

Devagar e sempre: os efeitos da redução no limite de velocidade nos acidentes de São Paulo

Caio Pedro Castro¹, Rodrigo Moita², Bruno Monteiro³, Elisa Santos⁴, Gabriel Santos⁵,
Ingrid Ribeiro⁶

Resumo

O presente estudo busca analisar o impacto de reduções no limite de velocidade máxima realizadas entre 2015 e 2016 em determinadas vias da cidade de São Paulo no número de acidentes, ferimentos e fatalidades ocorridas nelas, através de regressão em painel com efeitos fixos por via e de tempo. Utilizou-se dados da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP). Os resultados encontrados indicam que as intervenções tiveram o efeito desejado, levando à queda do número de acidentes e feridos, embora não tenham ocorrido mudanças estatisticamente significativas no número de mortos. Para validar os resultados, foram realizados testes de placebo, os quais confirmaram que não houve interferência de fatores não-especificados sobre os efeitos da política pública analisada.

Palavras-chave: Trânsito, Acidentes, Dados em Painel, Diferenças-em-Diferenças

JEL: R41, R42, R58, C23

Abstract

The present study aims to analyze the impact of the reduction in the speed limit of certain streets and avenues in the city of São Paulo on the number of accidents, injuries and fatalities registered on them, through panel regressions with route and time fixed effects. Data from the Traffic Engineering Company of São Paulo (CET-SP) was collected. The results are indicative of a desired effect of the intervention, causing a reduction in the number of accidents and injuries, although there were no statistically significant changes in the number of deaths. In order to validate these results, placebo tests were made, which confirmed there was no bias due to interference from non-specified factors in our analysis.

Keywords: Traffic, Accidents, Panel Data, Differences-in-Differences

JEL: R41, R42, R58, C23

Área ANPEC: 10 – Economia Regional e Urbana

¹ Insper – caiopasc@al.insper.edu.br

² Insper – rodrigomsm@inper.edu.br

³ Insper – brunorpmf@al.insper.edu.br

⁴ Insper – elisams@al.insper.edu.br

⁴ Insper – gabrielps1@al.insper.edu.br

⁶ Insper – ingridra@al.insper.edu.br

1. Introdução

No período entre julho de 2015 e janeiro de 2016, os limites de velocidade de diversas vias da cidade de São Paulo sofreram redução, com a justificativa de que esta medida reduziria o número de acidentes graves ou fatais ocorridos⁷. Ao comparar as vias que sofreram redução àquelas que se mantiveram inalteradas, o presente artigo busca medir, por meio de regressão em painel com efeitos fixos, o impacto de limites de velocidade mais baixos no número de acidentes ocorridos em cada via, os quais serão validados por meio de testes de robustez. Espera-se contribuir para a literatura que estuda a relação entre velocidade e número de acidentes em vias urbanas, além de avaliar a eficiência das políticas de gestão de trânsito praticadas à época.

No mundo todo, o número de veículos automotores cresce ininterruptamente desde 2000 – com incrementos médios de quase 80 milhões de veículos por ano. O número de mortes no trânsito também apresentou um crescimento contínuo no período, embora muito menos acelerado que o de veículos. Assim, o número de mortes anuais a cada 100 mil veículos caiu de 135 para 64 entre 2000 e 2016⁸.

Se analisadas de forma mais aprofundada, porém, as métricas do trânsito não são tão animadoras. Entre 2014 e 2017, houve uma vítima fatal no trânsito a cada 24 segundos, e os acidentes de trânsito persistiram como a principal causa de morte entre pessoas dos 5 aos 29 anos em todo o mundo. Além disso, as relativas melhorias no número de acidentes ocorreram em grande parte nos países desenvolvidos; dentre os emergentes, somente 23% apresentaram algum tipo de melhora expressiva no número de mortes desde 2013, e esse percentual cai para zero quando falamos em países pobres⁹. No Brasil, em específico, o número de mortes no trânsito para cada 100 mil habitantes diminuiu um pouco desde 2015, mas continua em níveis mais altos do que os de países como México, Colômbia e Rússia.

Diante da gravidade da situação, não é difícil concluir que a gestão do trânsito deve configurar importante ponto focal de políticas públicas. Melhorias expressivas na qualidade e na segurança das vias potencialmente trariam melhorias reais para o nível de bem-estar da sociedade. Mas se por um lado sua relevância é nítida, por outro a arquitetura de políticas eficientes não é elementar. Há um amplo rol de fatores que acabam por influenciar o número de acidentes de trânsito, desde aspectos estruturais – como o grau de adensamento urbano e o nível de educação da população – até as estratégias de gestão de tráfego em si, como a legislação relevante e a delimitação de velocidades máximas.

Nem sempre as intenções por trás das políticas implementadas são satisfeitas: apesar de temer multas, o brasileiro infrator demonstra certo descrédito pela capacidade de *enforcement* das regras de trânsito do país, segundo estudo de 2008¹⁰. Do mesmo modo, Ferraz et al. (2012) corroboram a importância de um maior *enforcement* das normas de trânsito ao achar que uma maior intensidade de fiscalização (denotada pela quantidade de multas aplicadas) tem relação inversa com o número de mortes no trânsito¹¹. Durante a última década várias medidas desta natureza foram instauradas. Em 2008, por exemplo,

⁷ De acordo com comunicado feito em 11/08/2015. Disponível em: <<http://www.capital.sp.gov.br/noticia/prefeitura-padronizara-velocidade-maxima-na>>

⁸ Todos os dados deste parágrafo derivaram do Global Status Report on Road Safety 2018, da Organização Mundial de Saúde (OMS).

⁹ Idem.

¹⁰ (Thielen, Hartmann & Soares, 2008)

¹¹ (Ferraz et al., 2012)

houve um enrijecimento na Lei Seca, que, ao diminuir a concentração máxima aceita de álcool no sangue do motorista para 0,02 g/dL, conseguiu reduzir em 16% o número de mortes no trânsito na cidade de São Paulo, ainda que a redução nos acidentes no geral tenha sido de apenas 2,3%¹². Endurecimentos posteriores ainda foram feitos ao final de 2012, mas suas consequências carecem de medição.

Há, entretanto, um fator que desponta como o mais explorado pela literatura sobre acidentes de trânsito: a velocidade. Seja na forma de média ou de limite máximo permitido na via, há conclusões robustas – de diversos estudos e países do mundo – sobre o impacto desta nos acidentes em vias urbanas.

No começo da década de 90, Swali (1993) concluiu que a imposição de radares diminuiu a velocidade média das vias londrinas em 6 *mph*, o que reduziu os acidentes fatais em 40%¹³. Um ano depois, uma pesquisa do *Transport Research Laboratory*, também em Londres, achou que um aumento de 1 km/h na velocidade média das vias europeias e americanas causaria um aumento de 3% no número de acidentes, em média¹⁴. Ao analisar 98 estudos sobre os efeitos da velocidade no número de acidentes, Rune (2004) resume que, mantendo-se 95% de confiança, 94,1% das estimações estudadas demonstraram que uma redução na velocidade diminui, também, o número de acidentes de trânsito¹⁵.

