

## MODELOS DE PREVISÃO DE TRÂNSITO: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A GESTÃO PÚBLICA DO TRÁFEGO NA CIDADE DE SÃO PAULO

*TRANSIT PREDICTION MODELS: A CONTRIBUTION TO THE MANAGEMENT OF PUBLIC TRAFFIC IN THE CITY OF SÃO PAULO*

**Rafaela Costa Martins de Mello DOURADO**

FEA-USP  
rafaela.mello@usp.br

**Alessandra de Ávila MONTINI**

FEA-USP  
amontini@usp.br

Recebido em 08/2014 – Aprovado em 12/2014

### **Resumo**

Quem vive em grandes metrópoles certamente já notou que elas sofrem pelo problema de falta de espaço. Continuamente são construídos prédios, condomínios residenciais, centros comerciais, vias expressas, túneis, linhas de metrô, acessos e viadutos, mas todo esse aumento de infraestrutura urbana está longe de acompanhar o crescimento desenfreado do trânsito. Esse artigo realiza um estudo conciso do trânsito na cidade de São Paulo através de análises estatísticas que permitam prever a lentidão do tráfego de acordo com o comportamento histórico do trânsito registrado. Os resultados apontam modelos distintos para o trânsito no período da manhã e o período da noite, porém, ambos explicitam a correlação temporal existente. Este artigo tem contribuição importante para os processos de planejamento e gestão do tráfego voltados à melhorias de trânsito, preservação do meio ambiente, diminuição de gastos públicos e replanejamento do sistema viário da cidade de São Paulo.

**Palavras-Chave:** Trânsito, Tráfego, Séries Temporais.

## Abstract

*Those who lives in the big cities of the world have certainly noticed that it suffers because the lack of space. Continuously larger buildings are constructed, condominiums, shopping centers, expressways, tunnels, subway lines, access, and viaducts, but all the increase of urban infrastructure is far from unbridled growth of traffic. This article presents a study concise traffic in the city of São Paulo through statistical analysis that could explain the increase in slow traffic according to the historical behavior of the recorded traffic. The results show two different models, one for the morning traffic and the other for the night traffic, but both explain existing temporal correlation. The knowledge generated by this approach allows to carry out further studies in order to support planning processes and traffic management focused on transit improvements, environmental preservation, reduction of public spending, and redesign of the road system of São Paulo city.*

**Keywords:** *Transit, Traffic, Time Series.*

## 1 INTRODUÇÃO

A maioria das grandes metrópoles do mundo às seis horas da tarde vistas superiormente são semelhantes a árvores de natal.

Os departamentos de trânsito registram, em média, pelo menos 100 quilômetros de congestionamentos. A velocidade média dos carros é aproximadamente 20 quilômetros por hora. O ar é poluído e o barulho, ensurdecedor.

O trânsito dos pedestres é atrapalhado por centenas de camelôs que atravancam as calçadas. Nos pontos de ônibus e nas estações de metrô, as pessoas se acotovela por uma posição melhor a fim de conseguir transporte para casa.

Entre a chegada ao ponto de ônibus e o início do jantar, pode-se levar tranquilamente duas, três ou quatro horas. Quem atravessa a rua tem que

prestar muita atenção. Além dos carros e caminhões parados no tráfego congestionado, há motociclistas que passam entre as faixas e atropelam, muitas vezes, o que estiver no caminho. Há também os carroceiros e os ciclistas que andam na contramão.

Segundo Simonetti (SIMONETTI, 1999, p. 70-78) estes comportamentos podem ser identificados em: Cidade do México, Bangcoc, Xangai e São Paulo.

Tempo, ar puro, qualidade de vida e dispêndio financeiro são algumas das perdas enfrentadas pelos moradores das grandes metrópoles do mundo. Dentre as causas diretas destacam-se os problemas com transporte e o trânsito.

O trânsito deixou de ser exclusivo das vias expressas e passou a incluir ruas de bairro. As chuvas passaram a ser grandes influenciadoras nos quilômetros de lentidão. Os acidentes que ocupavam duas faixas possibilitam hoje parar uma rodovia.

Às vésperas de feriados instala-se o caos no fim de tarde. O crescimento desenfreado da frota de veículos sem o acompanhamento da infraestrutura urbana correspondente culmina em trânsito intenso e descontrolado, principalmente, nos horários de pico.

São Paulo é uma dessas grandes metrópoles que possui grandes problemas e inadiáveis desafios. Nota-se que a superação de recordes de trânsito tem sido cada vez mais frequente e em menores espaços de tempo, o que significa que temos um crescimento de trânsito desenfreado e sem perspectivas de soluções adequadas imediatas.

*“A chuva que atinge a capital paulista na manhã desta sexta-feira (05/04/2013) fez a cidade registrar o recorde de trânsito lento no período da manhã deste ano. Segundo a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), às 9h, eram 148 quilômetros de vias congestionadas. A maior*

*marca anterior era do dia 21 de março, quando São Paulo teve 135 quilômetros de lentidão às 9h30.” (Veja Notícias, 2013).*

*“A chuva que caiu durante toda a madrugada e a manhã desta quarta-feira (26/06/2013) trouxe problemas para o trânsito da capital paulista. Queda de árvores, pontos de alagamentos e semáforos danificados levaram ao congestionamento recorde no ano para o horário entre 7h e 10h: 149 quilômetros de lentidão, de acordo com a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET). Ao meio-dia, o congestionamento chegava a 162 quilômetros.” (BANZAI e DIACOPULOS, 2013).*

*“A cidade de São Paulo atingiu 300 quilômetros de filas, por volta das 19h desta sexta-feira (26/07/2013). É o maior congestionamento da história, desde que a CET (Companhia de Engenharia de Tráfego) começou a fazer essa medição, em 1980. Contribuem para a lentidão o acidente que ocorreu mais cedo no viaduto Alberto Badra, na zona leste, e o protesto deflagrado no início da noite na Avenida Paulista, que chegou a interditar a via no sentido Consolação.” (CARVALHO, 2013).*

Março, abril, junho, julho de 2013. Recordes do ano superados, sendo o último deles o maior congestionamento da história desde que a CET iniciou as medições em 1980.

