) como forma de monetizar o benefício da redução de fatalidades.

Agências reguladoras em diversas economias desenvolvidas utilizam o conceito de VSL na avaliação e na escolha de qual a melhor regra a ser implementada (Kenkel, 2000) [14]. No Brasil, baseado no debate público, não existe evidência da utilização desse conceito pelos formuladores de políticas públicas para basear a tomada de decisão.

Em 2013, a prefeitura de São Paulo iniciou o Programa de Proteção à Vida (PPV) com o objetivo de reduzir acidentes viários e atropelamentos na cidade através da ampliação de uma série de ações para segurança de todos os agentes do trânsito. Uma das medidas adotadas pelo PPV foi a redução da velocidade máxima em diversas vias da capital. Segundo a Companhia de Engenharia de Tráfego da cidade de São Paulo (CET-SP), as reduções das velocidades máximas permitidas no perímetro urbano da capital paulista têm por objetivo melhorar as condições de segurança de todos os usuários, ao mesmo tempo em que visa reduzir o número de feridos e mortos em acidentes de trânsito.

Utilizando a nova regra de velocidade máxima imposta pelo PPV, este trabalho engloba dois objetos de estudo principais. O primeiro é a mensuração do efeito da alteração no limite de velocidade de uma via no número de acidentes, feridos e fatalidades no trânsito. Em seguida, baseado na estimativa obtida, o segundo objetivo é o cálculo do VSL baseado em dados de São Paulo.

A partir de dados fornecidos pela CET-SP sobre acidentes de trânsito ocorridos em mais de 11 mil vias no município de São Paulo no período entre janeiro de 2013 e abril de 2016 e sobre velocidades nas principais vias da cidade, constatou-se que, na média, as vias que tiveram

sua velocidade máxima reduzida, apresentaram redução de 0,32 acidentes ao mês. Além disso, também houve redução significativa no número de feridos e no número de fatalidades originários dos acidentes. Segregando a análise em três turnos ao longo do dia, para os números de acidentes e de feridos, as variações mais expressivas ocorreram no turno da manhã. No caso de fatalidades decorrentes dos acidentes, o turno da tarde (que engloba o período da tarde e noite) apresentou maior sensibilidade à mudança do limite de velocidade máxima.

A principal contribuição deste trabalho é apresentar uma avaliação do impacto da redução na velocidade máxima das vias no número de acidentes, feridos e fatalidades no trânsito. Embora o cálculo do VSL proposto se baseia em uma estimativa de elasticidade que obteve resultados estatisticamente não significativos, o estudo possui o potencial de incentivar a utilização mais frequente do conceito de VSL na discussão sobre o custo-benefício de políticas públicas nacionais visando melhor fundamentar a tomada de decisão dos nossos governantes.

A estimativa nula e estatisticamente não significativa obtida para o parâmetro que representa a elasticidade entre velocidade e fatalidades pode ser resultado da limitação de dados disponíveis para as velocidades das rotas pesquisadas. A aferição da velocidade média em rotas, além de ser feita para um número pequeno de vias, é realizada com baixa frequência, apenas com periodicidade anual.

Este trabalho está organizado em mais seis seções. Na próxima seção faz-se uma revisão da literatura que aborda o VSL e acidentes de trânsito apresentando também de estudos que já foram realizados explorando o tema no Brasil e são descritos os modelos de VSL. Na terceira seção apresenta-se uma breve descrição do PPV. A quarta seção traz uma descrição detalhada do processo de obtenção e estruturação das base de dados que foram empregadas na estimação dos resultados. A seção 5 apresenta a estratégia empírica adotada para a avaliação do impacto da redução das velocidades máximas nas variáveis de interesse e seus resultados. A seção 6 apresenta o modelo teórico, a estratégia empírica e os resultados obtidos no exercício de cálculo do VSL. A seção 7 enumera as considerações finais. E, por fim, o Apêndice apresenta os mapas das rotas da Mobilidade do Sistema Viário Principal de São Paulo que foram utilizadas no trabalho e alguns resultados adicionais.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

Segundo Andersson e Treich (2011) [1], o conceito de VSL define o valor monetário associado à redução no risco de mortalidade (significativamente pequena e homogênea para a população em questão) que é capaz de prevenir a morte de uma vida estatística. É importante ressaltar aqui que uma vida estatística não é uma vida identificada, e dessa forma, o VSL não representa o valor que a sociedade está disposta a pagar para salvar a vida de uma pessoa específica e identificada. Por algum tempo, o procedimento mais comum para calcular o VSL era baseado em uma abordagem de capital humano em que o valor da vida de uma pessoa era determinado pela sua produtividade. As primeiras estimativas do VSL foram calculadas com base em modelos hedônicos de estimação de salários. Todavia, diversos estudos apresentaram evidências de que essa metodologia gera grande viés causado por variáveis omitidas, como em Black e Kniesner (2003) [5] e Hersch (1998) [11].

Atualmente, a abordagem mais comum se baseia na disposição dos indivíduos a pagarem por uma política que proporcione a redução na probabilidade de morte em determinada situação. Estudos iniciais utilizavam desenhos em que indivíduos respondiam quanto pagariam por uma redução de risco de mortalidade em uma situação hipotética. Essa abordagem recebeu críticas baseadas na possibilidade dos indivíduos reportarem valores que estariam dispostos a pagarem inconsistentes com o valor que realmente seria pago caso a situação fosse realidade. A ideia por trás disso é que, como um único indivíduo representa um acréscimo marginal a qualquer programa, eles não seriam os mais apropriados para avaliarem políticas que atingem um grupo muito mais abrangente da população.

Uma solução encontrada pelos pesquisadores parece a questão descrita acima foi utilizar desenhos em que os indivíduos estavam lidando com uma situação real, ao invés de apenas uma situação inventada pelo entrevistador ou questionário. Ou seja, as ações observadas realmente apresentariam a preferência revelada dos indivíduos. Ashenfelter e Greenstone (2004b) [4] utiliza uma variação na legislação americana referente aos limites de velocidade em rodovias interestaduais rurais para calcular uma estimativa empírica do limite de velocidade em fatalidades e na velocidade de fato empregada pelos motoristas para determinar a preferência revelada dos motoristas por segurança. Com este intuito, Ashenfelter e Greenstone (2004b) [4] apresenta um modelo de comportamento dos indivíduos no qual o VSL é recuperado pela taxa marginal de substituição entre o custo monetário do tempo de viagem e das fatalidades. Como limites de

velocidade são impostos por lei por causa da externalidade negativa ocasionada pelo fato de que a probabilidade de ocorrência de uma fatalidade depende não só da própria decisão de velocidade de um motorista, mas também depende das decisões de outros motoristas, o autor argumenta que, de fato, essa decisão social de qual será o limite de velocidade representa o VSL para a parcela da população envolvida no processo político. Empregando uma abordagem econométrica de variáveis instrumentais (IV), o resultado obtido pelo estudo é uma estimativa de 4% de aumento na velocidade média e um crescimento de 35% nas taxas de fatalidade nas rodovias que adotaram o aumento de velocidade máxima.

Nos artigos de Ashenfelter (2004a) [3] e Ashenfelter e Greenstone (2006) [2] são utilizadas estimativas de mínimos quadrados ordinários (MQO), IV e diferenças-em-diferenças (DID) para analisar a robustez dos resultados obtidos à luz de problemas como variáveis omitidas e a diferença de resultados quando a amostra é estratificada por estados.

Ashenfelter e Greenstone (2006) [2] estendem o trabalho anterior e realizam comparações entre as estimativas obtidas pelos métodos MQO e IV. A estimativa convencional de MQO indica que as velocidades e as taxas de mortalidade em estradas são não correlacionadas e isto ocorre, provavelmente, porque os motoristas escolhem velocidades mais baixas quando as condições das rodovias são menos seguras. Para mitigar esse problema de variáveis omitidas, é utilizada a decisão de cada Estado em adotar um limite de velocidade maior em resposta à lei de 1987 como uma variável instrumental para a escolha de velocidade dos indivíduos. Diferentemente das estimativas de MQO, os resultados desta estratégia de estimação IV mostram que velocidade e mortes são altamente correlacionadas. Além disso, valorando o tempo por meio da taxa média de salários (em dólares de 1997), o valor do benefício líquido da redução no tempo de viagem por fatalidade marginal foi auferido em aproximadamente US\$ 1,5 milhões.

Outra análise realizada em Ashenfelter e Greenstone (2006) [2] é o cálculo da estimativa individual para cada um dos 21 Estados que adotaram algum tipo de aumento no limite de velocidade permitido. Nesse caso, apenas dois Estados (Arkansas e Ohio) não apresentaram estimativa de elasticidades no mesmo sentido que aquele obtido pelo resultado agregado. Dentre os Estados que obtiveram elasticidades negativas, as estimativas do valor do tempo economizado por fatalidade marginal variam entre US\$ 290 mil (Tennessee) e US\$ 9,71 milhões de dólares (Wisconsin). Esta variabilidade nos resultados pode indicar a presença de algum tipo de erro de amostragem. Conseqüentemente, é possível antecipar a existência de um viés de publicação que pode levar a um consenso de estimativas de VSL determinado apenas por uma seleção daquelas que foram publicadas. Considerando que análises bem-sucedidas, no sentido que obtiveram resultados esperados, são mais susceptíveis de publicação, os autores mostram que as estimativas mais disseminadas na literatura a apresentam a tendência de um viés significativamente positivo.

O artigo de van Benthem (2015) [17] utiliza a mesma mudança de legislação que Ashenfelter (2004b) [4] e conclui que um aumento de 10 milhas/hora no limite de velocidade gera um aumento de 3-4 milhas/hora na velocidade média, um aumento de 9-15% em acidentes e um aumento de 34-60% dos acidentes fatais. Além desses resultados, o autor também busca diferenciar os custos e benefícios privados dos sociais e mensura outros custos que podem influenciar na tomada de decisão dos governantes, como os efeitos em poluição e os custos de acidentes não-fatais que

envolvem feridos. Para as estimativas de acidentes e fatalidades, considerando a natureza discreta e rara dos eventos e com o objetivo de reduzir o viés do estimador, é utilizada uma estimativa de máxima verossimilhança para um estimador *ratio-in-ratios*.

Análises realizadas para o Brasil utilizando uma metodologia de preferência revelada não foram identificadas. Os trabalhos encontrados com informações baseadas em indivíduos brasileiros que buscam estimar o VSL utilizam o método de valoração contingente (MVC). Por exemplo, Sousa (2010) [16] estima a disposição à pagar pela redução do risco de envolvimento em um acidente de trânsito com diferentes níveis de lesões utilizando um *survey* realizado com a população de Porto Alegre em 2009. A partir do valor estimado para a redução a zero do risco de lesões que resultam em morte foi calculado um VSL de R\$ 13,4 milhões. O MVC também é empregado por Brito e Strambi (2007) [7] que utilizam uma pesquisa realizada em 2005 pela Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo com motorista nas principais rodovias no estado para estimar o valor subjetivo do tempo de viagem de motoristas. Para a categoria base (categoria caracterizada pelo motorista homem de renda não baixa, realizando um deslocamento não a lazer e que paga ao menos um pedágio em sua viagem) foi estimado valor do tempo de viagem de R\$16,44 por hora para viagens com duração de até 90 minutos e de R\$14,62 por hora para viagens com duração entre 90 minutos e 4 horas. As estimativas para categorias com características distintas da categoria base variaram de R\$11,31 por hora e R\$23,93 por hora.