Mais recentemente, um estudo do *Insurance Institute for Highway Safety* (2016), dos Estados Unidos, reuniu mais um sólido corpo de evidências sobre os efeitos negativos de altas velocidades¹⁶. Estimou-se que, somente no ano de 2013, aumentos nos limites de algumas vias produziram 1.900 mortes adicionais – o bastante para neutralizar as mortes evitadas por *airbags* frontais naquele ano. Em uma análise com horizonte de 20 anos (de 1993 a 2013), o estudo também achou que aumentos de 5 *mph* (aproximadamente 8 km/h) geraram, em média, incrementos de 4% no número de mortes em vias urbanas. Tratando-se de vias interestaduais e rodovias, o número de fatalidades sobe cerca de 8%. Há, portanto, uma ampla vertente na literatura sobre os efeitos maléficos da velocidade no trânsito.

De fato, é intuitivo explicar a relação direta entre velocidade e acidentes. Aumentos na velocidade praticada aumentam a distância de frenagem do veículo em taxas crescentes, além de causar maiores defasagens na distância de reação do motorista. Com o aumento da distância entre a percepção do obstáculo à frente e a parada total do veículo, é razoável que acidentes se tornem mais prováveis (Gráfico 1). Além disso, pessoas ao volante tendem a subestimar o tamanho de seu impacto em outros objetos (inclusive humanos) à medida que sua velocidade aumenta (Eriksson et. al, 2012).

¹² (Andreuccetti et al., 2011)

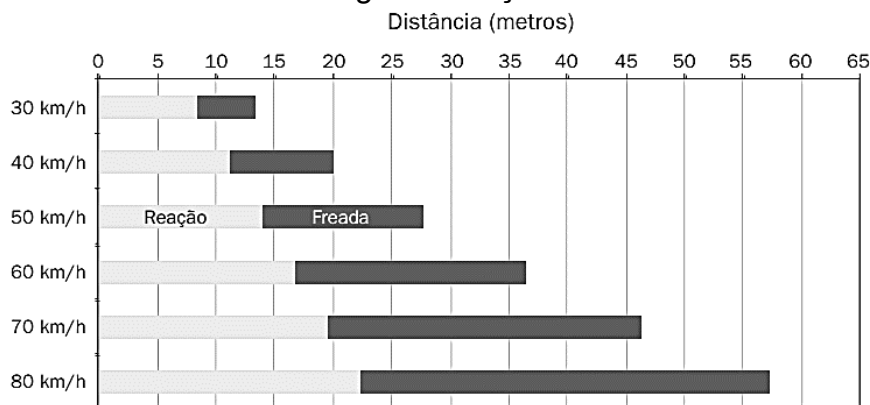
¹³ (Swali, 1993)

¹⁴ (Finch et. al, 1994)

¹⁵ (Rune, 2004)

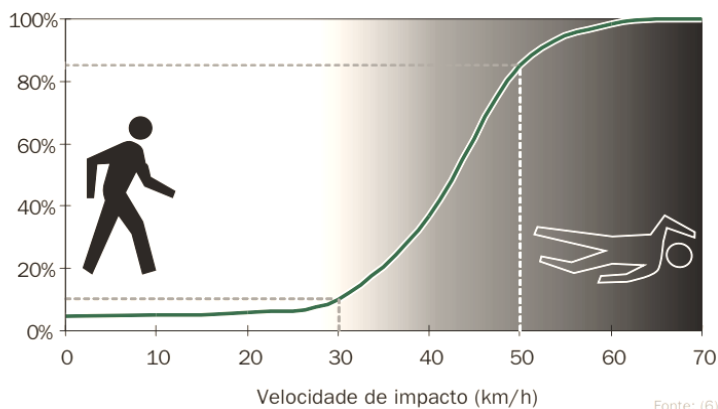
¹⁶ (IIHS, 2016)

Gráfico 1 - Distâncias de frenagem e reação de acordo com velocidade praticada.



Fonte: OECD, *Speed Management, 2006* / OMS, *Gestão de velocidade: Um manual de segurança viária, 2008*

Gráfico 2 - Probabilidade acumulada do risco de morte de acordo com a velocidade do impacto.



Fonte: OECD, *Speed Management, 2006* / OMS, *Gestão de velocidade: Um manual de segurança viária, 2008*

Não só a probabilidade, mas a severidade de um acidente é, também, afetada. A função de probabilidade acumulada do risco de morte de pedestres cresce de muito a partir de uma velocidade de 30 km/h no impacto. Aos 50 km/h, há mais de 80% de chance de a vítima sofrer danos fatais.

Do exposto, segue que reduções nas velocidades praticadas em uma via têm o potencial de diminuir o número de acidentes via diminuição da distância de reação e frenagem. Deve haver, também, impactos que sejam mais significativos nos acidentes fatais à medida que o valor absoluto da redução aumenta, dada a relação não-linear existente entre o risco de morte e a velocidade praticada. Possíveis malefícios ou benefícios paralelos (como os ganhos de fluidez viária dada a diminuição dos acidentes) fogem ao escopo do presente estudo.

1.1. Política de reduções de velocidade

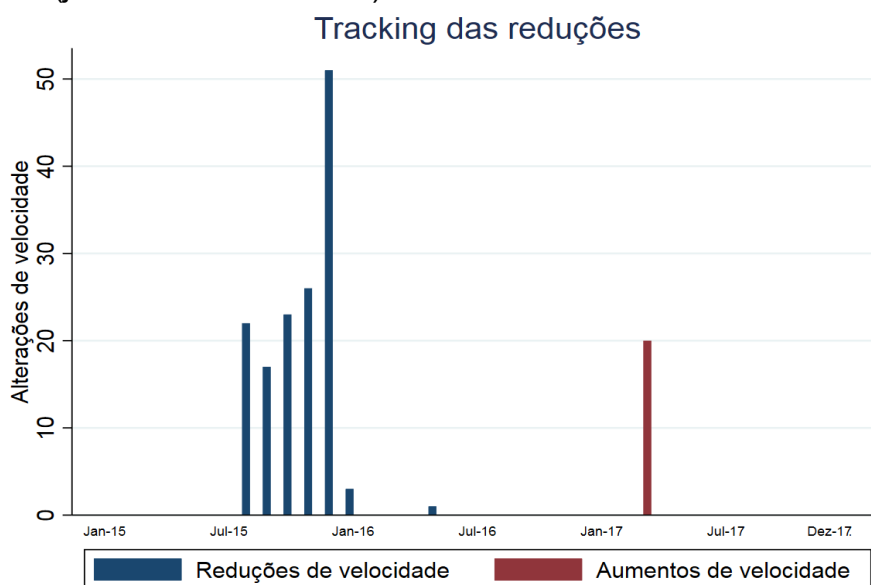
Desde 2011, quando a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou o programa “Década de Ação pela Segurança no Trânsito”, políticas voltadas ao trânsito vêm ganhando importância na gestão pública. Países emergentes, em especial, foram os mais atingidos

pela nova agenda de mudanças, visto que acumulam a maioria dos veículos automotores e os acidentes do mundo¹⁷.