Em uma breve análise dos fatos históricos é possível inferir que São Paulo tende a parar, assim como a Rússia parou em 2012: “Desde a semana passada, o país enfrenta o pior engarrafamento de sua história. São quase 200 quilômetros de congestionamento na rodovia M-10 que liga Moscou a São Petersburgo. O caos já dura cinco dias e a imprensa local atribui a confusão a uma junção de fatores, entre eles o mau tempo, a grande quantidade de caminhões na rodovia e, é claro, a falta de preparo das autoridades para

promover uma solução em tempo hábil.” (IZO, 2012)

Em meio às especulações surgem diversificadas explicações, estudos e teorias sobre o tráfego de veículos, mas consideravelmente pouco se fala sobre estudos quantitativos relacionados ao trânsito e à perda econômica gerada pelos congestionamentos das grandes cidades. Segundo a revista *The Economist* existem estudos que avaliam a variabilidade das causas do congestionamento do trânsito, como por exemplo, o comportamento do motorista.

Um exemplo desse comportamento é a distância em que ele decide parar seu veículo com relação ao veículo que está a sua frente, o que interfere no congestionamento que se formará logo atrás (THE ECONOMIST, 2010).

Em outros estudos, os autores quantificam os impactos causados pelo congestionamento, como gasto de combustível, emissão de poluentes, aumento na frota de ônibus, aumento do custo operacional do sistema rodoviário, replanejamentos dos sistemas viários e ocupação no espaço urbano (IPEA, 1999).

O estudo realizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) serviu de base para a proposta do presente artigo. Em 2006, o DNIT publicou um manual de estudos de tráfego, que tem como objetivo coletar, analisar e disponibilizar informações e estudos sobre o tráfego de veículos que sirvam como subsídio para projetos, principalmente, de vias rurais, como “*o planejamento de vias e da circulação do trânsito nas mesmas, com vistas ao seu emprego para transportar pessoas e mercadorias de forma eficiente, econômica e segura.*” (DNIT, 2006, p. 19).

O manual de estudos de tráfego trata da geração, distribuição, divisão modal e alocação de viagens para determinação do tráfego futuro. Dentre os

métodos de estimação utilizados no estudo está a regressão múltipla que, ao ser comparada com os outros métodos apresentados (modelos baseados em fator de crescimento, modelos gravitacionais e modelos de oportunidades) *“é extremamente flexível, por aceitar um número grande de variáveis explicativas; pode ser aplicado a qualquer área para objetivos diversos; embora se possa obter um relacionamento satisfatório utilizando um determinado conjunto de variáveis, deve-se ter o cuidado de eliminar as que têm pouca relevância nos resultados e as que não são realmente independentes entre si.”* (DNIT, 2006, p. 222).

Cabe ressaltar que o estudo do DNIT considerou a variável de estudo o número de viagens feitas (de um ponto de origem a outro ponto de destino) a qual, utilizando regressão múltipla, foi explicada através da frota de veículos, população (número de habitantes em uma determinada zona) e empregos (quantidade de empregos em uma determinada zona).

Considerando os pontos expostos pelo DNIT e, objetivando um estudo no quesito lentidão do tráfego na cidade de São Paulo, o presente artigo aborda análises exploratórias e modelos de séries temporais.

## 2 OBJETIVOS

---

Este artigo tem como objetivo:

- Apresentar um estudo quantitativo explicativo da lentidão do trânsito da cidade de São Paulo por meio de modelos matemáticos que descrevam seu comportamento a fim de fazer previsões para o trânsito da capital nos próximos anos.
- Fornecer insumos suficientes para propor um estudo posterior que preveja o período provável

de caos objetivando a tomada de medidas públicas cabíveis em tempo adequado.

Este artigo fornece informação relevante ao processo de planejamento e gestão do tráfego voltados à melhorias de trânsito, preservação do meio ambiente, diminuição de gastos públicos e replanejamento do sistema viário da cidade de São Paulo.

## 3 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

---

### 3.1 COLETA DOS DADOS

O objeto do presente estudo é o trânsito na cidade de São Paulo. A Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), subordinada à Secretaria Municipal de Transportes forneceu a média lentidão mensal, em quilômetros, do trânsito de meia em meia hora da cidade de São Paulo de 2001 a 2012.

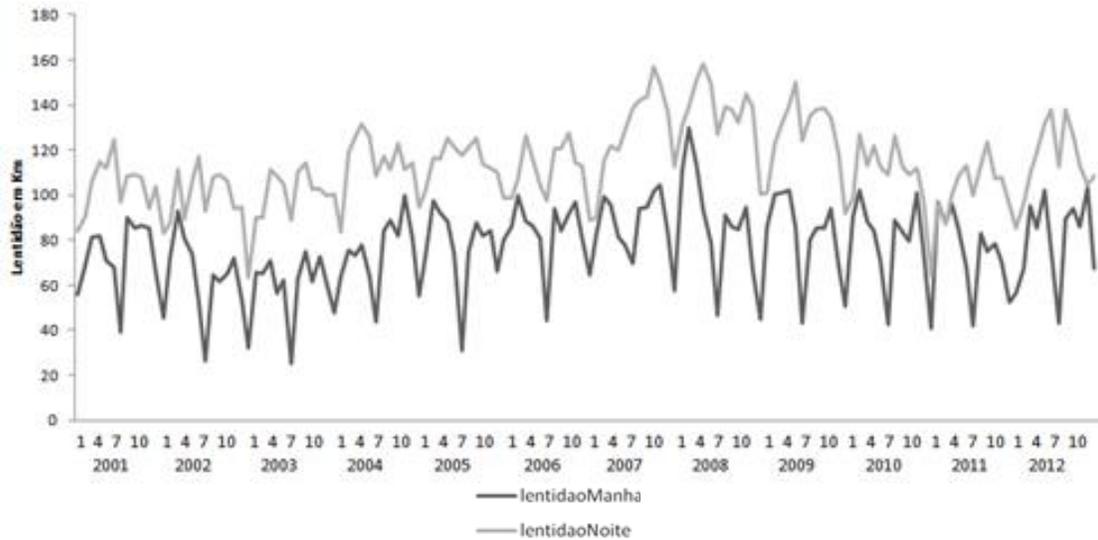
Com o objetivo de compreender o comportamento dessa variável, uma análise exploratória foi realizada para o período da manhã (das 8 às 11h) e outra para o período da noite (das 17 às 20h), horários em que o trânsito costuma ser mais intenso.

Ressalta-se que foi considerado o pico de lentidão média mensal a cada meia hora para construir as bases de dados lentidão manhã e lentidão noite a partir da base fornecida pela CET. Foi realizada a análise mensal dos dados.

### 3.2 ANÁLISE GRÁFICA

O Gráfico 1 apresenta os picos de lentidão média no período da manhã e da noite na cidade de São Paulo de 2001 a 2012. Nota-se que o trânsito no período da noite é maior do que no período da manhã. É provável que boa parte das pessoas que utilizam transporte próprio para chegarem aos

Gráfico 1: Picos de lentidão média no período da manhã e da noite na cidade de São Paulo de 2001 a 2012



seus trabalhos cheguem mais cedo do que o horário praticado pelo empregador, porém, saem do trabalho praticamente entre 17 e 18h, o que, entre outras especulações, pode acarretar em um trânsito logicamente maior no período noturno.