Nota-se que não há até então tentativa de estimar o efeito causal da redução do limite de velocidade máxima em acidentes, feridos e fatalidades. Dessa forma, esse é o objetivo do presente trabalho.

Capítulo 3

O Programa de Proteção à Vida

O PPV consiste em um conjunto de medidas propostas pela CET-SP para melhorar a segurança viária baseadas em conceitos atuais sobre mobilidade urbana. O objetivo principal é conscientizar e motivar os usuários do trânsito a praticarem o respeito no compartilhamento do espaço viário, especialmente com relação àqueles mais vulneráveis como os pedestres e os ciclistas. O programa inclui ações como a Operação Frente Segura ¹, a Travessia em “X” ², a Travessia Iluminada ³ e a redução de limites de velocidade nas principais vias da cidade (CET-SP, 2017) [8]. A Operação Frente Segura e a Travessia em “X” buscam reduzir o número de acidentes em cruzamentos envolvendo, principalmente, motos, ciclistas e pedestres. A Travessia Iluminada testa medidas que visam diminuir a incidência de atropelamentos noturnos.

No segundo semestre de 2015, a CET-SP implantou, durante a administração do prefeito Fernando Haddad, a redução da velocidade máxima em diversas vias da cidade de São Paulo. Essa medida foi alvo de diversos artigos em editoriais e colunas nos meios de comunicação ⁴ na época da sua implantação, principalmente no caso das Marginais Pinheiros e Tietê, as quais foram as primeiras vias que tiveram redução da velocidade máxima permitida. Nas pistas expressas das Marginais, a velocidade máxima passou de 90 km/h para 70 km/h para veículos leves e de 70 km/h para 60 km/h para veículos pesados. Nas pistas centrais, a velocidade máxima foi reduzida de 70 km/h para 60 km/h para todos os tipos de veículos. Por fim, nas pistas locais, a velocidade máxima passou de 70 km/h para 50 km/h para todos os tipos de veículos.

No geral, os argumentos contrários à intervenção estão relacionados à possibilidade de aumento no tempo de viagem. Esse aumento também pode causar aumento de outros custos

¹Consiste na implantação de uma sinalização horizontal que delimita uma área exclusiva de espera, entre a faixa de pedestre e os demais veículos, para motos e bicicletas. A ideia foi inspirada na experiência espanhola que utiliza a prática desde 2009 em cidades com grande frota de motos como Barcelona e Madri.

²Baseia-se em um modelo utilizado em Tóquio no qual a faixa de travessia de pedestres em cruzamentos é disposta em duas diagonais. Dessa forma, caso o destino do pedestre seja a esquina oposta, sua travessia torna-se mais rápida e segura, não sendo mais necessário efetuar a travessia em duas etapas.

³Projeto piloto de Travessia de Pedestres Iluminada implantado em julho de 1996, cuja principal ação do projeto é instalar sinalizações que possuem um fecho de luz que incide sobre a faixa de travessia e deixa o pedestre em situação de maior visibilidade para os motoristas. Foi baseado em uma pesquisa britânica realizada pelo *Road Research Laboratory* que concluiu que a iluminação de faixas de pedestres resultou em redução de 47% dos acidentes de trânsito noturnos envolvendo pedestres.

⁴Os artigos em <https://exame.abril.com.br/brasil/reduzir-a-velocidade-das-marginais-em-sp-e-mesmo-tao-ruim/>, <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2015/08/1667813-veja-razoes-para-ser-contra-e-a-favor-dos-novos-limites-nas-marginais.shtml> e <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/opiniao/226918-apenas-quatro-minutos.shtml> são exemplos de notícias e editorias publicados.

relacionados ao deslocamento de cargas e pessoas, como o maior consumo de combustível e a necessidade de arcar com mais horas de trabalho e, portanto, salários no setor de logística. Podem ser listados também os custos não monetários, como a preferência dos indivíduos em substituir o tempo gasto em viagem por uma atividade mais útil ou agradável.

No estudo feito para motoristas da cidade de Porto Alegre, Bottesini e Nodari (2011) [6] concluem que agentes respondem melhor a medidas de segurança de trânsito em meio urbano que estão relacionadas à restrição de seus direitos como forma punitiva e à possibilidade de ser flagrado por meio de algum tipo de fiscalização, o que conduziria à uma punição. Portanto, é esperado que a redução dos limites de velocidade máxima, quando associados à fiscalização e à punição efetiva dos infratores, tenha um efeito como medida de segurança na redução de acidentes e de fatalidades no trânsito. Este é um dos principais argumentos utilizados pelos defensores da intervenção realizada.

Recentemente, os limites máximos de velocidade nas Marginais sofreram nova alteração e foram reestabelecidos para os níveis anteriores à intervenção. A medida foi implantada em 25 de janeiro de 2017 pela administração do prefeito João Doria como parte integrante do programa Marginal Segura. Além do aumento nos limites máximos de velocidade, o novo programa prevê instalação de novas câmeras de monitoramento e aumento no número de agentes de trânsito, ambulâncias e guinchos.

Capítulo 4

Dados

4.1 Fonte dos Dados

A CET-SP disponibiliza em sua página na internet informações atualizadas em tempo real sobre o trânsito nas principais vias de São Paulo, além de informações sobre autuações, frotas e acidentes. Estatísticas de lentidão nas vias e velocidade média dos ônibus no corredores também são reportadas. No entanto, as séries históricas dessas informações não são disponibilizadas no *website* da CET-SP. Em vista disso, a maior parte das informações utilizadas no presente estudo foi obtida através de cinco solicitações realizadas pelo Sistema de Informação ao Cidadão da prefeitura de São Paulo que atende a Lei de Acesso a Informação (Lei 12.527, de 18/11/2011) e o Decreto Municipal 53623/2012. Outras fontes de dados utilizados no estudo são o IBGE e o CAGED.

4.1.1 Acidentes

Em relação aos acidentes, foram recebidas informações sobre os acidentes de trânsito ocorridos na cidade de São Paulo entre janeiro de 2013 e abril de 2016. Nesse período foram registrados mais de 75000 acidentes de trânsito, sendo 25501 no ano de 2013, 23547 no ano de 2014, 20260 no ano de 2015 e 5936 no primeiro trimestre de 2016.

São registradas informações sobre o dia, o horário e a via em que ocorreu cada acidente, além dos números de veículos envolvidos, feridos e mortalidades causadas. Nos casos de acidentes que ocorrem em cruzamentos, a segunda via também é documentada, enquanto que os demais acidentes recebem informação sobre a numeração mais próxima do local do ocorrido ou alguma indicação de referência. As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram a evolução mensal para cada ano do número de acidentes, feridos e fatalidades, respectivamente.

Apesar de possuírem escalas distintas, acidentes e feridos em acidentes de trânsito possuem trajetórias muito parecidas e apresentam uma queda nos valores agregados a partir de julho de 2015, quando comparados os mesmos meses em anos anteriores. As fatalidades em acidentes de trânsito apresentam uma trajetória diferenciada das variáveis anteriores, mas mantêm a tendência de queda nos valores agregados mensais a partir de julho de 2015, quando iniciou-se a implementação de limites de velocidade reduzidos em algumas vias. Cabe destacar que a trajetória apresentada na Figura 4.3 pode apresentar diferenças em relação aos índices encontrados

em relatórios oficiais da CET-SP. A recomendação da Organização Mundial da Saúde para composição de índices de mortalidade no trânsito é que as fatalidades sejam classificadas de acordo com a data do óbito, independente da data do acidente. Porém, considerando o objetivo final deste trabalho, a agregação dos dados de fatalidade em acidentes de trânsito foi realizada com referência à data de ocorrência do acidente. Comparando as fatalidades por data de ocorrência do acidente e data do óbito, verificou-se que em todos os anos, no mínimo 80% dos óbitos ocorreu no mesmo dia ou no dia seguinte do acidente.

Figura 4.1: Acidentes de Trânsito no município de São Paulo



Figura 4.2: Feridos em Acidentes de Trânsito no município de São Paulo

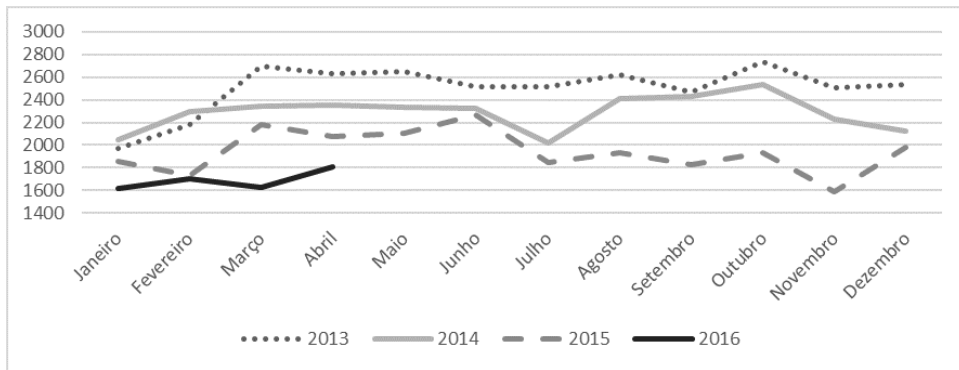
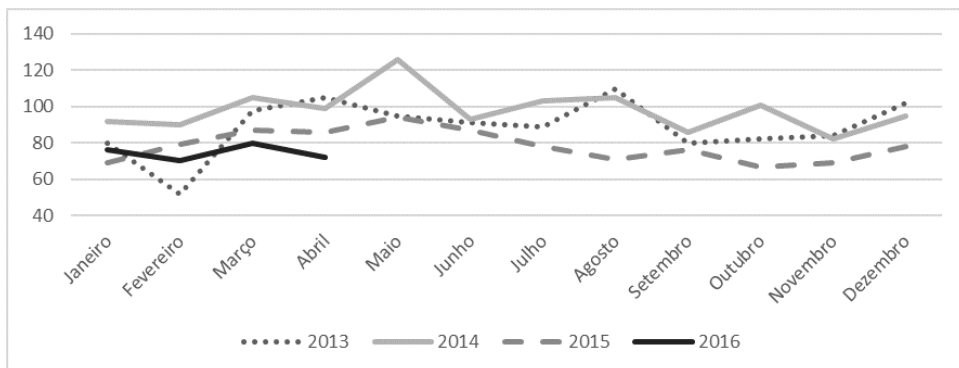


Figura 4.3: Fatalidades em Acidentes de Trânsito no município de São Paulo



4.1.2 Limite de Velocidade nas Vias

As informações sobre as vias que tiveram os seus limites de velocidade alterados foram coletadas no histórico de notícias do *website* da CET-SP. Além da relação das vias, foram coletadas as datas em que ocorreu a mudança em cada via, a velocidade máxima inicial e a velocidade máxima após a intervenção. No total, foram levantadas informações sobre 231 vias que tiveram suas velocidades máximas de circulação alteradas.