Na cidade de São Paulo, essa tendência teve a forma do Programa de Proteção à Vida (PPV). Buscando melhorar a segurança viária de modo geral, o programa executou medidas que variam desde a implementação de faixas de pedestres específicas para grandes cruzamentos, até a introdução de áreas de espera exclusivas para motocicletas. Foi justamente sob o bojo do PPV que, a partir de julho de 2015, a Prefeitura de São Paulo começou uma série de reduções nos limites de velocidade de diversas ruas e avenidas da cidade.

As reduções miravam na relação empírica conhecida entre velocidade da via e número e gravidade dos acidentes. As primeiras alterações ocorreram nas marginais Pinheiros e Tietê; depois, ao longo do segundo semestre de 2015, seguiram-se diversas outras reduções. Dezembro de 2015 foi o mês com a maior quantidade de reduções, apresentando mais de 50 vias com limite de velocidade alterado¹⁸. O gráfico 3 situa temporalmente todas as reduções realizadas entre 2015 e 2017. Nota-se, ainda, que houve variações positivas nas velocidades de algumas vias neste último ano, por conta do retorno ao patamar de velocidade inicial das avenidas marginais, executado por gestão municipal posterior.

Gráfico 3 - Tracking temporal das reduções de velocidade na cidade de São Paulo (jan. 2015 a dez. 2017)



Fonte: Dados da CET; elaboração própria.

Análises descritivas realizadas pela Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP) estudaram a variação dos acidentes de trânsito nas vias marginais em períodos imediatamente após as reduções¹⁹. Ao comparar as 4 semanas posteriores à alteração da CET-SP com o mesmo período em 2014 e 2013, ficou evidente que já havia tendência de queda nos acidentes com e sem vítimas, mas que esses números baixaram ainda mais após as reduções. Em relação ao ano de 2014, acidentes com vítimas fatais caíram 29% após as alterações da CET-SP, enquanto acidentes sem vítimas fatais caíram

¹⁷ *Global Status Report on Road Safety 2018*, Organização Mundial de Saúde (OMS).

¹⁸ Dados da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP).

¹⁹ CET-SP: Programa de Proteção à Vida: Balanço do Impacto da Redução de Velocidade nas Marginais. Agosto 2015.

20%. Em estudo realizado para a CET-SP, Sarno (2016) conduziu uma análise – ainda descritiva - com horizonte mais longo: do início de 2014 até junho de 2016²⁰. Durante o período, ele encontra uma queda de 56% nos acidentes com feridos na Marginal Tietê e de 53% na Marginal Pinheiros.

Por serem meramente descritivas, as análises supracitadas não atendem aos objetivos do presente estudo, qual seja medir o *impacto líquido* da velocidade nos acidentes, controlando por qualquer fator que interfira nessa relação. Na literatura, mais similar a este propósito está Cardoso (2018) o qual apresenta, além disso, um período de análise muito próximo ao deste trabalho²¹. Ambos se tratam de regressão de diferenças-em-diferenças, buscando calcular o diferencial na evolução dos acidentes nas vias com velocidade reduzida (tratadas) e nas outras constantes (controle). Há, no entanto, importantes diferenças metodológicas entre as duas análises.

A primeira diferença está na base de dados: enquanto Cardoso (2018) analisa uma base com os acidentes registrados por uma seguradora com 60% de *market share* na cidade de São Paulo, o presente estudo trabalha com dados diretamente da CET-SP, a qual mantém registros de todos os acidentes com intervenção do órgão no período. A natureza média dos acidentes muda bastante entre essas duas bases. Isso porque há incentivos para o reporte de acidentes de qualquer natureza à seguradora, por mais leves que sejam; na base da CET-SP, por outro lado, o critério para o registro são acidentes em que houve registro da ocorrência por parte das autoridades. Portanto, este estudo analisa acidentes mais graves, enquanto Cardoso (2018) leva em conta ocorrências menores. A importância dessa diferença é que os acidentes mais graves são mais correlacionados com velocidade, têm um custo social maior, e eram o objetivo declarado da intervenção estudada.

Há também uma distinção metodológica: Cardoso (2018) estimou um modelo de diferenças-em-diferenças simples, com um só período de intervenção, fixado em julho de 2015, quando houve as primeiras – e talvez mais importantes – reduções. Como as diminuições aconteceram até janeiro de 2016, tal escolha pode ter feito com que o efeito do tratamento de muitas vias tenha sido subestimado, pois ele as consideraria tratadas antes que a mudança ocorresse de fato.

No presente trabalho, portanto, optou-se por utilizar dados em painel por via e por mês, com efeitos fixos por via. Tal método não exige que se estabeleça um único período de intervenção; a redução na velocidade de cada via pode ser captada, no seu devido tempo, por meio da variação em sua velocidade máxima, a qual teria valor zero até que haja a intervenção.

2. Base de Dados

Os dados utilizados são da CET – Registro de Acidentes para os anos de 2015 a 2017, da qual retirou-se para a análise a soma dos acidentes por via por mês, número de mortos e o de feridos. Nossa amostra final inclui vias com ao menos um acidente registrado durante o período e cuja velocidade máxima pôde ser verificada nos 36 meses sob análise.

²⁰ (Sarno, 2016)

²¹ (Cardoso, 2018)

As vias que sofreram mudanças de velocidade no período, bem como as datas e magnitudes destas foram informadas pela CET, e estão disponíveis no Anexo 1.

A partir de comunicados sobre as velocidades das vias e datas de alteração encontrados no site da CET, também foi construída uma variável nomeada “delta”, que mede a variação do limite de velocidade da via em certo mês se comparado ao limite de velocidade inicial ($\Delta Velocidade Max. = Velocidade Max._{t=1} - Velocidade Max._{t=0}$). Assim, a variável terá valor constante igual a zero ao longo do tempo caso a via não tenha sofrido alteração, e valores negativos em períodos de velocidade reduzida para vias tratadas.

A análise descritiva mostrou que 36,3% do total de acidentes na base da CET-SP em 2015 estavam presentes na amostra para análise, enquanto que, para 2016 e 2017, havia 28,7% e 29,5% desse total, respectivamente. A representatividade da amostra quanto às vias com mais acidentes da cidade está ilustrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Presença das vias com maior número de acidentes na base.