No período da manhã são visivelmente notáveis as sazonalidades ocorridas nos meses de julho e dezembro através de uma queda brusca dos picos de lentidão, tal fato deve-se muito provavelmente ao período de férias, meses em que o tráfego da cidade fica menor.

É provável que o período da noite não possua essa sazonalidade tão nítida pelo fato das férias escolares proporcionarem maior alívio do trânsito de manhã do que no período da noite, já que existe um número menor de escolas funcionando a noite.

Do período observado, 2001 a 2012, o pico tanto da lentidão no período da noite como no período da manhã ocorrem no ano de 2008, sendo 129,7 km no período da manhã em março e 158 km no período da noite em maio. Tal fato pode ter relação com o do crescimento brusco acima da média da frota de veículos ocorrido em março: “A

cidade ganhou mais de 48 mil novos veículos no mês, uma alta de 64% em relação à média mensal de crescimento de 2007.” (BARTHOLOMEU, 2008).

Após os picos em 2008 tanto o trânsito da noite como o trânsito da manhã tendem a diminuir e se estabilizar, mas principalmente no período da noite, a lentidão no ano de 2012 volta a crescer. Pode-se inferir que esse comportamento está relacionado à redução do IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) em até 7 pontos percentuais de acordo com a potência do motor e do local em que o veículo é produzido.

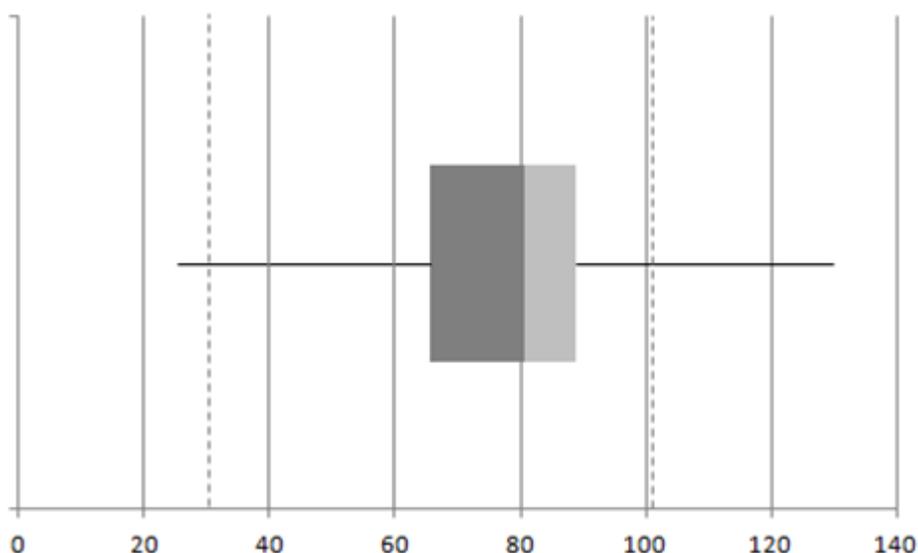
*“A redução do IPI está em vigor desde maio deste ano, quando foi anunciada. Em agosto, sua prorrogação foi garantida até o fim de outubro, quando houve um novo adiamento do prazo, que ficou para o fim deste ano.”* (NOTÍCIAS AUTO ESPORTE GLOBO, 2012).

O crescimento da venda de automóveis foi tão brusco que as montadoras não conseguiram acompanhar a demanda: “O consumidor que deixou para comprar o carro novo nos últimos meses vem se deparando com a falta de alguns

Tabela 1: Medidas de posição da lentidão do trânsito de São Paulo no período manhã

n	Mediana	Mínimo	Máximo	1º Quartil	3º Quartil
144	80,65	25,40	129,70	65,60	88,85

Gráfico 2: Box-plot dos picos de lentidão média no período da manhã na cidade de São Paulo de 2001 a 2012



modelos para pronta-entrega, especialmente os lançamentos e versões mais básicas, com motorização 1.0. Assim, ele é obrigado a recorrer à fila de espera e aguardar um prazo de 45 a 90 dias.” (TROVÃO, 2012)

### 3.3 MEDIDAS DESCRITIVAS

A Tabela 1 apresenta algumas medidas de posição relacionadas a lentidão do trânsito de São Paulo no período da manhã. Nota-se que nos 144 meses, a menor lentidão de trânsito foi de 25,4 km e a maior foi de 129,7 km.

A mediana foi de 80,65 km, o que significa dizer que em metade dos meses a lentidão foi menor do que 80,65 km. Por meio do primeiro quartil conclui-se que em 25% dos meses a lentidão é menor do que 65,60 km e pelo terceiro quartil observa-se que em 75% dos meses a lentidão é menor do que 88,85 km.

As medidas de posição podem ser graficamente visualizadas no Gráfico 2, que apresenta o box-plot da variável lentidão no período da manhã. Nota-se a existência de outliers, pois existem observações que ultrapassam o limite inferior e superior do box-plot.

O cálculo da média, desvio padrão, coeficiente de variação e o coeficiente de assimetria foram suprimidos, pois essas medidas são suscetíveis a valores discrepantes e a base estudada possui outliers.

A Tabela 2 apresenta algumas medidas de posição relacionadas a lentidão do trânsito de São Paulo no período da noite. Nota-se que nos 144 meses, 63,2 km foi a menor lentidão de trânsito registrada e 158 km foi a maior lentidão de trânsito registrada. A mediana foi de 112,75 km, o que significa que metade das observações