4.1.3 Velocidade e Contagem Volumétrica

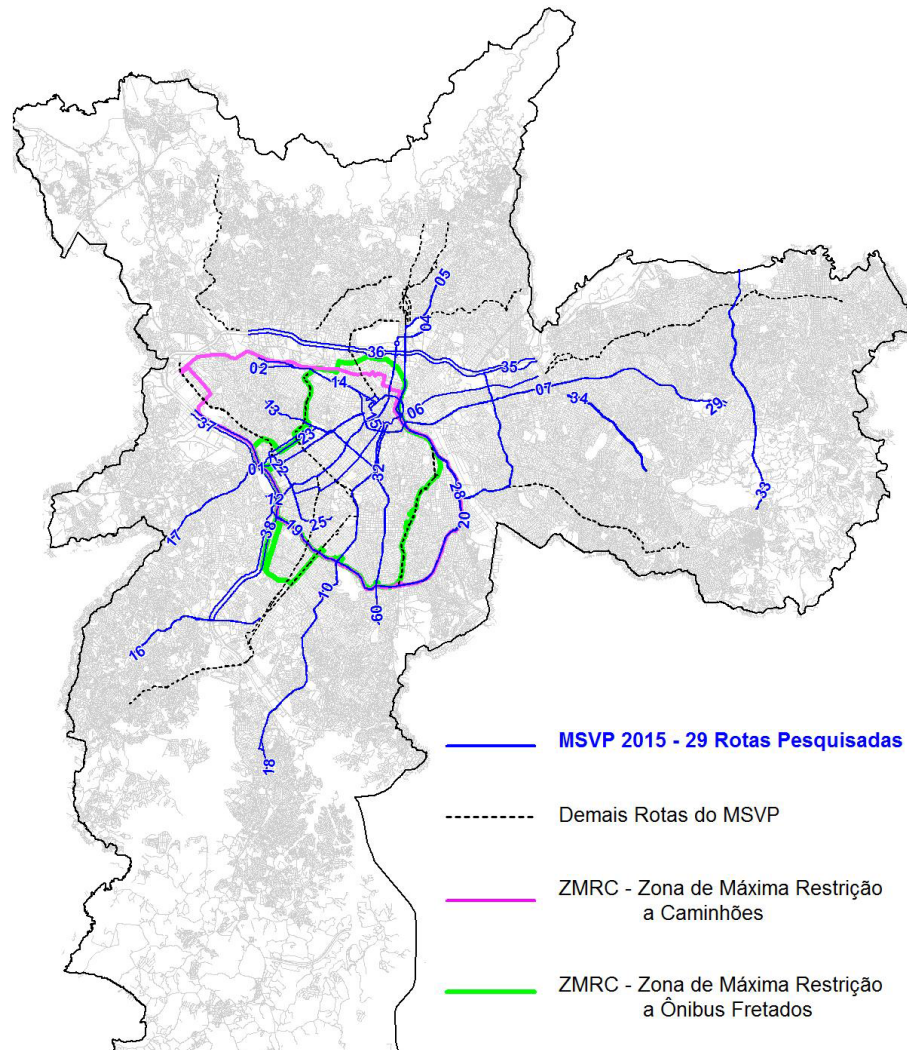
Os dados de velocidade e de contagem volumétrica (número de veículos que transitam na via) constam no Relatório da Mobilidade no Sistema Viário Principal (MSVP) o qual é elaborado para subsidiar informações sobre volume e velocidade necessárias aos estudos de engenharia de tráfego da CET-SP. Realizado anualmente pelo Departamento de Estudos e Pesquisa de Tráfego, o MSVP também apresenta os resultados da pesquisa de monitoração da fluidez que inclui a contagem volumétrica classificada por tipo de veículo e o tempo de percurso com retardamento nas principais vias da cidade. As rotas pesquisadas a cada ano representam cerca de 15% do sistema viário principal e 1,4% da extensão total de vias da cidade de São Paulo. Elas são escolhidas por critérios operacionais e históricos, e de acordo com a importância dessas vias dentro do sistema viário. A partir de 2014, houve diversificação de algumas rotas que eram pesquisadas anualmente e passaram a ser pesquisadas bienalmente, além da inclusão de novas rotas visando atender áreas mais periféricas da cidade.

Em 2014, a pesquisa foi realizada para 28 rotas, as quais incluem 114 vias e totalizam 220km lineares de via. Para o ano de 2015, a pesquisa foi realizada para 29 rotas, que incluem 101 vias e totalizam 230km. No conjunto das rotas pesquisadas nos anos de 2014 e 2015, existe um subconjunto de 16 rotas que foram objeto da pesquisa MSVP em ambos os anos. A Figura 4.4 apresenta a localização das rotas que foram pesquisadas no MSVP 2015.

A contagem volumétrica no MSVP é realizada por pesquisadores utilizando contadores manuais. A pesquisa é realizada pela manhã das 7h às 10h e à tarde das 17h às 20h. Os valores acumulados são anotados a cada 15 minutos e a contagem é acumulada durante todo o período, ou seja, o contador não é zerado durante a pesquisa. A quantidade de veículos é contada em três ou quatro pontos da rota, dependendo da sua importância e extensão, e um dos pontos de contagem é definido como o principal. Neste ponto, a contagem é realizada por dois dias e, portanto, é o ponto selecionado para utilizar a informação de volume em todas as rotas.

A pesquisa de velocidade é realizada por dois dias para cada rota e, assim como na contagem volumétrica, é realizada em dois períodos, pela manhã das 7h às 10h e à tarde das 17h às 20h. Nesse caso, o método utilizado consiste em percorrer a rota analisada com um veículo-teste dentro do qual vão dois pesquisadores munidos de um cronômetro cada e mapa da rota com os pontos de controle assinalados. O primeiro cronômetro é usado para registrar os tempos de percurso de cada trecho e o segundo, para os tempos de retenção. Em geral, para cada rota são obtidas três viagens com saídas em intervalos de aproximadamente uma hora para cada sentido por período. As informações reportadas consistem na velocidade média de cada rota nos dois dias de pesquisa para cada viagem e na velocidade média das viagens para cada período (manhã e tarde).

Figura 4.4: Vias do MSVP 2015 e Zonas de Máxima Restrição



4.1.4 Salários, Estimativas de População e Mortalidade

Estatísticas sobre o salário médio do trabalhador brasileiro serão necessárias para o cálculo do VSL e foram obtidas nas base de dados do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED). Para o ano de 2015, foi calculado um salário de admissão médio mensal de R\$2793,74 na cidade de São Paulo e o salário-hora de R\$12,70. No entanto, a medida de salário hora pode estar subestimada pois foi considerada uma carga horária mensal de 220 horas, sem haver ponderação pelas horas contratuais efetivas de cada admissão.

Por fim, a estimativa do IBGE para a população de São Paulo para 2014 e para 2015 é de 11895893 e 11967825 pessoas, respectivamente. ¹ Dessa forma, o risco de mortalidade em acidentes de trânsito em 100 mil habitantes na cidade de São Paulo foi 9,89 em 2014 e 7,85 em 2015.

¹Estimativa da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2015 obtida na pesquisa MUNIC.

4.2 Construção da Base de Dados

A partir das informações retiradas das bases secundárias apresentadas na Subseção 4.1, foram construídas três bases de dados que são o objeto de análise para o presente estudo. As duas primeiras bases de dados a serem descritas compilam informações nas quais as observações são as rotas do MSVP. Para a terceira base de dados, as unidades de observação são vias individuais da cidade de São Paulo.

Foram selecionadas para análise as 16 rotas pesquisadas consecutivamente nos anos de 2014 e 2015. O Apêndice A apresenta a localização e a indicação das vias que compõem essas 16 rotas. Como as informações de volume e velocidade são auferidas em dois sentidos distintos para cada rota, com exceção à rota 06G que possui sentido único, a seleção final resultou em 31 rotas.

Comparando as datas de implementação da nova velocidade máxima de circulação e as datas em que foi realizada a pesquisa do MSVP 2015 para cada rota, foi identificado que três rotas (02G, 29G e 26G) foram pesquisadas em dias após o início da intervenção. Portanto, essas três rotas em seus dois sentidos de circulação foram selecionadas para compor o grupo de tratamento. As demais 25 rotas compõem o grupo de controle.

A atribuição de acidentes para as rotas demandou um trabalho mais minucioso. Primeiro, foram determinadas as relações entre rotas e suas respectivas composição de vias². Nessa etapa, foram identificados 3726 acidentes ocorridos em 2014 nas vias das 31 rotas selecionadas e 2536 acidentes ocorridos em 2015.³ Em seguida, para a atribuição do sentido da rota em que acidente ocorreu, foram utilizadas a informação de numeração mais próxima e a aplicação Google Street View do Google Maps, para identificar a relação de numeração em cada via e o sentido da rota. Além disso, para cada rota foram somados os número de acidentes, feridos e fatalidades ocorridos apenas nos horários da pesquisa do MSVP.

Por fim, foram criados dois grupos de variáveis de acidentes, feridos e fatalidades. Na primeira base de dados, a contagem em cada rota é feita apenas para acidentes que ocorreram nos dias específicos da pesquisa do MSVP para aquela rota. Na segunda base de dados, a contagem é feita para todos os acidentes ocorridos nos anos de 2014 e 2015. Para o segundo painel, a data de corte entre observações pré e pós-intervenção foi dada pelo dia da implementação da nova velocidade máxima nas vias de tratamento e pelo dia 20 de julho de 2015 para as demais. Por conta dessa diferença, toda análise feita com esse grupo de observações foi controlada pelo número de dias que compõe cada corte. A Tabela 4.1 apresenta as estatísticas descritivas dos dois painéis aqui descritos.

A terceira base de dados contém todos os acidentes ocorridos entre janeiro de 2013 e abril de 2016. Nesse intervalo de tempo, 11908 vias distintas tiveram algum acidente registrado. A lista de cadastro de logradouros da CET-SP possui aproximadamente 42 mil registros. Ou seja, quase 30% das vias de São Paulo tiveram algum acidente registrado nesses 40 meses. Qualquer análise

²Existem, ainda que em número pequeno, vias que estão presentes em duas rotas ou mais do MSVP. Todos os casos foram analisados individualmente. Atribuiu-se a via para a rota que contém extensão predominante da via em questão.

³Para os acidentes ocorridos em cruzamentos, são atribuídos dois logradouros para identificar a localização. Como este trabalho busca avaliar efeitos por via/rota, a contagem de acidentes foi feita de forma que os acidentes em cruzamentos fossem atribuídos a ambas as vias.

que envolva a extensão das vias e velocidade média não pode ser realizada nesse caso. Aqui, o grupo das vias tratadas é composto pelas 231 vias em que foi identificada a implementação de novos limites de velocidade e, ainda, os acidentes foram classificados entre manhã, tarde e madrugada de acordo com o horário ocorrido ⁴. Acidentes ocorridos entre 6h e 14h receberam a classificação manhã, aqueles ocorridos entre 14h e 22h foram atribuídos à tarde e, por fim, acidentes entre 22h e 6h foram atribuídos à madrugada.

Tabela 4.1: Estatística Descritiva de observações por rota nos anos de 2014 e 2015

Variáveis	Obs	Média	D. Padrão	Mínimo	Máximo
Extensão da Rota	124	8384.516	2862.159	2715	14000
Volume	124	11774.95	6930.385	1103	31585
Velocidade Média	124	23.68065	11.11991	7.8	51.6
Contagem apenas nos dias pesquisados					
Acidente	124	0.701613	1.081852	0	6
Feridos	124	0.733871	1.183277	0	7
Fatalidades	124	0.008065	0.089803	0	1
Contagem em todo o ano					
Acidente	124	55.52419	37.09852	4	169
Feridos	124	63.87097	44.8049	4	241
Fatalidades	124	1.983871	2.052101	0	9

As Tabelas 4.2 e 4.3 apresentam as estatísticas descritivas mensais de acidentes nas vias em que ocorreram pelo menos um acidente entre janeiro de 2013 e abril de 2016 por grupo de controle e tratamento e por turno, respectivamente. Um número que chama atenção aqui é a média de fatalidades no período da madrugada. Embora a média de acidentes e feridos nesse período seja bem inferior quando comparadas à média nos períodos da manhã e da tarde, a média de fatalidades é mais alta na madrugada. Uma possível interpretação desse resultado é que os acidentes ocorridos nesse período sejam mais graves e, portanto, implicam em maior número de fatalidades.