Percentual das vias com maior número de acidentes na base presentes na amostra	
Ranking	Percentual na amostra
Top 5	100%
Top 10	100%
Top 25	96%
Top 50	98%
Top 100	85%

Fonte: Dados da CET; elaboração própria.

Entre os grupos de tratamento e controle, a amostra contém 144 e 187 vias, respectivamente, sendo as tratadas aquelas vias que sofreram alguma alteração de velocidade no período analisado, e as de controle, aquelas que não sofreram alterações de velocidades entre 2015 e 2017. Tanto o grupo controle quanto o tratamento tiveram aproximadamente 50% dos acidentes da amostra.

Ainda, conforme a Tabela 2, a *Av. das Nações Unidas* é a que mais tem acidentes por via, com um total de 342 acidentes entre janeiro de 2015 e dezembro de 2017.

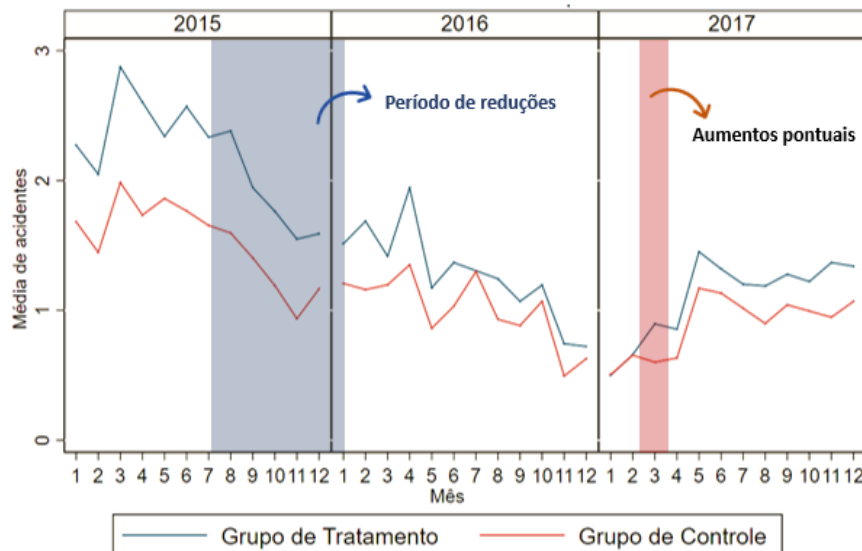
Tabela 2 – Vias com o maior número de acidentes.

Entre Jan-2015 e Dez-2017		
Ranking	Logradouro	Acidentes totais
1	Av. Das Nações Unidas	352
2	Estrada de Itapeperica	329
3	Av. Sen. Teotônio Vilela	307
4	Av. Sapopemba	278
5	Av. do Estado	257
6	Av. Dona Belmira Marin	256
7	Av. Alcântara Machado	228
8	Av. Aricanduva	227
9	Av. Interlagos	213
10	Av. Ragueb Chohfi	199

Fonte: Dados da CET; elaboração própria.

Como é possível observar a partir do Gráfico 4, aparentemente, as tendências dos acidentes mensais são paralelas entre os grupos de controle e de tratamento. A região sombreada em azul do gráfico diz respeito ao momento em que ocorreram as reduções de velocidade, e a em vermelho, aumentos pontuais, de acordo com o Anexo 1.

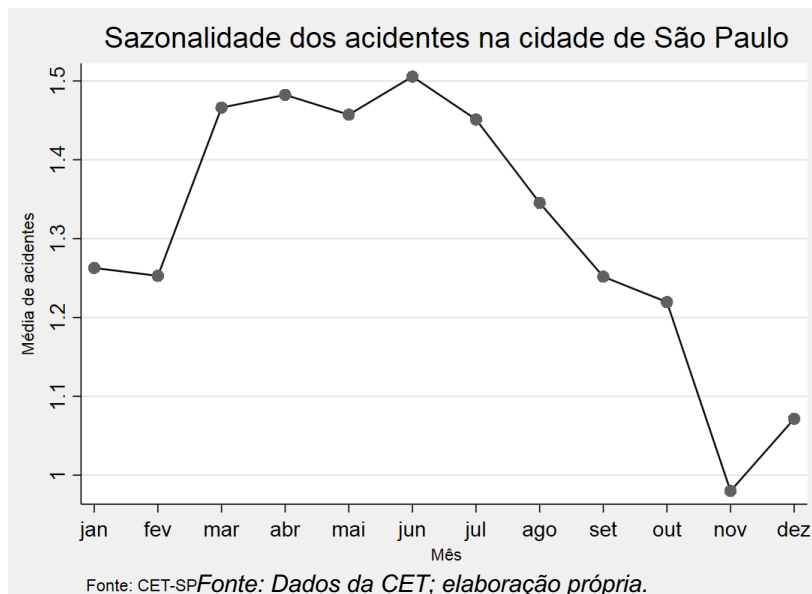
Gráfico 4 – Evolução dos acidentes mensais médios por via.



Fonte: Dados da CET; elaboração própria.

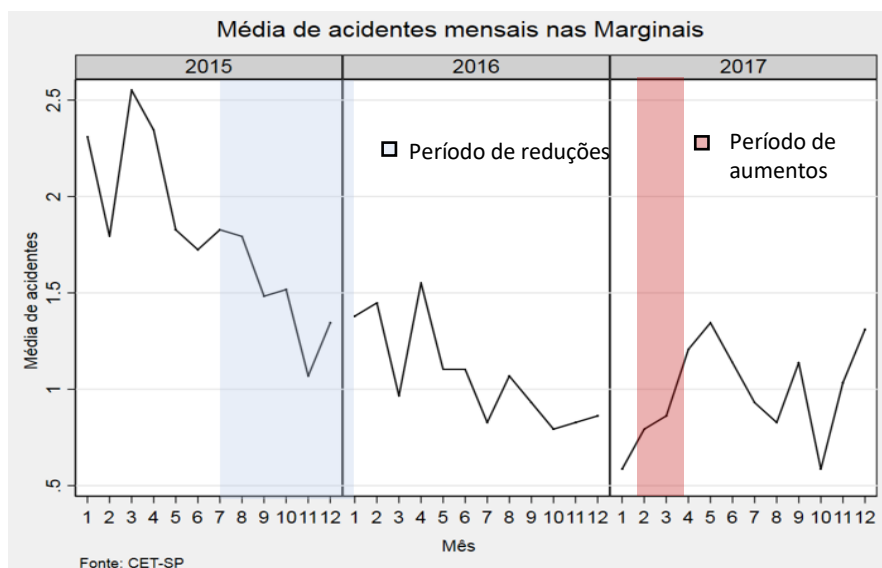
Os dados revelaram uma menor média de acidentes durante janeiro e dezembro, os quais são meses de férias escolares (Gráfico 5). Nota-se, também, que novembro foi o mês que apresentou a menor média de acidentes, talvez pelo fato de acumular muitos feriados, o que, possivelmente, incorreria em menor fluxo de carro nas vias da cidade. Isso demonstra a importância de controlar a análise por características fixas de cada mês.