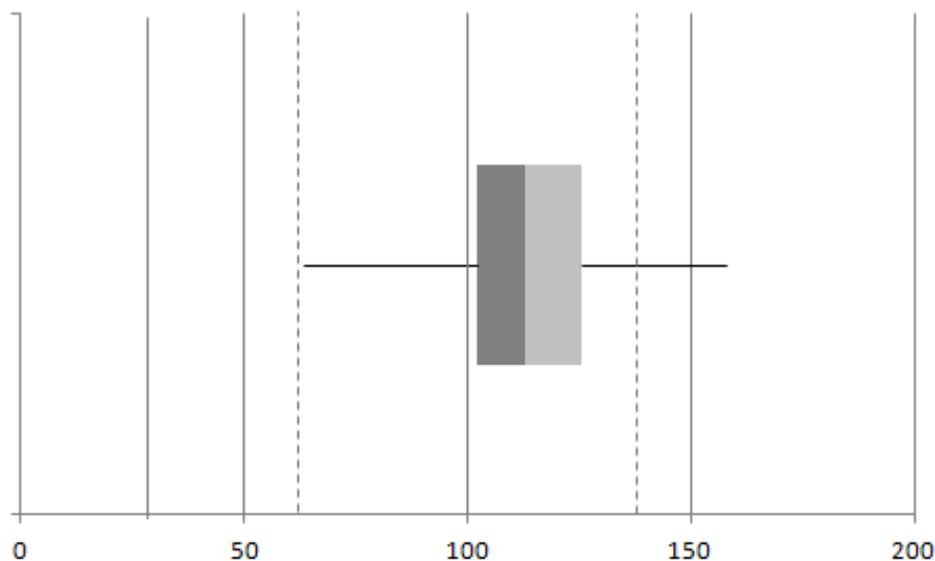
registradas são menores que 112,75 km. Observa-se que 25% das lentidões meses estão abaixo de 101,60 km e 75% das lentidões meses estão abaixo de 125,6 km.

As medidas de posição podem ser visualizadas por meio do Gráfico 3, que apresenta o box-plot da variável lentidão meses no período da noite. Assim como verificado na lentidão do período da manhã, nota-se a existência de outliers também no período da noite, pois existem observações que ultrapassam o limite superior do box-plot.

Tabela 2: Medidas de posição e dispersão da lentidão do trânsito de São Paulo no período noite

n	Mediana	Mínimo	Máximo	1º Quartil	3º Quartil
144	112,75	63,20	158,00	101,60	125,60

Gráfico 3: Box-plot dos picos de lentidão média no período da noite na cidade de São Paulo de 2001 a 2012



## 4 MODELOS DE SÉRIES TEMPORAIS

### 4.1 REFERENCIAL TEÓRICO - MODELO ARMA

O modelo ARMA (Autoregressivo de Médias Móveis), apresentado por George E.P. Box e Gwilym M. Jenkins, também chamado de modelo Box-Jenkins, tem sido provavelmente, o modelo mais utilizado para previsão de séries temporais. Box, Jenkins e Reinsel (2008, p. 79), Brockwell e Davis (2006, p. 274) e Wei (2006, p. 166) representam o modelo ARMA(p,q), como:

$$y_t = \mu + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \theta_1 e_{t-1} + \theta_2 e_{t-2} + \dots + \theta_q e_{t-q} \quad (1)$$

em que p é a ordem da parte autoregressiva, q a ordem da parte média móvel,  $\mu$  a média da série,  $\phi_i$  o i-ésimo parâmetro autorregressivo e  $\theta_j$  o j-ésimo parâmetro de médias móveis.

### 4.2 RESULTADOS

#### 4.2.1 SÉRIE TEMPORAL PARA A LENTIDÃO DA MANHÃ

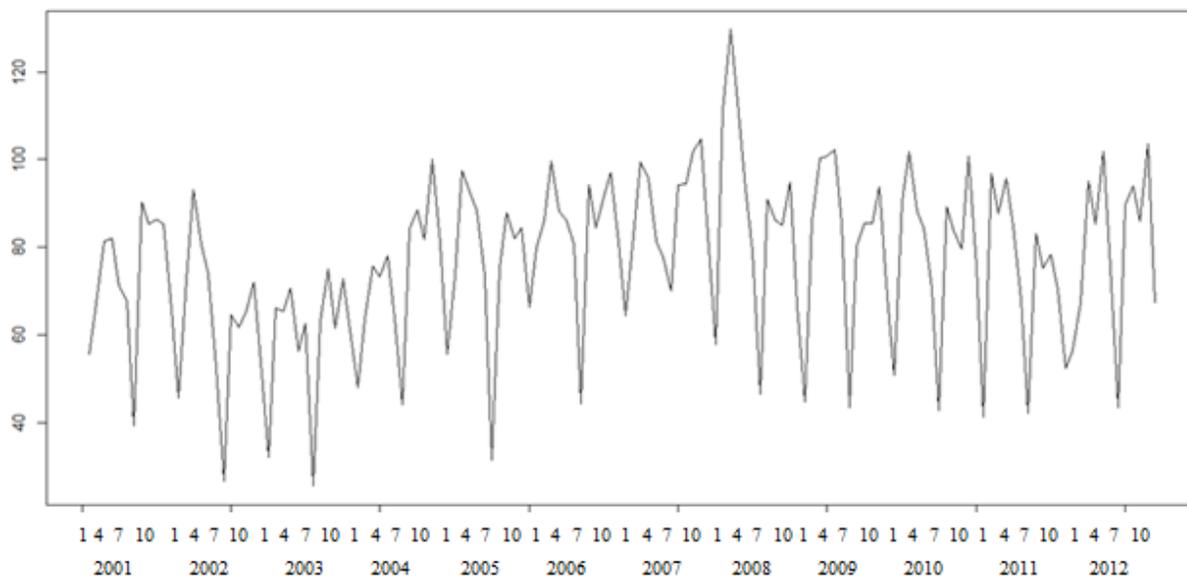
O Gráfico 4 apresenta a Lentidão do trânsito (km) no período da manhã na cidade de São Paulo de 2001 a 2012. O método de Box-Jenkins é válido para séries estacionárias. Visualmente, a série apresentada parece não ser estacionária.

Para verificar se esta série é realmente não estacionária realizou-se o teste de Dickey-Fuller. O nível descritivo do teste foi de 0,6538.

Como este valor é superior a  $\alpha = 0,10$  há evidências de que a série não é estacionária. Como o método de Box-Jenkins tem como suposição a estacionariedade a metodologia não pode ser aplicada a essa série.

Desta forma, é necessário fazer uma transformação para garantir a estacionariedade da série.

Gráfico 4: Lentidão do trânsito em km no período da manhã na cidade de São Paulo de 2001 a 2012



O Gráfico 5 apresenta a série transformada por meio da seguinte variação logarítmica:  $\ln\left(\frac{\text{LentidãoMêsAtual}}{\text{LentidãoMêsAnterior}}\right)$ .

Nota-se que a série parece ser estacionária, pois oscila em torno de uma média constante. Essa possível estacionariedade é confirmada pelo teste de Dickey-Fuller. Como o nível descritivo obtido foi de 0,01, que é menor do que  $\alpha = 0,10$ , portanto, há evidências de que a série transformada é estacionária.