⁴Não foi possível confirmar se o horário lançado na base faz referência ao horário de ocorrência do acidente ou ao horário de registro do mesmo. É feita a hipótese de que o horário declarado é o horário de ocorrência do acidente.

Tabela 4.2: Estatística Descritiva de observações mensais para vias com acidentes entre 2013 e 2016

Variáveis	Obs	Média	D. Padrão	Mínimo	Máximo
Vias de Controle					
Acidente	1,401,240	0.045554	0.277039	0	19
Feridos	1,401,240	0.052874	0.352695	0	29
Fatalidades	1,401,240	0.001991	0.04903	0	6
Vias de Tratamento					
Acidente	27,720	0.910209	1.689565	0	21
Feridos	27,720	1.07233	2.131064	0	60
Fatalidades	27,720	0.043074	0.230175	0	3

Tabela 4.3: Estatística Descritiva de observações mensais por turno para vias com acidentes entre 2013 e 2016

Variáveis	Obs	Média	D. Padrão	Mínimo	Máximo
Manhã					
Acidente	476,320	0.075036	0.440615	0	21
Feridos	476,320	0.085951	0.545047	0	60
Fatalidades	476,320	0.002419	0.053927	0	5
Tarde					
Acidente	476,320	0.077093	0.419538	0	21
Feridos	476,320	0.088264	0.516127	0	28
Fatalidades	476,320	0.002969	0.059843	0	5
Madrugada					
Acidente	476,320	0.034853	0.251568	0	10
Feridos	476,320	0.043735	0.353295	0	18
Fatalidades	476,320	0.002977	0.061333	0	6

Capítulo 5

Avaliação de Impacto do Limite de Velocidade em Acidentes e Fatalidades

5.1 Estratégia Empírica

Um experimento ideal para avaliar o efeito causado pela utilização de diferentes limites máximos de velocidade deveria levar em consideração um conjunto de vias com características idênticas (limite de velocidade, volume de circulação de veículos, número de pistas, número de radares, condições climáticas, etc.) e, em seguida, atribuir aleatoriamente variações nos limites de velocidade de algumas vias. Dessa forma, variações na incidência de acidentes e na incidência de fatalidades poderiam ser atribuídas exclusivamente à mudança na regra do limite de velocidade. Considerando que os formuladores de políticas públicas determinam endogenamente esse tipo de alteração, é necessário identificar experimentos naturais (ou quasi-experimentos) que nos permitam estimar os efeitos de tais políticas.

Como parte de uma das medidas do PPV, a partir de junho de 2015 diversas vias na cidade de São Paulo tiveram novas velocidades máximas regulamentadas. Considerando que não são os próprios motoristas que definem o limite de velocidade, a redução do limite de velocidade nas Marginais Tietê e Pinheiros pode ser classificada como uma regra exógena e que caracteriza um quasi-experimento.

Para avaliar se a alteração da velocidade máxima das vias possui algum efeito em velocidade e nos números de acidente, feridos e fatalidades, será utilizado o método de DID. Esse é um método não-experimental que consiste na comparação da diferença dos resultados do grupo de tratamento entre os períodos pré e pós intervenção, com a mesma diferença para o grupo de controle e, em seguida, a diferença dessas duas diferenças anteriores é atribuída ao efeito do tratamento. A origem do nome do método é justamente a dupla subtração que é realizada para avaliar o impacto. Portanto, para implementar o método, são necessárias observações para o grupo de tratamento e grupo de controle em, pelo menos, dois períodos no tempo: um anterior ao tratamento e outro posterior. No presente trabalho, o grupo de tratamento será composto pelas rotas e vias que tiveram a velocidade máxima de circulação reduzida.

Para garantir que o grupo de controle represente um contrafactual do grupo de tratamento, o método de DID demanda a hipótese chamada de trajetórias paralelas. Ou seja, é necessário

obter um grupo para o qual a evolução da variável de interesse corresponda à trajetória da mesma variável para o grupo que sofreu a intervenção caso eles não tivessem participado do programa. Essa hipótese pode ser testada por meio de uma verificação indireta da trajetória dos dois grupos utilizando dados anteriores à intervenção. A ideia principal é que se os dois grupos seguem tendências paralelas antes do programa, qualquer variação nessa tendência pode ser atribuída a efeitos da intervenção.

Para identificar o efeito causal da intervenção também é necessária a alocação aleatória de rotas pelos motoristas, ou seja, que os dois grupos sejam afetados de forma homogênea por qualquer tipo de evento que ocorra após o seu início. Essa hipótese significa que os motoristas não devem mudar de rota para realizar um mesmo trajeto após a intervenção. Dessa forma, se a cidade de São Paulo permite trajetos alternativos para os motoristas, existe a possibilidade de obtenção de resultados sobre-estimados. Adicionalmente, a possibilidade de os motoristas aprenderem e se informarem sobre trajetos alternativos que não tiveram limite de velocidade alterado aumenta com o passar do tempo. Uma forma de evitar ou minimizar o efeito da aprendizagem dos motoristas é utilizar um período curto para análise pós-intervenção. Por fim, a terceira hipótese do método de DID é que a composição dos grupos de controle e tratados não se altere significativamente entre os períodos.

A análise de DID é realizada para dois conjuntos de dados distintos. O primeiro conjunto inclui apenas os acidentes ocorridos nas vias que compõem as rotas selecionadas para o MSVP nos anos de 2014 e 2015. Como a periodicidade dos dados é anual, não é possível avaliar a trajetória das variáveis para os dois grupos até o momento da intervenção. Para o segundo conjunto de dados a ser analisados, são considerados dados mensais de todas as vias nas quais ocorreram algum acidente no período compreendido entre janeiro de 2013 e abril de 2016. Nesse caso, portanto, será possível visualizar a trajetória das variáveis analisadas nos vinte meses anteriores à intervenção. As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam a evolução do número de acidentes, feridos e fatalidades entre vias que tiveram alterados os seus limites de velocidade e aquelas que não sofreram a intervenção. Como a mudança de velocidade não ocorreu no mesmo mês para todas as vias, foi utilizada uma contagem de tempo para elaboração dos gráficos que consiste no número de meses que faltavam para a intervenção. É possível notar que nos períodos anteriores à intervenção a trajetória das variáveis possuem tendências paralelas, principalmente para acidentes e feridos.

Figura 5.1: Acidentes de Trânsito- Comparação de Trajetória entre Tratado e Controle

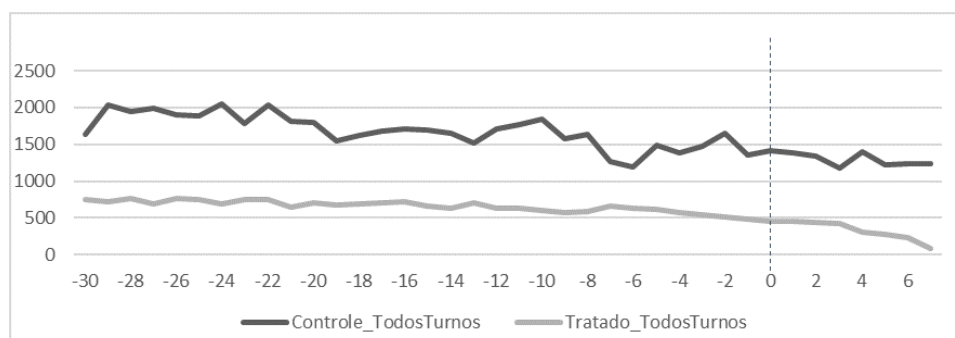


Figura 5.2: Feridos no Trânsito- Comparação de Trajetória entre Tratado e Controle

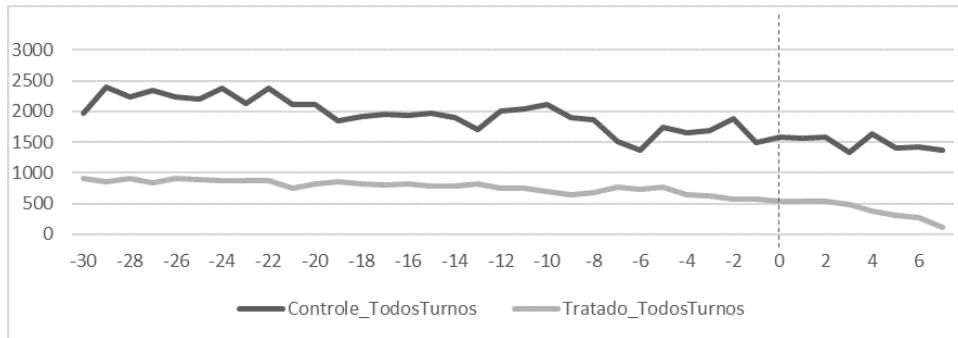
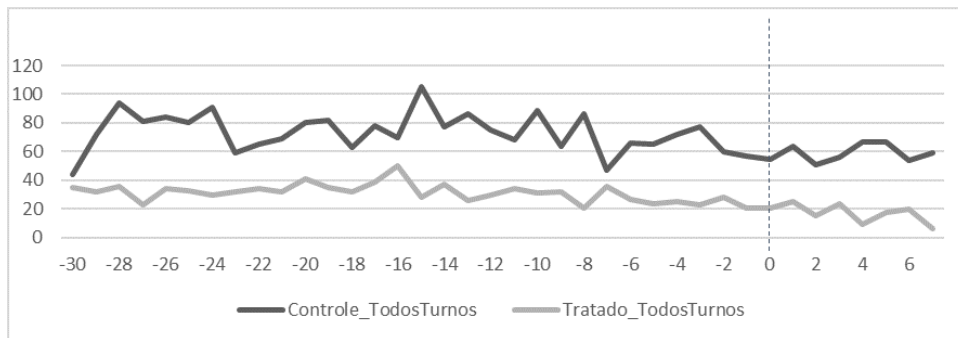


Figura 5.3: Fatalidades no Trânsito- Comparação de Trajetória entre Tratado e Controle



Como a mudança de velocidade não ocorreu no mesmo mês para todas as vias, foi utilizada uma contagem de tempo para elaboração dos gráficos que consiste no número de meses que faltavam para a intervenção. É possível notar que nos períodos anteriores à intervenção a trajetória das variáveis possuem tendências paralelas, principalmente para acidentes e feridos.

A equação de interesse no modelo DID pode ser especificada de forma generalizada pela equação 5.1

$$Y_{srt} = \phi X_{srt} + \lambda_1 tratado_{srt} + \lambda_2 periodo_{srt} + \alpha (tratado_periodo)_{srt} + \xi_{srt} \quad (5.1)$$

em que s indica a rota ou a via, r indica o período da viagem e t faz referência ao ano no caso da análise das rotas do MSVP e ao mês-ano no caso da análise para vias. Além disso, $\xi_{srt} = \xi_{st}^1 + \xi_{st}^2 + \xi_{st}^3 + \xi_{st}^4$ de forma que a especificação permite a avaliação de efeitos fixos. O parâmetro de interesse α representa o impacto da intervenção em relação à variável analisada.