Gráfico 5 – Sazonalidade nos acidentes registrados.



As marginais, junto com suas vias de acesso, foram as vias que mais tiveram acidentes registrados no período analisado, como demonstra a Tabela 2. O Gráfico 6 mostra que houve uma queda na média de acidentes nessas vias durante o tratamento. Além disso, essa média manteve-se relativamente baixa durante os meses subsequentes.

Gráfico 6 – Média de acidentes mensais nas Marginais.



Fonte: Dados da CET; elaboração própria.

3. Modelo Econométrico

A variável resposta foi dividida em três, conforme os desdobramentos dos acidentes: número total de acidentes, número de feridos por acidentes e número de mortos por acidente, todos por via, por mês.

Foram estimadas duas regressões em painel para cada variável resposta. A primeira inclui como variáveis explicativas a variação no limite de velocidade que a via sofreu nas intervenções e o seu quadrado e, a segunda, uma variável *dummy* de tratamento que recebe 1 se a via estiver no grupo de tratamento nos meses em questão, e 0, caso contrário. O caso para a variável agregada (número de acidentes) pode ser visto a seguir:

$$(1) \text{Número de acidentes}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \Delta\text{Velocidade}_{it} + \beta_2 \cdot \Delta\text{Velocidade}_{it}^2 + \sum_i^n \omega_{jt} D_t + \sum_j^t \theta_{jt} M_t \cdot A_t + \varepsilon_{it}$$

$$(2) \text{Número de acidentes}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Dummy de Mudança}_{it} + \sum_i^n \omega_{jt} D_t + \sum_j^t \theta_{jt} M_t \cdot A_t + \varepsilon_{it}$$

Onde:

- i representa a via em questão;
- t representa o mês e ano;
- $\sum_i^n \omega_{jt} D_t$ representa os efeitos fixos de via;
- $\sum_j^n \beta_{jt} M_t \cdot A_t$ representa os efeitos fixos de mês multiplicados pelos de ano, criando, através da interação das *dummies*, os efeitos fixos de cada período (mês de cada ano).

A inclusão dos efeitos fixos de via é de extrema importância para a análise, considerando que vias com maior fluxo de carros podem ter mais acidentes não puramente relacionados com o limite de velocidade. Ao inclui-los, controlamos por características heterogêneas entre vias, mas constante no tempo (é razoável supor, por exemplo, que vias com alto fluxo de veículos não deixaram de ter essa característica durante os 2 anos analisados).

Assim, na especificação (1), captura-se um efeito quadrático da variável de interesse (mudança na velocidade máxima permitida), e o efeito líquido se dá derivando-se em relação à variável resposta: $\beta_1 + 2 \cdot \beta_2 \cdot \Delta\text{Velocidade}_{it}$.

Também, semelhantemente a Cardoso (2018), foi feita uma regressão de Diferenças-em-Diferenças considerando como o período de tratamento todos os meses subsequentes àquele com maior número de intervenções de redução de velocidade (dezembro de 2015). A equação a ser estimada é a (3), a seguir:

$$(3) \text{Número de Acidentes}_{it} = \alpha_0 + \beta_1 D_{trat_{it}} + \beta_1 D_{pós_{it}} + \theta_1 (D_{trat_{it}} \cdot D_{pós_{it}}) + \varepsilon_{it}$$

Onde:

- $D_{trat_{it}}$ representa uma variável binária que assume 1 caso o distrito i tenha sido tratado, e 0 caso contrário;
- $D_{pós_{it}}$ representa uma variável binária que assume 1 caso o período t tenha ocorrido após a data de tratamento (dezembro de 2015), e 0 caso contrário;

Nesta especificação, o coeficiente de interesse é o da interação (θ_1).

4. Resultados

4.1. Dados em Painel

A tabela 3 mostra os resultados das estimações citadas anteriormente:

Tabela 3 - Resultados das estimações em painel.

	Número de Acidentes				Número de Feridos				Número de Mortos			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Δ Velocidade	0.161*** (0.0111)	0.0407*** (0.0122)			0.290*** (0.0271)	0.111*** (0.0316)			0.00527* (0.00314)	0.00240 (0.00589)		
Δ Velocidade ²	-0.00801*** (0.000717)	-0.00191** (0.000761)			-0.0156*** (0.00186)	-0.00699*** (0.00207)			-0.000392* (0.000217)	-6.62e-05 (0.000387)		
Dummy de Tratamento			-0.907*** (0.0452)	-0.294*** (0.0539)			-1.401*** (0.104)	-0.373*** (0.131)			0.00206 (0.0140)	-0.0107 (0.0245)
Constante	1.522*** (0.0947)	1.940*** (0.0796)	1.587*** (0.0952)	1.940*** (0.0795)	2.946*** (0.109)	4.444*** (0.184)	3.025*** (0.110)	4.440*** (0.184)	0.170*** (0.00753)	0.150*** (0.0343)	0.168*** (0.00778)	0.150*** (0.0343)
Efeitos fixos de tempo (mês*ano)		X		X		X		X		X		X
Efeitos fixos de via		X		X		X		X		X		X
Observações	11,916	11,916	11,916	11,916	5,412	5,412	5,412	5,412	5,412	5,412	5,412	5,412
R-quadrado	0.027	0.098	0.035	0.099	0.036	0.123	0.042	0.122	0.0001	0.008	0.001	0.008
Número de Vias	331	331	331	331	331	331	331	331	331	331	331	331

Obs.: Erros padrão entre parênteses.
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

As especificações mais interessantes são as com efeitos fixos de vias e tempo, por serem mais robustas a características individuais de vias, mas fixas no tempo e características sazonais de meses de cada ano, mas fixas entre vias. Assim, escolheu-se focar nelas.

Pode-se perceber que, em todas as especificações, a variável da variação no limite de velocidade (Δ Velocidade) se manteve positiva. Como a variável está construída como redução de velocidade (assumindo valores negativos com a redução nos limites e positivos com o aumento destes), é razoável inferir que reduzir a velocidade máxima tem efeitos de diminuição no número de acidentes e feridos a um nível de significância menor que 1%; não se pode inferir nada quanto ao número de mortos devido à insignificância estatística.