Para a série transformada, denotada por  $L_{tm}$  (Lentidão do Trânsito do período da Manhã) foi ajustado um modelo ARMA incompleto e os parâmetros estimados são apresentados na Tabela 3. Como o nível descritivo associado a todos os coeficientes são menores do que 0,10, há evidência de que todos os parâmetros são significantes para o modelo.

Os parâmetros foram estimados com dados de janeiro de 2001 a outubro de 2008 e as previsões serão feitas de novembro de 2008 a dezembro de

2012, isto é, a base foi dividida em 144 observações para construção do modelo e 50 observações para validação do modelo.

O modelo ajustado para a série temporal mensal da lentidão do trânsito no período da manhã é apresentado na expressão (2).

$$L_{tm} = 0,36 * L_{tm-6} - 0,18 * L_{tm-16} + 0,37 * L_{tm-18} - 0,17 * L_{tm-20} - 0,85 * E_{tm-1} - 0,23 * E_{tm-6} + 0,26 * E_{tm-12} \quad (2)$$

O Gráfico 6 apresenta a lentidão registrada e lentidão estimada (pelo modelo apresentado na expressão (2)) do trânsito (km) no período da manhã na cidade de São Paulo no período de janeiro de 2001 a setembro de 2012.

Pode-se verificar visualmente o erro cometido entre a lentidão registrada e a lentidão estimada pelo modelo.

Gráfico 5: Série Lentidão do trânsito em km no período da manhã na cidade de São Paulo de 2001 a 2012 transformada através de logaritmo neperiano

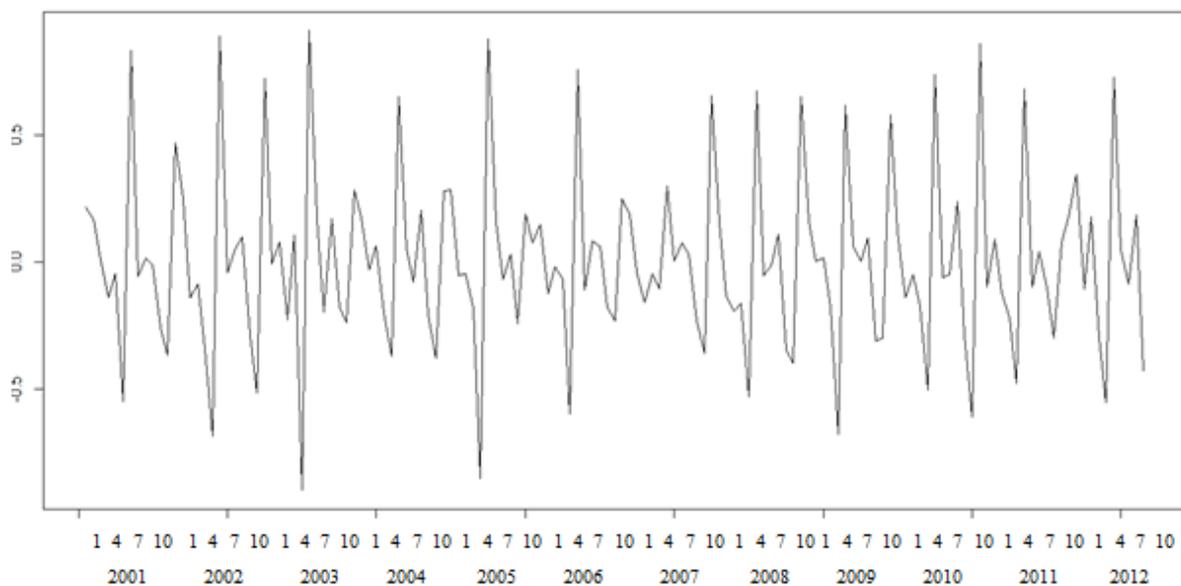
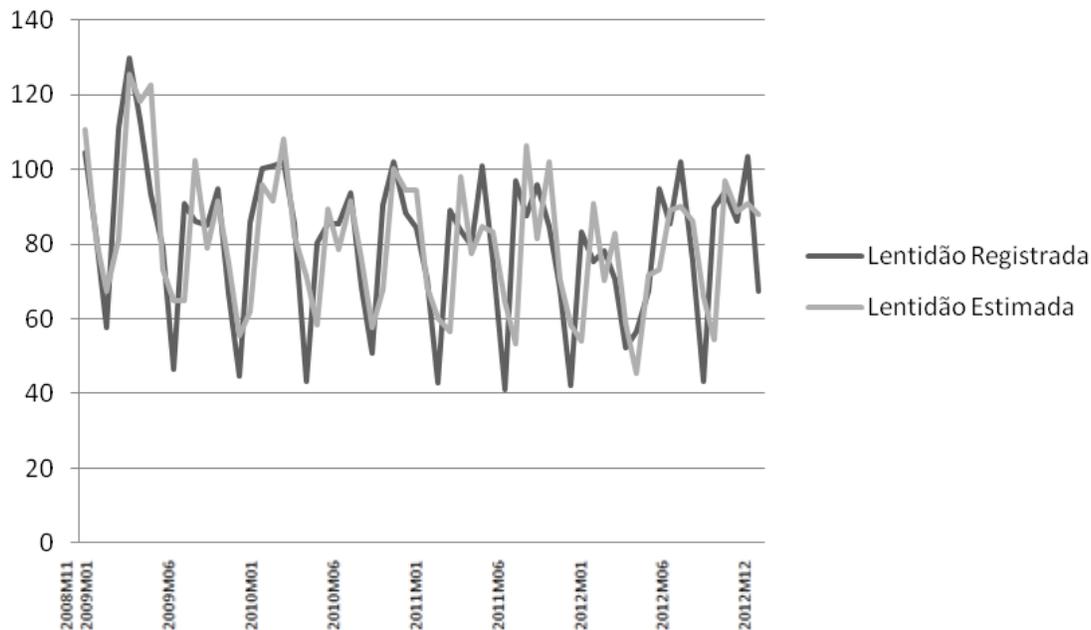


Tabela 3: Parâmetros estimados do modelo ARMA e nível descritivo

Coeficientes	Estimativa	Nível Descritivo
ar6	0,36	0,00
ar16	-0,18	0,00
ar18	0,37	0,00
ar20	-0,17	0,01
ma1	-0,85	0,00
ma6	-0,23	0,00
ma12	0,26	0,00

O

Gráfico 6: Lentidão registrada e lentidão estimada do trânsito em km no período da manhã na cidade de São Paulo de novembro de 2008 a dezembro de 2012



A Tabela 4 apresenta a lentidão registrada e lentidão estimada pelo modelo no período da

manhã para o período de novembro de 2008 a dezembro de 2012.