5.2 Resultados

As Tabelas 5.1 e 5.2 apresentam os resultados do modelo DID para o conjunto de dados agrupados por vias e rotas, respectivamente. O resultado obtido para a velocidade é significativo ao nível de 10% e indica que nas vias em que foi implementado limite de velocidade mais baixo, a velocidade média reduziu cerca de 5,3 km/h. Entretanto, todas as estimativas de DID para acidentes,

feridos e fatalidades apresentaram sinal no sentido contrário ao esperado, independente de terem sido considerados apenas os dias pesquisados ou todos os acidentes na rota nos anos de 2014 e 2015. Se apenas os coeficientes estimados para feridos tivessem sido positivos, argumentaria-se que a intervenção teria reduzido a gravidade dos acidentes ocorridos e o aumento no número de feridos poderia ser interpretado como fatalidades que deixaram de ocorrer. Porém, o resultado de fatalidades não é significativo e o resultado de acidentes é significativo, como o de feridos. Ao reportar os coeficientes da variável binária que capta o efeito fixo de tempo *Ano 2015* é possível verificar que grande parte da variação das variáveis dependentes é explicada por ela. O pequeno número de observações e a amostra restrita do grupo de tratamento pode ser justificativa alternativa para os resultados obtidos.

Por outro lado, as estimativas para vias, apresentam todos os coeficientes com sinais esperados e significativos, com exceção de fatalidades no período da manhã. A análise das variáveis entre períodos distintos indica que os impactos da intervenção em acidentes e feridos no período da manhã e da tarde são pelo menos o dobro do impacto na madrugada. Para fatalidades, o impacto em ocorrências na madrugada também é menor quando comparado ao resultado da tarde.

Tabela 5.1: Estimativa DID mensal para vias com acidentes entre 2013 e 2016

Variáveis	(1) Manhã	(2) Tarde	(3) Madrugada	(4) Completo
Acidentes em cruzamentos contabilizados em ambas as vias				
tempo_tratamento	-0.434*** (0.0654)	-0.354*** (0.0506)	-0.174*** (0.0349)	-0.321*** (0.0457)
Constante	0.0700*** (0.00239)	0.0684*** (0.00250)	0.0312*** (0.00159)	0.0290*** (0.00179)
Feridos em acidentes em cruzamentos contabilizados em ambas as vias				
tempo_tratamento	-0.511*** (0.0864)	-0.406*** (0.0641)	-0.219*** (0.0473)	-0.379*** (0.0589)
Constante	0.0817*** (0.00304)	0.0795*** (0.00329)	0.0392*** (0.00230)	0.0379*** (0.00215)
Fatalidades em acidentes em cruzamentos contabilizados em ambas as vias				
tempo_tratamento	-0.0103 (0.00654)	-0.0178*** (0.00505)	-0.0148** (0.00649)	-0.0143*** (0.00387)
Constante	0.00168*** (0.000399)	0.00210*** (0.000435)	0.00361*** (0.000561)	0.00265*** (0.000276)
Observações	476,320	476,320	476,320	1,428,960
Número de vias	11,908	11,908	11,908	11,908
EF Via	SIM	SIM	SIM	SIM
EF Mês-Ano	SIM	SIM	SIM	SIM
EF Turno	NÃO	NÃO	NÃO	SIM

Desvio padrão robusto com *cluster* nas vias em parênteses.

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabela 5.2: Estimativa DID para rotas

Variáveis	Contagem nos dias pesquisados			Contagem das variáveis no ano		
	Velocidade	Acidente	Fatal	Acidente	Feridos	Fatal
tempo_tratamento	-5.339* (2.984)	1.303*** (0.428)	0.0200 (0.0234)	12.23*** (4.442)	17.11*** (5.622)	0.344 (1.452)
VMT	-7.91e-08 (6.37e-08)	-7.96e-09 (4.91e-09)	0 (8.51e-11)	2.48e-08 (1.09e-07)	1.07e-07 (1.53e-07)	-2.44e-09 (6.75e-09)
Ano_2015		-0.552** (0.270)	-0.0200 (0.0235)	-14.56*** (3.009)	-18.36*** (4.422)	-0.178 (0.257)
Constante	19.46*** (3.452)	1.232*** (0.304)	0.250*** (0.00467)	64.98*** (6.711)	70.08*** (8.497)	1.815*** (0.406)
Observações	124	124	124	124	124	124
R-2	0.667	0.415	0.262	0.918	0.901	0.524
EF Rota	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
EF Ano	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
EF Turno	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

Desvio padrão robusto com *cluster* nas rotas em parênteses.

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Capítulo 6

VSL

6.1 Modelo Teórico

6.1.1 O Modelo Padrão de VSL

Drèze (1962) [9] e Jones-Lee (1974) [13] introduziram um modelo que tem sido comumente utilizado em estudos de VSL. No modelo de um único período, o indivíduo com nível de riqueza w maximiza sua utilidade esperada entre dois estados distintos a qual é dada por

$$V \equiv pu(w) + (1 - p)v(w) \quad (6.1)$$

em que p é a probabilidade de mortalidade no período, $u(w)$ é a utilidade da riqueza w caso o indivíduo sobreviva nesse período e $v(w)$ é a utilidade da riqueza w deixada para seus dependentes em caso de morte. São válidas as hipóteses padrão que as funções u e v são diferenciáveis de segunda ordem, $u > v$, $u' > v' > 0$, $u'' \leq 0$ e $v'' \leq 0$. Ou seja, para qualquer nível de riqueza, a utilidade e a utilidade marginal são maiores quando o indivíduo sobrevive ao período e ele é avesso ao risco. Sob tais hipóteses, as curvas de indiferença são decrescentes e estritamente convexas.

Assume-se também que se for oferecida a possibilidade de reduzir o risco de morte no período atual, o indivíduo enfrenta um trade-off entre risco e riqueza e estaria disposto a abrir mão de uma determinada quantia para reduzir a probabilidade de não sobreviver. A disposição a pagar (WTP, do inglês *willingness to pay*) por uma redução de $\Delta p \equiv \varepsilon$ no risco de mortalidade, denotada por $C(\varepsilon)$, é definida implicitamente em

$$(p + \varepsilon)u(w - C(\varepsilon)) + (1 - p - \varepsilon)v(w - C(\varepsilon)) = V \quad (6.2)$$

Analogamente, a disposição a aceitar (WTA, do inglês *willingness to accept*) um aumento de $\Delta p \equiv \varepsilon$ no risco de mortalidade é denotada por $P(\varepsilon)$ e dada pela seguinte expressão

$$(p - \varepsilon)u(w + P(\varepsilon)) + (1 - p + \varepsilon)v(w + P(\varepsilon)) = V \quad (6.3)$$

Ou seja, a WTA é o valor adicionado ao nível de riqueza inicial que deixa o indivíduo indiferente entre o risco de morte de inicial e o risco final mais alto.

Conforme explicitado no início dessa seção, o VSL não mensura o valor que o indivíduo está disposto a pagar para evitar com certeza uma fatalidade ou a aceitá-la de forma garantida. O VSL representa a WTP ou a WTA calculados para uma variação infinitesimal no risco e que pode ser obtido através do limite da WTP e da WTA quando $\varepsilon \cong 0$. No limite as duas medidas são iguais. Isto é, o VSL é a taxa marginal de substituição entre a riqueza e o risco de mortalidade enfrentado pelo indivíduo. Em outras palavras, o VSL é dado pelo valor negativo da inclinação da curva de indiferença em (w,p) . A partir da diferenciação de 6.1 quando a utilidade esperada se mantém constante, o VSL é definido como

$$VSL \equiv -\frac{dw}{dp} = \frac{u(w) - v(w)}{pu'(w) + (1-p)v'(w)} = \frac{WTP}{\Delta p} \quad (6.4)$$

Pelas hipóteses do modelo, é possível concluir que o VSL será estritamente positivo e sempre crescente tanto para o nível de riqueza, quanto para o risco de mortalidade. Ou seja, quanto maior o nível de riqueza do agente ou quanto maior o risco de mortalidade considerado, maior será o VSL.

6.1.2 O Modelo de VSL Aplicado para Escolha de Velocidade Empregada e Limite de Velocidade

O modelo proposto por Ashenfelter e Greenstone (2004b) [4] busca especificar o VSL a partir da decisão do indivíduo de quanto tempo utilizar nas suas viagens e qual o nível de risco de mortalidade está disposto a tolerar através da escolha da velocidade empregada. A abordagem por eles adotada não consideram custos com combustível e outras custos que a mudança de velocidade pode afetar, com base no resultado de Ghosh, Lees e Seal (1975) [10] que afirma que custos incrementais são pequenos quando comparados com o custo do tempo de viagem. Apesar disso, van Benthem (2015) [17] defende que os custos incrementais são pequenos quando analisados sob uma perspectiva privada, embora possam ser bastante significativos se analisado sob uma perspectiva de custos sociais, como o efeito da emissão de gases na saúde de adultos e de recém-nascidos e o custo social de acidentes de trânsito, sejam eles fatais ou não-fatais. Como será considerada a velocidade média empregada por motoristas, a análise seguirá utilizando apenas o custo do tempo de viagem.

Com vistas a monetizar o valor do benefício do tempo de viagem, seja h as horas gastas para percorrer um trecho de m quilômetros. Então, $h/m = 1/s$ representa a média de horas gastas para percorrer m quilômetros e, também, o inverso da velocidade média empregada. Assumindo que w é o custo de uma hora de viagem, o custo médio do tempo de viagem de um quilômetro é dado por

$$c = w \cdot \frac{h}{m} \quad (6.5)$$

Como os indivíduos não optariam pelo deslocamento no caso em que o valor de um quilômetro percorrido fosse menor que o custo c , esse também pode ser interpretado como o limite inferior para uma medida de valor do tempo de um quilômetro percorrido.

O problema da estimativa do valor do tempo é muito específico ao contexto analisado. A par-

tir de uma pesquisa realizada com residentes de Chicago, Horowitz (1978) [12] identifica grande variabilidade no valor do tempo de viagem declarado pelos indivíduos devida às características de cada viagem. Já citado anteriormente, o trabalho de Brito e Strambi (2007) [7] também evidenciam variabilidade no valor do tempo de viagem para motoristas do estado de São Paulo. A Comissão Européia, em um manual de análise de custo-benefício para projetos de investimentos (Sartori, 2014) [15], apresenta uma abordagem que estima o valor do tempo de viagem de forma distinta para para trabalho e não-trabalho. O tempo de viagem de trabalho está relacionado ao tempo daqueles indivíduos que estão viajando à trabalho, que estão empregados no setor de logística e transporte de passageiros e o valor do tempo de viagem trabalho é calculado como o salário/hora. Viagens feitas a lazer, por motivos pessoais e o tempo gasto em deslocamento entre residência e local de trabalho são avaliados como tempo de viagem não-trabalho. Nesta concepção, o valor do tempo não-trabalho reflete a diferença entre utilidade marginal do tempo gasto em viagem em relação ao tempo destinado à lazer. Na ausência de informações para realizar uma estimativa apropriada através de MVC ou de preferência revelada, o trabalho da Comissão Européia sugere, baseado na experiência de países e órgãos específicos (HEATCO, Reino Unido e Malta), que o valor do tempo não-trabalho corresponde entre 25% e 40% do valor do tempo trabalho. Ashenfelter e Greenstone (2004b) [4] defendem que qualquer medida de custo do tempo de um indivíduo está diretamente relacionada ao seu salário e, portanto, essa é a medida que eles utilizam.