Entretanto, a mesma variável ao quadrado possui coeficiente de sinal contrário (e significativo) ao seu nível, mostrando que este efeito diminui, e não é linear, ou seja, a redução do limite de velocidade tem efeitos negativos, mas decrescentes no número de acidentes, ao contrário do proposto na seção 1. Esse resultado é plausível por dois motivos: primeiro, é razoável pensar que há um certo nível de acidentes nas vias que não depende da velocidade – não seria razoável crer que, por exemplo, se diminuíssemos o limite de uma via que está a 80 km/h para 10 km/h, o nível de acidentes se reduziria na mesma magnitude –, como por exemplo acidentes mais simples ou ligados a outros fatores (como semáforos, mudança de faixa, dentre outros); segundo, pode existir um certo efeito comportamental nos indivíduos: uma redução muito grande pode gerar uma adaptação por parte dos agentes mais lenta, levando a um período em que poderia haver mais acidentes justamente por essa adaptação não estar completa em todos os usuários da via.

Como as reduções das velocidades analisadas nesse trabalho foram de, no máximo, 20 km/h, é possível concluir, via coeficientes da Tabela 3, que todas tiveram impacto negativo no número de acidentes (aproximadamente -0,216 acidentes por mês com 10 km/h de redução vs. aprox. -0.05 com 20 km/h). Como o efeito foi maior com a menor redução, é sugestão deste trabalho que as reduções sejam feitas de forma gradual, talvez de 10 km/h por vez, até atingir-se o limite de velocidade desejado.

Nas especificações em que o regressor principal é a *dummy* de tratamento, seu coeficiente é negativo e significativo no número de acidentes e feridos, implicando na existência de um efeito negativo e do tratamento (redução de limites de velocidade) nestes.

Quando a variável resposta é o número de mortos, não há significância estatística para praticamente nenhum dos regressores. Isso se dá principalmente por a grande maioria dos acidentes possuir apenas feridos, sendo o número de mortos relativamente pequeno, conforme a tabela 4.

Tabela 4 - Distribuição de mortos e feridos nos acidentes.

	Observações	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Número de Mortos	5,412	0.17	0.47	0	6
Número de Feridos	5,412	3.33	3.31	0	37

Em seguida, foram calculadas as elasticidades centradas na média para as especificações com efeitos fixos de via e tempo, e a variável explicativa sendo a variação no limite de velocidade e seu quadrado, através da fórmula

$$\frac{\partial \text{Número de Acidentes}}{\partial \Delta \text{Velocidade}} \times \frac{\text{Média de } \Delta \text{Velocidade}}{\text{Média de Número de Acidentes}}$$

Os resultados estão na tabela 5:

Tabela 5 – Elasticidades.

Elasticidades nas Médias

	Número de Acidentes	Total de Feridos	Total de Mortos
Δ Velocidade	-0,126	-0,37	-0,01

Obs.: Calculadas com os resultados das regressões com efeitos fixos de unidade e tempo.

Interpreta-se, então, que uma redução de 1% na velocidade máxima permitida na via reduz o número de acidentes registrados no mês nela por, em média, 0,12% e o número de feridos por, em média, 0,37%. Como a variável não apresentou significância estatística para o número de mortos, a elasticidade para ela não traz informação de relevância estatística.

4.2. Diferenças-em-Diferenças

Os resultados da estimação de diferenças-em-diferenças podem ser encontrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Estimação Diferenças-em-Diferenças.

	Número de Acidentes
D tratamento	0.415** (0.166)
D pós-tratamento	-0.887*** (0.0959)
D tratamento * D pós	-0.140 (0.173)
Constante	1.837*** (0.0781)
R ²	0.003
Observações	11,952
Número de Períodos	36

Erros-padrão entre parênteses.
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Como é possível notar, o coeficiente de interesse (da interação entre as *dummies*) não possui significância estatística, equivalentemente ao apresentado por (Cardoso, 2018).

Entretanto, é importante desconfiar destes resultados devido ao que foi considerada uma falha metodológica cometida pelo autor e reproduzida nesta seção: muito se perde ao considerar apenas uma data de intervenção, quando estas ocorreram em um período relativamente longo de tempo. Em vez disso, seria mais prudente observar períodos de tratamento dinâmicos, como feito na subseção 4.1 deste trabalho, assim como é interessante olhar efeitos da magnitude da redução da velocidade no número de acidentes. Sendo assim, considera-se a especificação mostrada na seção 4.1 mais robusta e abrangente para medir o impacto das intervenções no número de acidentes.

5. Testes de Robustez

Para analisar a robustez dos resultados, foram realizados testes de placebo, nos quais foram aleatorizadas as vias que receberam tratamento ou o período de tratamento.

5.1. Aleatorizando o Grupo de Tratamento

Primeiro, testou-se a robustez com um grupo de tratamento aleatorizado, ou seja, selecionou-se aleatoriamente um novo grupo de vias e simulou-se a realização da intervenção nele.

Para este procedimento, foi gerado um codificador para cada via na base, e o tratamento foi aleatorizado entre estes códigos de identificação, de forma a avaliar se existe algum efeito capturado no modelo proposto que não ocorra devido ao tratamento em si. Os resultados deste modelo estão na tabela 7:

Tabela 7 - Placebo com grupo de tratamento aleatorizado.

Número de Acidentes	
ΔVelocidade (placebo)	-0.000284 (0.0105)
ΔVelocidade ² (placebo)	-9.80e-05 (0.000706)
Constante	1.940*** (0.123)
Efeitos fixos de via	X
Efeitos fixos de data (mês x ano)	X
Observações	11,916
R-quadrado	0.043
Número de Vias	331
Erros-padrão entre parênteses.	
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1	

Assim, não foi capturado nenhum efeito do tratamento atribuído aleatoriamente entre as vias. Isso permite afirmar que os resultados estão robustos quanto à atribuição do grupo de tratamento.

5.2. Aleatorizando o Período de Tratamento

Em seguida, foi criado um *lag* de 5 meses entre o período de tratamento real e um fictício, a fim de verificar se há algum efeito capturado no modelo que se deve exclusivamente ao período analisado e não ao tratamento. Os resultados deste modelo estão na tabela 8:

Tabela 8 - Placebo com período de tratamento aleatorizado.

	Número de Acidentes
Δ Velocidade (placebo)	-0.0150 (0.0116)
Δ Velocidade ² (placebo)	0.00116 (0.000751)
Constante	1.940*** (0.123)
Efeitos fixos de via	X
Efeitos fixos de data (mês x ano)	X
Observações	11,916
R-quadrado	0.043
Número de Vias	331
Erros-padrão entre parênteses.	
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1	

Tal qual na estimação anterior, o placebo não capturou nenhum efeito do tratamento atribuído com um *lag* de 5 meses. Portanto, pode-se dizer que os resultados estão robustos quanto à atribuição do período de tratamento.