Tabela 4: Lentidão registrada e lentidão estimada do trânsito no período da manhã

Data	Lentidão Registrada	Lentidão Estimada
2008.11	104.60	110.52
2008.12	82.80	81.85
2009.01	57.80	67.45
2009.02	111.20	81.32
2009.03	129.70	125.64
2009.04	113.20	118.20
2009.05	93.30	122.51
2009.06	79.10	73.19
2009.07	46.50	64.93
2009.08	91.00	64.71
2009.09	86.10	102.44
2009.10	85.00	78.80
2009.11	94.80	91.57
2009.12	66.80	74.83
2010.01	44.80	55.38
2010.02	85.90	61.86
2010.03	100.40	96.05
2010.04	100.80	91.55
2010.05	102.20	108.33
2010.06	85.50	82.20
2010.07	43.30	71.50
2010.08	80.30	58.45
2010.09	85.40	89.26
2010.10	85.50	78.69
2010.11	93.80	91.67
2010.12	68.60	75.93
2011.01	50.80	57.78
2011.02	90.50	67.67
2011.03	101.90	100.20
2011.04	88.40	94.47
2011.05	84.20	94.43
2011.06	70.70	68.53
2011.07	42.70	60.04
2011.08	89.10	56.43
2011.09	83.80	98.14
2011.10	79.60	77.59
2011.11	100.80	84.81
2011.12	75.60	83.15
2012.01	41.10	64.69
2012.02	96.90	53.43
2012.03	87.60	106.20
2012.04	95.80	81.61
2012.05	84.80	101.86
2012.06	68.00	70.50
2012.07	42.10	58.56
2012.08	83.20	54.03
2012.09	75.20	90.83
2012.10	78.30	70.46
2012.11	70.50	83.01
2012.12	52.30	58.92

O EPAM (Erro Percentual Absoluto Médio) ou MAPE (Mean Absolute Percentage Error), proposto por Lewis (LEWIS, 1982) é apresentado na expressão (3) e pode ser utilizado como medida de erro do modelo ajustado.

$$EPAM = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{\hat{y}_t} \right| \quad (3)$$

Sendo  $y_t$  a lentidão registrada no mês  $t$ ,  $\hat{y}_t$  a lentidão estimada no mês  $t$  e  $n$  a quantidade de observações registradas.

Segundo Lin, o ajuste do modelo pode ser classificado como excelente, bom, aceitável ou ruim para valores de EPAM menores que 10%, 10% a 20%, 20% a 50% e maiores que 50%, respectivamente (LIN, 1998, p. 47-57).

Tem-se que o EPAM da lentidão do trânsito no período da manhã é 18% aproximadamente,

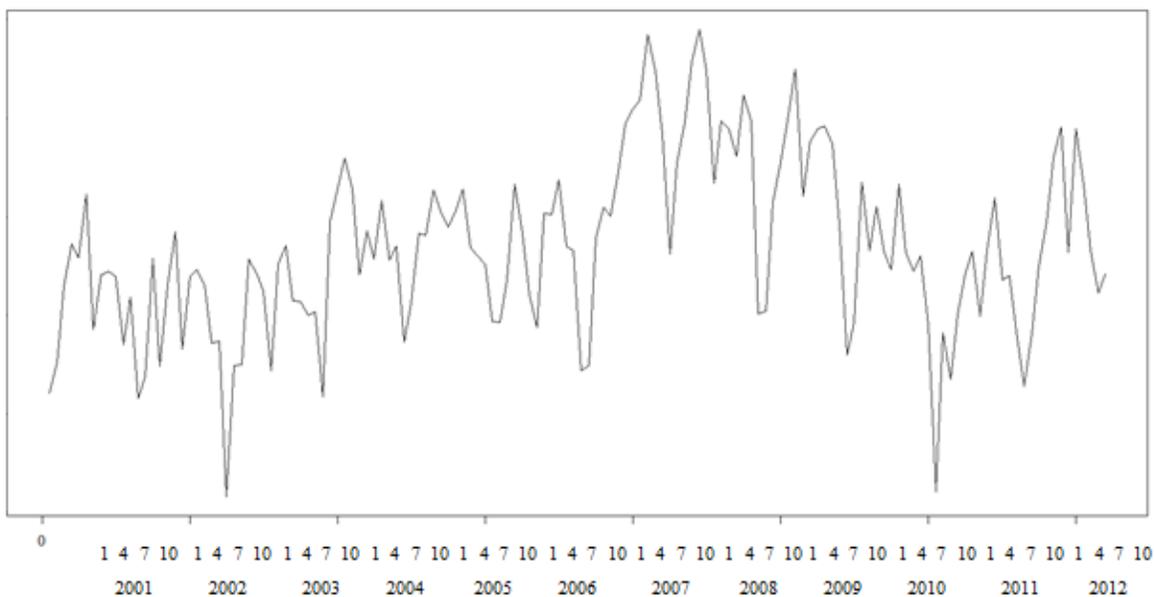
portanto, pode-se considerar o modelo de trânsito no período da manhã como um bom modelo de previsão.

#### 4.2.2 SÉRIE TEMPORAL LENTIDÃO NOITE

O Gráfico 7 apresenta a Lentidão do trânsito (km) no período da noite na cidade de São Paulo de 2001 a 2012. Nota-se que a série apresentada parece não ser estacionária. Para verificar se esta série é estacionária realizou-se o teste de Dickey-Fuller.

O nível descritivo do teste foi de 0,4101. Como o nível descritivo é superior a  $\alpha = 0,10$  há evidências de que a série não é estacionária. Desta forma, é necessário fazer uma transformação para a utilização da metodologia de Box-Jenkins.