A escolha de velocidade representa o *trade-off* entre a intenção do indivíduo de reduzir seus custos de viagem ao mesmo tempo que busca minimizar a probabilidade de ocorrência de uma fatalidade. Considerando esses dois vetores, o custo total da viagem é dado por

$$g = g \left(c, f \left(\frac{c}{w} \right) \right) \quad (6.6)$$

em que $f = F/m$ é o número de fatalidades por quilômetro e a função $f \left(\frac{c}{w} \right) = f \left(\frac{h}{m} \right) = f \left(\frac{1}{s} \right)$, onde $f' < 0$ determina como fatalidades aumentam com a velocidade. Além disso, o custo total da viagem é crescente em seus dois argumentos, o custo médio do tempo de viagem de um quilômetro e fatalidades. Ou seja, são válidas as hipóteses que as derivadas parciais da função g em relação às suas duas variáveis são positivas, $g_1 > 0$ e $g_2 > 0$. O efeito da redução no tempo de viagem nos custos totais por quilômetro de viagem é dado por

$$\frac{dg}{d(h/m)} = g_1 w + g_2 f' \quad (6.7)$$

A partir dessa relação, verifica-se que um aumento marginal de velocidade ds , o qual gera uma redução dh no tempo de viagem e um aumento df de fatalidade, será desejável quando $-g_1 w dh > g_2 df$. Essa condição é satisfeita quando

$$-w \left(\frac{dh}{df} \right) > \frac{g_2}{g_1} \quad (6.8)$$

Dessa forma, a velocidade que otimiza o tempo total de viagem e custos totais com acidentes,

deve satisfazer

$$V \equiv -\frac{w}{f'} = \frac{g_2}{g_1} \equiv VSL \quad (6.9)$$

Analogamente ao modelo clássico de VSL apresentado na seção anterior, quando a equação 6.9 for satisfeita, o valor do tempo economizado com viagem por fatalidade marginal V será igual à taxa marginal de substituição entre os custos de viagem e fatalidades, o VSL.

Se existir um limite de velocidade L em vigor, a especificação mais apropriada para os custos totais de viagem representados pela equação 6.6 passa a ser

$$g = g\left(c(L), f\left(\frac{c}{w}, L\right)\right) \quad (6.10)$$

em que o custo total de viagem dependerá do efeito que o limite de velocidade tem sobre o custo médio do tempo de viagem de um quilômetro e sobre o risco de ocorrência de fatalidades. Nessa situação, o limite de velocidade ótimo equilibra a redução no custo médio de um quilômetro percorrido em relação ao aumento no risco de fatalidade e é satisfeito quando

$$V \equiv -\frac{w}{df/dL} = \frac{g_2}{g_1} \equiv VSL \quad (6.11)$$

Segundo Ashenfelter e Greenstone (2004b) [4], como a escolha do limite de velocidade é feita por um órgão da administração do governo, uma análise de VSL empregando esses limites de velocidade apresenta resultados que representam a realidade dos indivíduos cujas opiniões são representadas pela escolha do limite de velocidade no processo político. No caso de uma redução da velocidade máxima de circulação que não reflete o desejo dos motoristas, um aumento no número de infrações por alta velocidade poderia ser interpretado como uma atitude de protestos dos indivíduos que não acreditam que o limite de velocidade implementado seja ótimo.

6.2 Estratégia Empírica e Resultados

Na Seção 6.1 o VSL foi definido como a taxa marginal de substituição entre risco e riqueza. Portanto, para estimar o VSL, inicialmente é necessário modelar a escolha feita pelos indivíduos através da estimação da elasticidade entre o benefício (ou custo) da variação do tempo de viagem e o risco de mortalidade incorrido. O modelo de interesse é dado por

$$\ln(\text{tempoviagem})_{srt} = \beta \ln(VMT)_{srt} + \theta \ln(\text{fatalidades})_{srt} + v_{srt} \quad (6.12)$$

em que s indica a rota, r indica o período da viagem e t faz referência ao ano. Além disso, $v_{srt} = v_{st}^1 + v_{st}^2 + v_{rt}^3 + v_{srt}^4$ de forma que a especificação permite a inclusão de efeitos fixos. A variável VMT (do inglês *vehicle miles traveled*) é uma estatística utilizada com o objetivo de controlar as estimativas em relação à quilometragem de rodagem nas rotas analisadas. Desse modo, o parâmetro de interesse θ representa a elasticidade do tempo de viagem em relação às fatalidades, com a quilometragem de circulação na rota mantida constante.

A Tabela 6.1 reporta a estimativa do modelo de MQO. Além do modelo que emprega fatalidades como variável explicativa, também foram rodadas as versões com as variáveis de acidentes

e feridos. As três primeiras colunas apresentam resultados para as informações de acidentes apenas nos dias específicos de pesquisa para cada rota, enquanto nas três últimas colunas são reportados acidentes ocorridos durante todo o ano. Foram adotados erros padrões agrupados no nível de rota com o objetivo de evitar heterocedasticidade e correlação serial intra-grupo.

Os coeficientes obtidos pela estimação de MQO, tanto em nível quanto com a transformação logarítmica, não foram significativos, com exceção da variável fatalidade. Além disso, a magnitude dos resultados não indicam que exista correlação entre velocidade e incidência de fatalidades. Resultado semelhante é obtido por Ashenfelter e Greenstone (2004b) [4]. Eles argumentam que esse resultado não deveria ser inesperado pois motoristas ajustam a velocidade de acordo com as condições de segurança de uma via em determinado momento para evitar acidentes. Segurança é o principal motivo de uma redução na velocidade quando ocorre uma forte chuva ou quando trafega-se por uma via com muitos buracos.

Tabela 6.1: Estimação MQO com dias pesquisados no MSVP

Variáveis	(1) tempoviagem com transformação ln	(2) tempoviagem com transformação ln	(3) tempoviagem com transformação ln	(4) tempoviagem em nível	(5) tempoviagem em nível	(6) tempoviagem em nível
VMT	1.09e-08*** (2.72e-09)	1.09e-08*** (2.71e-09)	1.06e-08*** (2.83e-09)	0.0647*** (0.0206)	0.0653*** (0.0204)	0.0627*** (0.0218)
lnAcidentes	0.00977 (0.00731)					
Acidentes				2.091e+09 (2.011e+09)		
lnFeridos		0.00979 (0.00733)				
Feridos					2.399e+09 (2.058e+09)	
lnFatalidades			0.0311*** (0.00919)			
Fatalidades						7.565e+09* (4.036e+09)
Constant	14.74*** (0.220)	14.75*** (0.221)	15.11*** (0.191)	304,093 (1.124e+06)	322,851 (1.136e+06)	345,565 (1.261e+06)
Observations	124	124	124	124	124	124
R-squared	0.878	0.878	0.876	0.740	0.742	0.737
EF Rota	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
EF Ano	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
EF Turno	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

Robust standard errors in parentheses Desvio padrão robusto com *cluster* nas vias em parênteses.

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Para contornar esse problema, uma estratégia utilizando variável instrumental pode ser utilizada nesse caso. Isto é, pode ser utilizada como variável explicativa do modelo uma variável que

está correlacionada com a velocidade empregada pelos motoristas, mas que não esteja correlacionada com os acidentes, a não ser por meio da velocidade. O instrumento que será testado é a ocorrência de redução na velocidade máxima de circulação permitida. Um limite de velocidade mais baixo não é capaz de afetar por si só o número de fatalidades em acidentes de trânsito. Tal variação ocorrerá apenas se os motoristas decidirem reduzir a velocidade de circulação. Dessa forma, a elasticidade entre tempo de viagem e fatalidades pode ser estimada pelo modelo IV usando regressão em dois estágios através das duas equações a seguir:

$$\ln(fatalidades)_{srt} = \lambda_F \ln(VMT)_{srt} + \Pi_F(intervencaoemvigor)_{srt} + v_{srt} \quad (6.13)$$

$$\ln(tempoviagem)_{srt} = \lambda_H \ln(VMT)_{srt} + \Pi_H(intervencaoemvigor)_{srt} + v'_{srt} \quad (6.14)$$

em que a variável *intervencaoemvigor* indica se a redução na velocidade máxima para a observação estava em vigor. O estimador de variáveis instrumentais de interesse é dado por $\theta_{IV} = \Pi_H/\Pi_F$.

O modelo de IV demanda duas hipóteses para garantir a consistência do estimador θ_{IV} . A primeira hipótese é que Π_F não seja nulo. Nesse caso, a análise DID realizada na seção anterior garante a validade da condição. A segunda hipótese, entretanto, não é testável e exige que $E[(intervencao_em_vigor)_{srt} v_{srt}] = 0$. Ou seja, a decisão de alterar a velocidade máxima de uma via não deve ser correlacionada com as características não observáveis que determinam a velocidade efetiva empregada pelos motoristas.

A Tabela 6.2 apresenta os resultados do segundo estágio da estimação de IV pela equação 6.14 para as variáveis explicativas acidentes, feridos e mortalidade. Assim, como no modelo MQO, visando evitar heterocedasticidade e correlação serial intra-grupo é feito o cálculo com erros padrões agrupados no nível de rotas. É possível verificar, através dos testes Cragg-Donald e do Kleibergen-Paap para o primeiro estágio, que em todos os modelos propostos a variável que indica se a intervenção está em vigor verifica-se um instrumento fraco. Embora alguns coeficientes no segundo estágio sejam significativos, como o instrumento utilizado era fraco e foi excluído da estimação, os valores obtidos não são válidos. Também foram estimados os coeficientes para essas mesmas variáveis em nível e, no geral, o resultado de exclusão do instrumento proposto se manteve. Os resultados são apresentados no Apêndice na Tabela B.4.

O resultado nulo obtido pode ser resultado do pequeno número de observações utilizadas. Além disso, também há o fato que o dado de velocidade utilizado é retirado de uma pesquisa realizada em apenas dois dias em cada ano e, portanto, pode não representar bem a média de velocidade.

Uma alternativa considerada para melhorar a periodicidade dos dados de velocidade foi a utilização de dados de velocidade média dos ônibus que circulam pelas linhas municipais como proxy para a medida de velocidade média de circulação nas vias. Como a informação de velocidade nesse caso é auferida através de GPS instalados nos ônibus, existe aqui a possibilidade de trabalhar com observações mais frequentes. Dois pedidos de informação foram feitos à SPTRANS com o objetivo de obter informações sobre a velocidade de ônibus. Embora as informações recebidas possuam informações em periodicidade mensal e diária, elas compreendiam mensuração da

velocidade média de circulação apenas nas vias que possuem corredores exclusivos para a circulação de ônibus. Tal característica poderia gerar resultados viesados por conta de uma média de velocidade nas vias mais elevada que a real. Outro problema enfrentado foi a falta de descrição que possibilitasse relacionar as vias que compunham cada trecho do corredor. As informações disponíveis não foram suficientes para realizar trabalho de compatibilização análogo ao que foi feito entre as vias e as rotas do MSVP.

Adicionalmente, também poderia ser feita uma tentativa de ampliar o número de observações através da inclusão de dados do MSVP de anos anteriores e de todas as rotas pesquisadas. Nesse caso, a análise seria realizada para um painel não-balanceado, porém o número de observações seria maior. Por outro lado, o dado de velocidade continuaria sendo retirado de uma pesquisa com observações pontuais em dias específicos de cada ano.