6. Conclusão

O presente trabalho analisou os efeitos das reduções realizadas nas velocidades de determinado grupo de vias da cidade de São Paulo no número de acidentes, ferimentos e fatalidades ocorridos nelas. Em concordância com a literatura conhecida acerca do tema, o resultado encontrado foi de que as intervenções – realizadas entre julho de 2015 e janeiro de 2016 – tiveram, em geral, efeito sobre esses valores.

No caso dos números de acidentes e velocidades, os resultados das regressões em painel foram estatisticamente relevantes, indicando que as diminuições das velocidades máximas, de fato, os impactaram negativamente. É importante ressaltar, entretanto, que esse efeito é reduzido, de maneira não linear, quanto maior for a intervenção. Como todas

as reduções foram da ordem de 10 ou 20 km/h, elas, ainda assim, surtiram o efeito desejado; em especial as menores (como foi o caso da maioria das vias).

No caso do número de mortos, nenhuma das regressões apresentou resultados estatisticamente significantes, o que acredita-se ocorrer devido à baixa representatividade de acidentes fatais na amostra. No entanto, todos os valores obtidos, com exceção de um, apresentaram o sinal esperado.

Os testes de robustez realizados validaram os resultados obtidos. Tanto com relação ao grupo de tratamento, quanto com relação ao momento do tratamento realizado, os testes de placebo não apresentaram resultados significativos, indicando que não há fatores não identificados pelas regressões principais viesando seus resultados.

Assim sendo, acredita-se que as políticas públicas de gestão de trânsito analisadas foram efetivas em alcançar seu objetivo declarado. Cabe lembrar que foge ao escopo deste trabalho medir efeitos colaterais das reduções (por exemplo, seu impacto sobre a fluidez do tráfego), e, dessa maneira, não foi analisado completamente seu impacto sobre o bem-estar geral dos habitantes de São Paulo. A medição de tais efeitos fica como sugestão para um possível aprofundamento futuro.

Bibliografia

ANDREUCETTI, G., CARVALHO, H. B., CHERPITEL, C. J., Ye, Y., PONCE, J. C., KAHN, T. *et al* (2011). **Reducing the legal blood alcohol concentration limit for driving in developing countries: a time for change? Results and implications derived from a time-series analysis (2001–10) conducted in Brazil.** *Addiction*; DOI: 106: 2124- 31.

CARDOSO, Mychaeell (2018). **O Impacto da Redução da Velocidade Máxima Permitida sobre os Acidentes de Trânsito: Evidências para a Cidade de São Paulo.** Fundação Getúlio Vargas – Escola de Economia de São Paulo (EESP).

CET-SP – Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (2015). **Programa de Proteção à Vida: Balanço do Impacto da Redução de Velocidade nas Marginais.**

CET-SP – Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (2016). **Análise da Mortalidade ocorrida por Acidentes de Trânsito em agosto e setembro de 2016.**

ERIKSSON, Gabriella et al (2012). **Braking from different speeds: Judgments of collision speed if a car does not stop in time.** *Accident Analysis & Prevention*, Vol 45, páginas 487-495.

FERRAZ, Antônio Clóvis Pinto et al (2012). **Segurança viária.** São Carlos: Suprema Gráfica e Editora.

FINCH, D.J., KOMPFFNER, P., LOCKWOOD, C.R., MAYCOCK, G. (1994). **Speed, speed limits and accidents.** Crowthorne: Transport Research Laboratory (TRL).

IIHS - Insurance Institute for Highway Safety (2016). **Status Report, Vol. 51, No. 4.**

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (2006). **Speed Management Report.**

OMS - Organização Mundial da Saúde (2008). **Gestão de velocidade: Um manual de segurança viária.**

OMS - Organização Mundial da Saúde (2018). **Global Status Report on Road Safety 2018.**

PREFEITURA DE SÃO PAULO. São Paulo, SP. 11/08/2015. Disponível em: <<http://www.capital.sp.gov.br/noticia/prefeitura-padronizara-velocidade-maxima-na>>.

SARNO, Caio (2016). **Benefícios Imediatos da Redução de Velocidades Máximas Permitidas.** CET-SP. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/media/517275/nt251.pdf>>.

THIELEN, Iara Picchioni; HARTMANN, Ricardo Carlos; SOARES, Diogo Picchioni (2008). **Percepção de risco e excesso de velocidade.** Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 24.