Gráfico 7 – Lentidão do trânsito em km no período da noite na cidade de São Paulo de 2001 a 2012

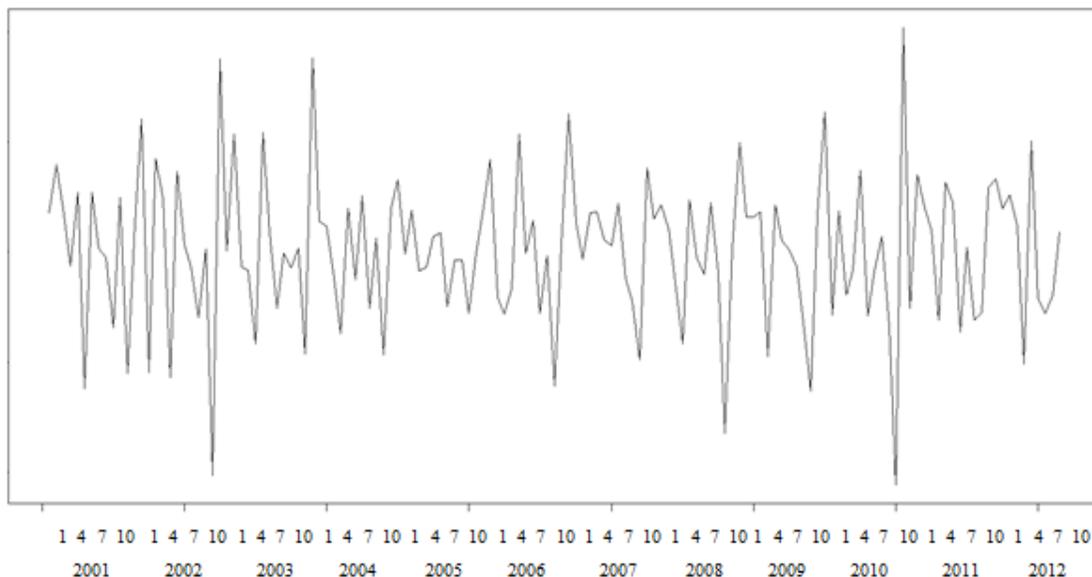


O Gráfico 8 apresenta a série transformada por meio da seguinte variação logarítmica:  $\ln\left(\frac{\text{LentidãoMêsAtual}}{\text{LentidãoMêsAnterior}}\right)$ . O Gráfico 8 apresenta esta série transformada. Nota-se que a série parece ser estacionária. A estacionariedade é confirmada pelo teste de Dickey-Fuller, pois o nível descritivo obtido foi de 0,01, que é menor do que  $\alpha = 0,10$ .

Para a série transformada, denotada por  $L_{tn}$  (Lentidão do Trânsito do período da Noite) foi ajustado um modelo ARMA incompleto e os parâmetros estimados são apresentados na Tabela 4. Como o nível descritivo associado a todos os coeficientes são menores do que 0,10, há evidência de que todos são significantes para o modelo.

Os parâmetros foram estimados com dados de janeiro de 2001 a setembro de 2008. As previsões serão feitas de outubro de 2008 a dezembro de 2012, isto é, a base foi dividida em 144 observações para construção do modelo e 50 observações para validação do modelo.

Gráfico 8: Série Lentidão do trânsito em km no período da noite na cidade de São Paulo de 2001 a 2012 transformada através de logaritmo neperiano



O modelo ajustado para a série temporal mensal da lentidão do trânsito no período da noite é apresentado na expressão (4).

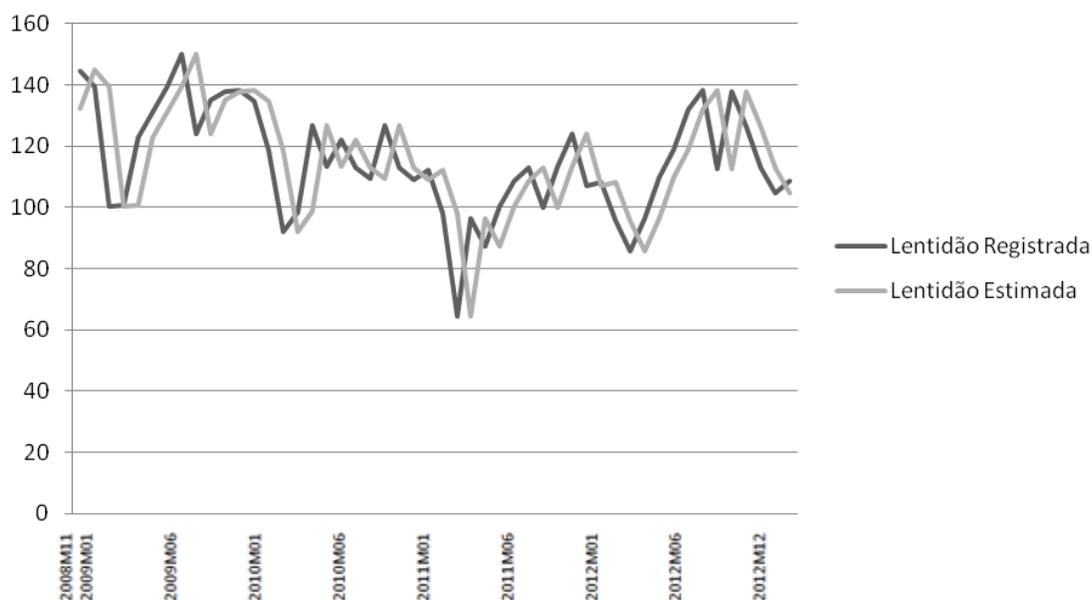
$$L_{tn} = -0,18526 * L_{tn-5} + 0,26372 * L_{tn-18} - 0,41906 * E_{tn-1} - 0,23941 * E_{tn-8} - 0,21573 * E_{tn-10} + 0,18627 * E_{tn-11} + 0,19693 * E_{tn-12} - 0,22276 * E_{tn-19} \quad (4)$$

O Gráfico 9 apresenta a lentidão registrada e lentidão estimada (pelo modelo apresentado na expressão (4)) do trânsito (km) no período da noite na cidade de São Paulo no período de janeiro de 2001 a setembro de 2012. Pode-se verificar visualmente o erro cometido entre a lentidão registrada e a lentidão estimada pelo modelo.

Tabela 4: Parâmetros estimados do modelo ARMA e nível descritivo

Coeficientes	Estimativa	Nível Descritivo
ar5	-0,18526	0,02832
ar18	0,26372	0,00184
ma1	-0,41906	0,00000
ma8	-0,23941	0,00241
ma10	-0,21573	0,01148
ma11	0,18627	0,04010
ma12	0,19693	0,02766
ma19	-0,22276	0,00366

Gráfico 9: Lentidão registrada e lentidão estimada do trânsito em km no período da manhã na cidade de São Paulo de novembro de 2008 a dezembro de 2012



A Tabela 5 apresenta a lentidão registrada e lentidão estimada pelo modelo no período da noite para o período de novembro de 2008 a dezembro de 2012.

Utilizando o EPAM apresentado na expressão (3), tem-se que o EPAM da lentidão do trânsito no período da noite é 12% aproximadamente, portanto, pode-se considerar o modelo de trânsito no período da manhã como um bom modelo de previsão.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou um estudo conciso sobre a lentidão do trânsito na cidade de São Paulo a fim de estabelecer um modelo preditivo de trânsito e disponibilizar insumos para estudos de maior profundidade.