Tabela 6.2: Estimação IV para grupos distintos de variáveis

Variáveis	Dados durante todo o ano					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Acidentes com números e em cruzamentos						
Acidentes		0.790*** (0.279)				
Feridos				0.868** (0.396)		
Fatalidades						0.0537 (0.0383)
Acidentes com número, com rerência e em cruzamentos						
Acidentes	0.942** (0.383)					
Feridos			0.825** (0.330)			
Fatalidades					0.0809 (0.0943)	
VMT	1.03e-08*** (2.89e-09)	1.03e-08*** (2.84e-09)	9.64e-09*** (2.98e-09)	9.68e-09*** (3.06e-09)	1.13e-08*** (2.94e-09)	1.10e-08*** (2.65e-09)
Constante	18.93*** (1.841)	18.30*** (1.399)	18.32*** (1.570)	18.59*** (1.907)	15.36*** (0.881)	15.17*** (0.437)
Observations	124	124	124	124	124	124
R-squared	0.854	0.854	0.850	0.818	0.776	0.826
EF Rota	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
EF Ano	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
EF Turno	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

Desvio padrão robusto com *cluster* nas vias em parênteses.

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

6.3 Estimativa do VSL

Ashenfelter e Greenstone (2004b) [4] avaliam uma intervenção onde ocorreu aumento na velocidade máxima de circulação para calcular o VSL e, portanto, o valor obtido através da elasticidade estimada é interpretado como o benefício incorrido pelo ganho de tempo da viagem. O valor pode ser visto como um limite superior para a disposição a aceitar (WTA) do indivíduo. Por raciocínio análogo, no caso de uma intervenção que envolva a redução nos limites de velocidade, o valor obtido pode ser interpretado como o limite inferior da disposição a pagar (WTP) pela redução no risco de mortalidade e definido por

$$V^* = \theta_{IV} \cdot \frac{\text{tempo_viagem}}{\text{fatalidades}} \cdot w \quad (6.15)$$

O VSL pode ser calculado por

$$VSL = \frac{V^*}{\Delta p} \quad (6.16)$$

em que Δp é a redução de risco de mortalidade causada pela intervenção. Utilizando as elasticidades estimadas pelo modelo IV, o VSL pode ser calculado a partir do salário médio na cidade de São Paulo em 2015, das informações de fatalidade e do tempo de viagem considerados na estimação da elasticidade. Substituindo os valores obtidos nas expressões 6.15 e 6.16, foram obtidas as seguintes estimativas de V^* e do VSL, apresentadas na Tabela 6.3.

Tabela 6.3: Estimativas de V^* e do VSL

Elasticidade	V^*	VSL
0.0809	R\$ 2,514,318.87	R\$ 14,652,207.87
0.0537	R\$ 2,871,078.87	R\$ 16,731,228.84
1.093	R\$ 8,356,568,507.09	R\$ 48,697,951,673.00

As elasticidade na Tabela 6.3 são as estimativas das colunas 5 e 6, respectivamente, da Tabela 6.2 e o resultado da coluna 6 da Tabela B.4 presente no Apêndice. Embora as duas primeiras estimativas sejam valores de magnitude similar à VSL encontrados em outros trabalhos os resultados estimados não são válidos, já que foi o utilizado o resultado do coeficiente θ_{IV} no cálculo. O terceiro VSL calculado, por exemplo, apresenta uma grande disparidade em relação aos valores que já foram estimados na literatura tanto internacional como para o Brasil.

Capítulo 7

Considerações Finais

A tomada de decisão em relação a políticas públicas pode ser enormemente beneficiada pela inclusão de análises de custo-benefício (CBA) das políticas propostas. Em muitos casos, uma das etapas mais complexas a CBA é a transformação do benefício almejado em valores monetários. Políticas públicas propostas em diversos setores, como segurança, mobilidade urbana e saúde, podem utilizar-se do cálculo do VSL para realizar a monetização do seu benefício.

Utilizando a nova regra de velocidade máxima imposta pelo PPV para um grupo de vias de São Paulo, este trabalho estimou o efeito da alteração no limite de velocidade de uma via na velocidade média dos motoristas, no número de acidentes de trânsito e no número de feridos e fatalidades causados nesses. Adicionalmente, buscou-se estimar a elasticidade entre o custo da variação do tempo de viagem e o risco de mortalidade incorridos pela intervenção e o VSL.

Em geral, os resultados mostraram que a implementação de velocidades máximas reduzidas para as vias, reduziu a velocidade média dos motoristas e também reduziu o número de acidentes, feridos e mortos. Entretanto, a tentativa de estimar o VSL não foi bem sucedida pois, como a elasticidade estimada não é válida em função da limitação de dados, o valor calculado não é significativo como VSL para a cidade de São Paulo. Alternativas propostas para superar este problema envolvem a ampliação da base de dados através de inclusão de informações de pesquisas anteriores, assim como a utilização de informações de velocidade média dos ônibus. Melhores estimativas também podem ser obtidas a partir da inclusão de informações sobre autuações, disponíveis no Painel de Mobilidade Segura da CET-SP.

Por fim, é importante destacar que no início do novo governo da prefeitura de São Paulo, as velocidades máximas de circulação nas Marginais Pinheiros e Tietê foram reestabelecidas para os níveis anteriores à intervenção ocorrida em julho de 2015. Essa nova intervenção, apresenta a possibilidade de replicar e atualizar este estudo e avaliar se haverá impacto no sentido contrário com o reestabelecimento de novos limites de velocidades nas Marginais Pinheiro e Tietê a partir de janeiro de 2017.

Referências Bibliográficas

- [1] H. Andersson and N. Treich. The value of a statistical life. *Handbook in Transport Economics*, pages 396–424, 2011.
- [2] O. Ashenfelter. Measuring the value of a statistical life: Problems and prospects. *The Economic Journal*, 116(March):C10–C23, 2006.
- [3] O. Ashenfelter and M. Greenstone. Estimating the value of a statistical life: The importance of omitted variables and publication bias. *American Economic Review*, 94(2):454–460, 2004a.
- [4] O. Ashenfelter and M. Greenstone. Using mandated speed limits to measure the value of a statistical life. *Journal of Political Economy*, 112(1):226–267, 2004b.
- [5] D. A. Black and T. J. Kniesner. On the measurement of job risk in hedonic wage models. *Center for Policy Research*, Paper 181, 2003.
- [6] Giovanni Bottesini and Christine Tessele Nodari. Influencia de medidas de segurança de trânsito no comportamento dos motoristas. *Transportes*, 19(1):77–86, 2011.
- [7] Andre Nozawa Brito and Orlando Strambi. Análise de características relacionadas a variação do valor do tempo de viagem de motoristas usando técnicas de preferência declarada. *Transportes*, 15(1):50–57, 2007.
- [8] CET-SP. <http://www.cetsp.com.br/consultas/programa-de-protecao-a-vida-ppv.aspx>. *Último acesso em 20 de fevereiro de 2017*.
- [9] J. H. Dreze. L utilite sociale d une vie humaine. *Revue Francaise de Reserche Operationnelle*, 6:93–118, 1962.
- [10] Dennis Lee Ghosh, Debapriya and William Seal. Optimal motorway speed and some valuations of time and life. *Manchester School Econ. and Social Studies*, 43:134–43, June 1975.
- [11] J. Hersch. Compensating differentials for gender-specific job injury risks. *American Economic Review*, 88:598–627, June 1998.
- [12] Alan J. Horowitz. The subjective value of the time spent in travel. *Transportation Research*, 12(6):385 – 393, 1978.
- [13] M. W. JonesLee. The value of changes in the probability of death or injury. *Journal of Political Economy*, 82(4):835–849, 1974.

- [14] D. Kenkel. Using estimates of the value of a statistical life in evaluating regulatory effects. *Cornell University*, 2000.
- [15] Davide Sartori. *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects - Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*, 2014.
- [16] Tanara Rosangela Vieira Sousa. *Ensaio em economia da saude: o risco e o valor de uma vida estatística no caso de acidentes de trânsito na cidade de Porto Alegre*. PhD thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- [17] A. van Benthem. What is the optimal speed limit on freeways? *Journal of Public Economics*, 124:44–62, 2015.

Apêndice A

Rotas

Abaixo são apresentadas as localizações das rotas que foram consecutivamente utilizadas na Pesquisa de Monitoração da Mobilidade da CET-SP dos anos de 2014 e 2015.

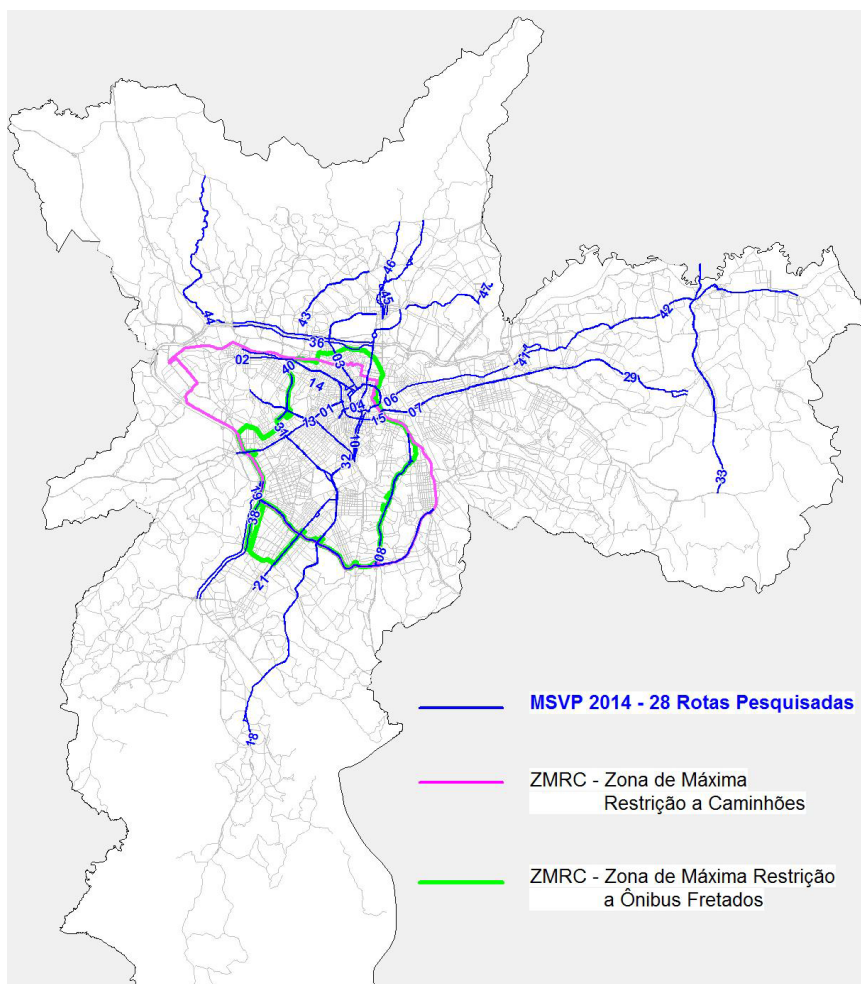


Figura A.1: Vias do MSVP 2014 e Zonas de Máxima Restrição

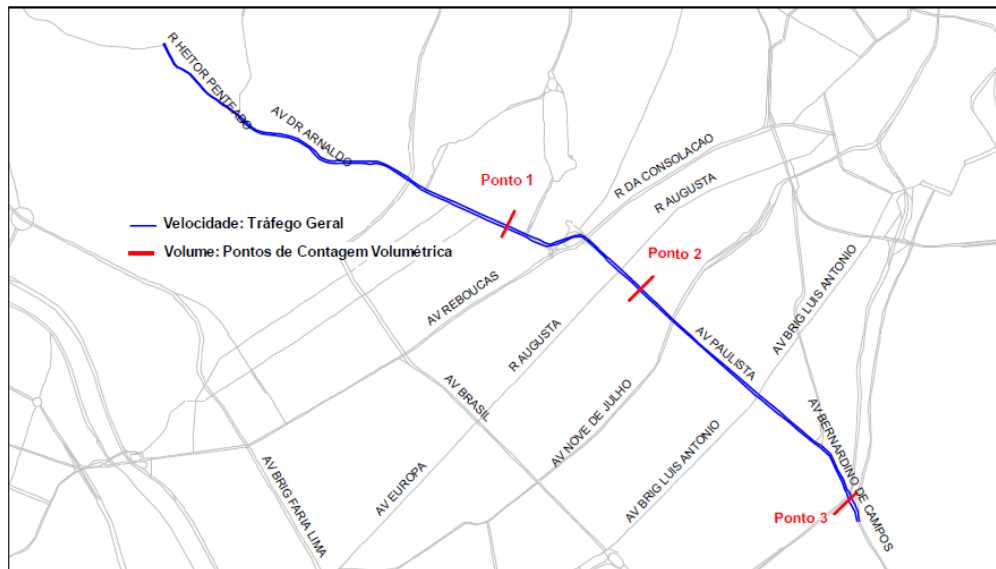


Figura A.8: Rota 13G - Av. Heitor Penteados, Av. Dr. Arnaldo, Av. Paulista, Av. Bernardino de Campos