Anexo 1 – Vias no Grupo de tratamento

Nome da Via	Redução	Aumento	Mudança	Nome da Via	Redução	Aumento	Mudança	Nome da Via	Redução	Aumento	Mudança
AV ADOLFO PINHEIRO	dez/2015		-10	AV FRANCISCO MATARAZZO	out/2015		-10	AV VINTE E TRES DE MAIO	out/2015		-10
AV ADUTORA DO RIO CLARO	dez/2015		-10	AV GAL EDGAR FACO	dez/2015		-10	AV WASHINGTON LUIS	out/2015		-10
AV AFRANIO PEIXOTO	set/2015		-10	AV GAL OLIMPIO DA SILVEIRA	out/2015		-10	ES DE MOGI DAS CRUZES	dez/2015		-10
AV AGUIA DE HAIA	dez/2015		-10	AV GIOVANNI GRONCHI	jan/2016		-10	ES DO ALVARENGA	jan/2016		-10
AV ALCANTARA MACHADO	out/2015		-10	AV INAJAR DE SOUZA	nov/2015		-10	ES DO CAMPO LIMPO	set/2015		-10
AV ALEXANDRE COLARES	nov/2015		-10	AV INTERCONTINENTAL	dez/2015		-10	ES DO IMPERADOR	dez/2015		-10
AV ALM DELAMARE	nov/2015		-10	AV INTERLAGOS	out/2015		-10	ES IGUATEMI	dez/2015		-10
AV AMADOR BUENO DA VEIGA	dez/2015		-10	AV MIGUEL IGNACIO CURI	dez/2015		-10	ES MÃEÁ BOI MIRIM	out/2015		-10
AV ANGELICA	set/2015		-10	AV MORUMBI	dez/2015		-10	MARGINAL PINHEIROS INTCB (INTERLAGOS-C	ago/2015	mar/2017	-20 depois +20
AV ANTARTICA	set/2015		-10	AV MORVAN DIAS DE FIGUEIREDO	ago/2015	mar/2017	-20 depois +10	MARGINAL TIETE ASCB CENTRAL (AYRTON SE	ago/2015	mar/2017	-10 depois +10
AV ANTONIO ESTEVAO DE CARVALHO	out/2015		-10	AV NADIR DIAS DE FIGUEIREDO	set/2015		-10	MARGINAL TIETE ASCB EXPRESSA (AYRTON S	ago/2015	mar/2017	-20 depois +20
AV ASSIS CHATEAUBRIAND	ago/2015	mar/2017	-20 depois +10	AV NAZARE	out/2015		-10	MARGINAL TIETE CBAS CENTRAL (CASTELO B	ago/2015	mar/2017	-10 depois +10
AV BRAZ LEME	ago/2015		-10	AV NICOLAS BOER	nov/2015		-10	MARGINAL TIETE CBAS EXPRESSA (CASTELO	ago/2015	mar/2017	-20 depois +20
AV CARLOS CALDEIRA FILHO	set/2015		-10	AV NORDESTINA	mai/2016		-10	PTE DA CASA VERDE-JORN.WALTER ABRAHAO	nov/2015		-10
AV CD DE FRONTIN	out/2015		-10	AV NOVE DE JULHO	nov/2015		-10	PTE DO LIMAO-ADHEMAR F. DA SILVA	nov/2015		-10
AV CDSSA ELISABETH DE ROBIANO	ago/2015	mar/2017	-20 depois +10	AV NSRA DE SABARA	nov/2015		-10	PTE DO PIQUERI	nov/2015		-10
AV CHEDID JAFET	nov/2015		-10	AV ORDEM E PROGRESSO	nov/2015		-10	PTE FREGUESIA DO O	nov/2015		-10
AV COMEN MARTINELLI	nov/2015		-10	AV OSVALDO PUCCI	dez/2015		-10	PTE JULIO DE MESQUITA NETO	nov/2015		-10
AV CORIFEU DE AZEVEDO MARQUES	dez/2015		-10	AV OTAVIANO ALVES DE LIMA	ago/2015	mar/2017	-20 depois +10	R AMARAL GURGEL	out/2015		-10
AV CUPECE	nov/2015		-10	AV PACAEMBU	set/2015		-10	R ARARITAGUABA	dez/2015		-10
AV DAS NACOES UNIDAS	ago/2015	mar/2017	-20 depois +10	AV PAES DE BARROS	dez/2015		-10	R BRESSER	dez/2015		-10
AV DEPDR JOSE ARISTODEMO PINOTTI	dez/2015		-10	AV PAULO VI	set/2015		-10	R BRIG GAVIAO PEIXOTO	dez/2015		-10
AV DO POETA	dez/2015		-10	AV PIRAUSSARA	dez/2015		-10	R DR ASSIS RIBEIRO	dez/2015		-10
AV DOM PEDRO I	out/2015		-10	AV PIRES DO RIO	jan/2016		-10	R DR LUIZ AYRES	out/2015		-10
AV DOMINGOS DE SOUZA MARQUES	nov/2015		-10	AV PRES CASTELO BRANCO	ago/2015	mar/2017	-20 depois +10	R EMBIRA	dez/2015		-10
AV DOS BANDEIRANTES	set/2015		-10	AV PROF ABRAAO DE MORAIS	out/2015		-10	R FUNCHAL	nov/2015		-10
AV DR ABRAAO RIBEIRO	set/2015		-10	AV PROF EDGAR SANTOS	dez/2015		-10	R GUIDO CALOI	ago/2015	mar/2017	-20 depois +10
AV DR ANTONIO MARIA LAET	dez/2015		-10	AV PROF FRANCISCO MORATO	dez/2015		-10	R HENRIQUE SCHAUMANN	set/2015		-10
AV DR BERNARDINO BRITO F.DE CARVALHO	dez/2015		-10	AV PROF MANUEL JOSE CHAVES	set/2015		-10	R HUNGRIA	ago/2015	mar/2017	-20 depois +10
AV DR RICARDO JAFET	out/2015		-10	AV RADIAL LESTE OESTE	out/2015		-10	R MAJ NATANAEL	set/2015		-10
AV DRA RUTH CARDOSO	ago/2015	mar/2017	-20 depois +10	AV RAGUEB CHOIFI	dez/2015		-10	R MELO FREIRE	out/2015		-10
AV ELISEU DE ALMEIDA	dez/2015		-10	AV RAIMUNDO PEREIRA DE MAGALHAES	dez/2015		-10	R MONTE PASCAL	dez/2015		-10
AV EMB MACEDO SOARES	ago/2015	mar/2017	-20 depois +10	AV RIO BRANCO	nov/2015		-10	R NORMA PIERUCCINI GIANNOTTI	dez/2015		-10
AV ENG BILLINGS	ago/2015	mar/2017	-20 depois +10	AV RUDGE	nov/2015		-10	R PARANABI	dez/2015		-10
AV ERMANO MARCHETTI	nov/2015		-10	AV S GABRIEL	dez/2015		-10	R RHONE	dez/2015		-10
AV ITAQUERA	dez/2015		-10	AV S MIGUEL	dez/2015		-10	R SENA MADUREIRA	ago/2015		-10
AV JAGUARE	dez/2015		-10	AV SALIM FARAH MALUF	out/2015		-10	R SERGIO TOMAS	nov/2015		-10
AV JOAO DIAS	dez/2015		-10	AV SAPOPEMA	dez/2015		-10	R STO AMARO	dez/2015		-10
AV JOSE PINHEIRO BORGES	out/2015		-10	AV SARG MIGUEL DE SOUSA FILHO	dez/2015		-10	R TAQUARI	dez/2015		-10
AV LIDER	dez/2015		-10	AV SEN TEOTONIO VILELA	out/2015		-10	VD ANTARTICA	set/2015		-10
AV MAGALHAES DE CASTRO	ago/2015	mar/2017	-20 depois +10	AV SERAFIM GONCALVES PEREIRA	dez/2015		-10	VD BRESSER	dez/2015		-10
AV MAJ SYLVIO DE MAGALHAES PADILHA	ago/2015	mar/2017	-20 depois +10	AV STO AMARO	dez/2015		-10	VD DOMINGOS DE MORAES	dez/2015		-10
AV MANOEL MONTEIRO DE ARAUJO	nov/2015		-10	AV SUMARE	set/2015		-10	VD ENG ORLANDO MURGEL	nov/2015		-10
AV MANUEL ANTONIO GONCALVES	dez/2015		-10	AV TERESA CRISTINA	out/2015		-10	VD PIRES DO RIO	out/2015		-10
AV MARGINAL DIREITA DO TIETE	ago/2015	mar/2017	-20 depois +10	AV TTE AMARO FELICISSIMO DA SILVEIRA	dez/2015		-20	VD POMPEIA MISSIONARIO MANOEL DE	nov/2015		-10
AV MARGINAL ESQ DO RIO PINHEIROS	ago/2015	mar/2017	-20 depois +20	AV VALDEMAR FERREIRA	set/2015		-10	VEL PRES ARTHUR DA COSTA E SILVA	out/2015		-10
AV ESCOLA POLITECNICA	dez/2015		-10	AV VER ABEL FERREIRA	dez/2015		-10	VIA ANCHIETA	nov/2015		-10
AV EUROPA	jun/2015		-10	AV VER JOSE DINIZ	set/2015		-10				