Através dos modelos de séries temporais verificou-se que, tanto a lentidão do trânsito no período da manhã, quanto a lentidão do trânsito

Tabela 5: lentidão registrada e lentidão estimada do trânsito no período da noite

Data	Lentidão Registrada	Lentidão Estimada
2008.11	144.70	132.20
2008.12	139.40	144.73
2009.01	100.30	139.32
2009.02	100.80	100.27
2009.03	122.90	100.83
2009.04	131.00	122.97
2009.05	139.50	130.97
2009.06	150.00	139.56
2009.07	124.10	149.97
2009.08	135.20	124.09
2009.09	137.90	135.18
2009.10	138.30	137.88
2009.11	134.70	138.28
2009.12	118.50	134.73
2010.01	92.00	118.49
2010.02	98.50	92.01
2010.03	126.90	98.53
2010.04	113.20	126.90
2010.05	122.00	113.17
2010.06	112.80	122.01
2010.07	109.20	112.78
2010.08	126.60	109.19
2010.09	112.80	126.61
2010.10	109.00	112.82
2010.11	112.10	108.99
2010.12	98.00	112.11
2011.01	64.20	98.00
2011.02	96.50	64.20
2011.03	87.10	96.49
2011.04	100.20	87.10
2011.05	108.50	100.19
2011.06	113.00	108.51
2011.07	99.80	113.00
2011.08	113.20	99.80
2011.09	123.80	113.21
2011.10	107.10	123.80
2011.11	108.00	107.09
2011.12	95.50	108.00
2012.01	85.60	95.50
2012.02	96.30	85.60
2012.03	109.90	96.30
2012.04	118.90	109.91
2012.05	131.90	118.90
2012.06	138.10	131.90
2012.07	112.70	138.10
2012.08	137.80	112.70
2012.09	126.50	137.80
2012.10	113.10	126.50
2012.11	104.60	113.10
2012.12	108.40	104.60

no período da noite estão correlacionadas com o tempo, isto é, são afetadas pelo trânsito ocorrido em dias anteriores. No período da manhã, o trânsito de hoje é afetado pelo trânsito de 6, 16, 18 e 20 dias atrás.

Nota-se, pelos coeficientes, que o trânsito registrado há 6 e 18 dias atrás aumenta a lentidão do trânsito hoje e o trânsito ocorrido há 16 e 20 dias atrás diminui a lentidão hoje.

No período da noite, o trânsito de hoje é afetado pelo trânsito de 5 e 18 dias atrás. Nota-se, pelos coeficientes, que o trânsito registrado há 18 dias aumenta a lentidão do trânsito hoje e o trânsito ocorrido há 5 dias diminui a lentidão hoje.

Tendo em mãos o tempo restante até atingirmos um pico de trânsito não aceitável e, considerando o grande volume de dados disponíveis além dos relatados nesse estudo, este artigo pode inspirar outros pesquisadores a identificar mais variáveis significativas para o modelo que descreve a lentidão do trânsito, sempre com o intuito de gerar conhecimento útil para a tomada de decisão estratégica, como por exemplo, identificar qual fator impulsiona mais a lentidão do trânsito e permitir ao governo agir com precisão e com prioridades definidas e assertivas a tempo.

## REFERÊNCIAS

BANZAI, Renato e DIACOPULOS, Simone. Chuva causa congestionamento recorde para o horário em São Paulo, Terra Notícias, 26 de junho de 2013. Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/brasil/transito/chuva-causa-congestionamento-recorde-para-o-horario-em-sao-paulo,922c03a46208f310VgnVCM20000099cceb0aRCRD.html>>. Acesso em: 13/07/2014.

BARTHOLOMEU, Luisa. Frota de veículos em São Paulo cresce acima da média em março e amplia o "nó" do trânsito na maior cidade do país, UOL

Notícias, 24 de abril de 2008. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/ultnot/especial/2008/transito/2008/04/24/ult5848u12.jhtm>>. Acesso em: 13/07/2014.

BOX, G.E.P.; JENKINS, G.M.; REINSEL, G.C. Time series analysis: Forecasting and Control, 4th ed., Hoboken: Wiley, 2008.

BROCKWELL, P.J.; DAVIS, R.A. Time series: Theory and Methods, 2nd ed., New York: Springer, 2006.

CARVALHO, Marivaldo. Trânsito: São Paulo registra o maior congestionamento da história, UOL Notícias, 26 de julho de 2013. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2013/07/26/transito-sao-paulo-registra-quase-200-km-de-vias-congestionadas.htm>>. Acesso em: 13/07/2014.

DNIT. Ministério dos Transportes, Manual de Estudos de Tráfego, Rio de Janeiro, 2006, Publicação IPR - 723. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual\\_estudos\\_trafego.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual_estudos_trafego.pdf)>. Acesso: 23/08/2013.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público, 1999.

IZO, Alexandre. Trânsito de quase 200 km já dura cinco dias na Rússia, Notícias Auto Esporte Globo, 04 de dezembro de 2012. Disponível em: <<http://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2012/12/transito-de-quase-200-km-ja-dura-cinco-dias-na-russia.html>>. Acesso em: 13/07/2014.

LEWIS, C. D. Industrial and Business Forecasting Method, London, Butterworth Scientific, 1982.

LIN, J. G. Feasibility study on prediction of properties of municipal solid waste with time series models, Journal of Hazardous Materials, 1998.

NOTÍCIAS AUTO ESPORTE GLOBO. Governo anuncia prorrogação de IPI reduzido até junho de 2013. Dezembro, 2012. Disponível em: <http://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2012/12/governo-anuncia-prorrogacao-de-ipi-reduzido-ate-junho-de-2013.html>. Acesso em: 13/07/2014.

SIMONETTI, Eliana. Favelões Urbanos. Veja, São Paulo, ano 32, n.30, 28 de julho de 1999, p.70-78. Disponível em: <[http://veja.abril.com.br/280799/p\\_070.html](http://veja.abril.com.br/280799/p_070.html)>. Acesso em: 13/07/2014.

THE ECONOMIST. Mathematicians make headway in understanding traffic congestion. Setembro, 2010. Disponível em: <http://www.economist.com/node/16990741>. Acesso em: 13/07/2014.

TROVÃO, Renyere. IPI reduzido é desperdiçado, Gazeta do Povo, 09 de dezembro de 2012. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/economia/conteudo.phtml?id=1326136&tit=IPI-reduzido-e-desperdicado>>. Acesso em: 13/07/2014.

WEI, W.W.S.; Time Series Analysis. Univariate and Multivariate Methods, 2nd ed., New York: Pearson, 2006.