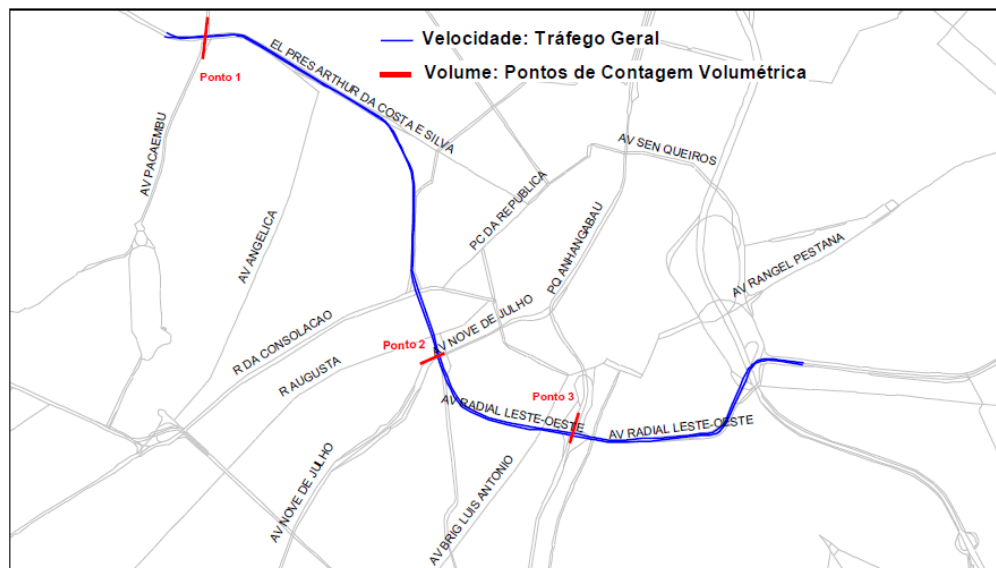


Figura A.9: Rota 14G - Elevado Costa e Silva, Ligação Leste-Oeste

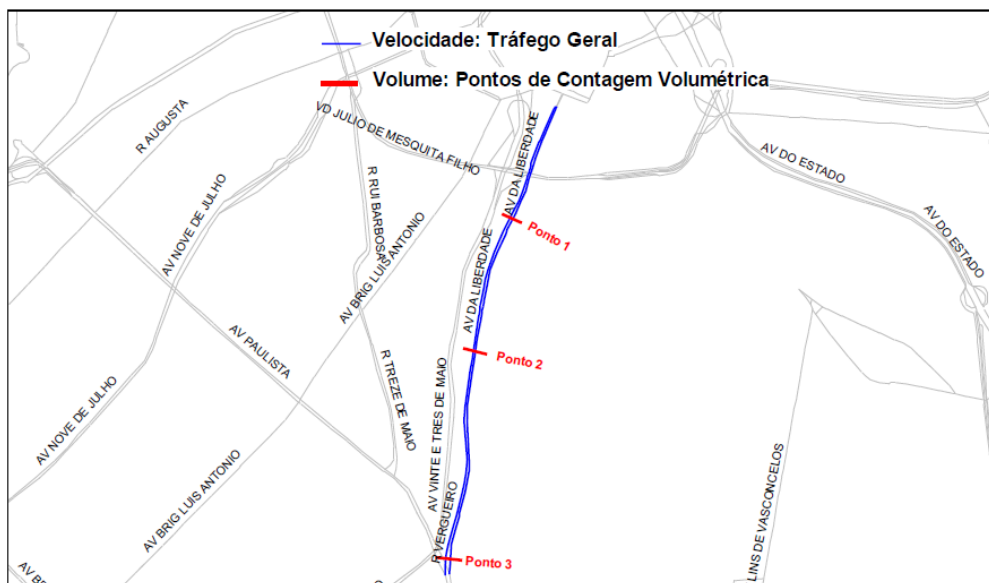


Figura A.14: Rota 32G - R. Vergueiro, Av. Liberdade

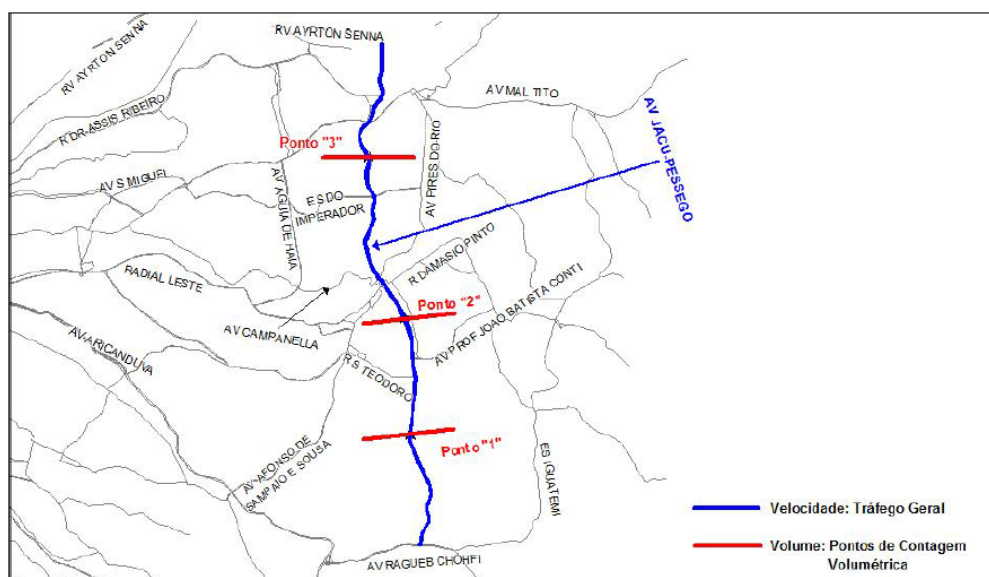


Figura A.15: Rota 33G - Av. Jacu-Pêssego

Apêndice B

Resultados Adicionais

As próximas tabelas apresentam os resultados do modelo DID utilizando a base de dados sem duplicar os dados para os casos de acidentes que ocorreram em um cruzamento de vias. Aqui os acidentes foram alocados para as vias denominadas como vias principais na base de dados fornecida pela CET-SP.

Tabela B.1: Estatística Descritiva para todas as vias com acidentes entre 2013 e 2016

Variáveis	Obs	Média	D. Padrão	Mínimo	Máximo
Vias de Controle					
Acidente	1,401,240	0.037023	0.254103	0	19
Feridos	1,401,240	0.042835	0.32138	0	28
Fatalidades	1,401,240	0.001679	0.045423	0	6
Vias de Tratamento					
Acidente	27,720	0.842929	1.607754	0	21
Feridos	27,720	0.992785	2.033492	0	60
Fatalidades	27,720	0.040801	0.224163	0	3

Tabela B.2: Estatística Descritiva por turno para vias com acidentes entre 2013 e 2016

Variáveis	Obs	Média	D. Padrão	Mínimo	Máximo
Manhã					
Acidente	476,320	0.063397	0.411695	0	20
Feridos	476,320	0.072603	0.508988	0	60
Fatalidades	476,320	0.002129	0.05106	0	5
Tarde					
Acidente	476,320	0.065278	0.391502	0	21
Feridos	476,320	0.074582	0.480152	0	28
Fatalidades	476,320	0.002568	0.055852	0	5
Madrugada					
Acidente	476,320	0.029295	0.232054	0	9
Feridos	476,320	0.036604	0.324734	0	18
Fatalidades	476,320	0.002618	0.057917	0	6

Tabela B.3: DID sem duplicar acidentes que ocorreram em cruzamento

Variáveis	(1) Manhã	(2) Tarde	(3) Madrugada	(4) Completo
Acidentes com casos em cruzamentos apenas na via principal				
tempo_tratamento	-0.396*** (0.0627)	-0.319*** (0.0477)	-0.154*** (0.0301)	-0.290*** (0.0425)
Constante	0.0574*** (0.00219)	0.0570*** (0.00230)	0.0262*** (0.00139)	0.0235*** (0.00167)
Feridos em acidentes com casos em cruzamentos apenas na via principal				
tempo_tratamento	-0.464*** (0.0827)	-0.370*** (0.0609)	-0.200*** (0.0415)	-0.344*** (0.0548)
Constante	0.0663*** (0.00274)	0.0657*** (0.00298)	0.0332*** (0.00206)	0.0304*** (0.00198)
Fatalidades em acidentes com casos em cruzamentos apenas na via principal				
tempo_tratamento	-0.00845 (0.00648)	-0.0176*** (0.00491)	-0.0117* (0.00628)	-0.0126*** (0.00365)
Constante	0.00151*** (0.000381)	0.00193*** (0.000417)	0.00328*** (0.000537)	0.00242*** (0.000263)
Observações	476,320	476,320	476,320	1,428,960
Número de vias	11,908	11,908	11,908	11,908
EF Via	SIM	SIM	SIM	SIM
EF Mês-Ano	SIM	SIM	SIM	SIM
EF Turno	NÃO	NÃO	NÃO	SIM

Desvio padrão robusto com *cluster* nas vias em parênteses.

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Tabela B.4: Estimação do modelo IV para os dias pesquisados do MSVP

Variáveis	Apenas dias pesquisados pelo MSVP					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Acidentes com números e em cruzamentos						
Acidentes		0.0303** (0.0153)				
Feridos				0.0302** (0.0152)		
Fatalidades						1.093 (1.154)
Acidentes com número, com referência e em cruzamentos						
Acidentes	0.0265** (0.0125)					
Feridos			0.0264** (0.0125)			
Fatalidades					1.093 (1.154)	
VMT	1.12e-08*** (2.23e-09)	1.13e-08*** (2.22e-09)	1.12e-08*** (2.23e-09)	1.13e-08*** (2.22e-09)	1.04e-08*** (2.80e-09)	1.04e-08*** (2.80e-09)
Constante	14.98*** (0.237)	15.04*** (0.272)	14.98*** (0.238)	15.04*** (0.273)	32.13* (18.51)	32.13* (18.51)
Observations	124	124	124	124	124	124
R-squared	0.871	0.865	0.871	0.865	0.043	0.043
EF Rota	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
EF Ano	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
EF Turno	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1