

## **MODELAGEM EXPONENCIAL E DE POISSON PARA DADOS REAIS DE MOBILIDADE URBANA**

### **RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)**

Maria Carolina Barbosa Jurema (UNESP, Bolsista  
PIBIC/CNPq)  
E-mail: mariacarolinabj@gmail.com

Dr. Solon Venâncio de Carvalho (LAC/CTE/INPE,  
Orientador)  
E-mail: solon@inpe.com.br

Dr. Leonardo Bacelar Lima Santos (CEMADEN/MCTI, Orientador)  
E-mail: santoslbl@gmail.com

Julho de 2011

## Resumo

O presente trabalho teve como objeto de estudo dados reais de mobilidade urbana referentes à cidade de São José dos Campos/SP aplicados a modelos estatísticos computacionais. O projeto deu sequência às investigações do primeiro ano de bolsa PIBIC (2014.2 a 2015.1), que foi premiado com menção honrosa no SICINPE 2015. O modelo estatístico gravitacional foi aplicado aos dados reais (Pesquisa Origem-Destino) de fluxo populacional e distância entre as Zonas de Tráfego da cidade de São José dos Campos, gerando gráficos de fluxo por distância entre zonas. O mesmo tipo de aplicação do modelo gravitacional também foi realizado empregando valores de tempo do trajeto entre os pares de zonas, em substituição aos valores de distância, e os mesmos gráficos foram plotados. Para a aplicação do modelo gravitacional, nesta segunda etapa, decidiu-se que seria mais viável criar um simples código em Linguagem C para inserir os dados de entrada e variáveis presentes na fórmula do modelo, e gerar um arquivo de saída com a situação já modelada. Os resultados considerando o critério de distância espacial foram mais próximos aos dados observados do que os resultados referentes ao critério temporal, e, em ambos os casos (espaço e tempo) as análises iniciais das distribuições estatísticas sugeriram que nem o ajuste exponencial nem o de Poisson representam adequadamente os dados. Durante este segundo período do projeto, foi também estudada a relação entre mobilidade urbana, fluxos populacionais e a rede de drenagem de São José dos Campos, destacando a possível influência negativa (impactos de desastres hidrológicos) dos rios e córregos existentes na cidade sobre o deslocamento da população. Para este outro viés do projeto, utilizou-se dados referentes à delimitação de bacias hidrográficas, bem como das zonas de tráfego e valores de fluxo. Montou-se então, submatrizes de fluxo populacional de acordo com cada bacia hidrográfica. Durante o projeto, foi fundamental exercer a prática da utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), principalmente o TerraView, desenvolvido pelo INPE, e ambientes de desenvolvimento e compilação para os códigos em Linguagem C.

## Introdução

Estudos voltados a assuntos de mobilidade urbana, transportes e interação populacional no meio físico das cidades vêm progredindo ao longo dos anos. Mobilidade urbana pode ser compreendida, basicamente, como o deslocamento de pessoas e bens em um espaço urbano, conforme Araújo (2012). O desenvolvimento, muitas vezes desordenado, dos municípios brasileiros e o síncrono avanço tecnológico, propiciam a elaboração destes estudos, que utilizam ferramentas técnicas para abordar e gerar resultados sobre questões públicas de cunho socioambiental.

De acordo com Santos (1988), a materialidade construída (fixa) é a fonte de relações sociais, que também se dão por intermédio dos objetos. Os fluxos acontecem, portanto, pelas interações sociais ocorrentes sobre a rede fixa. Entre estas relações estão inclusas viagens diárias ao trabalho, migrações, e todo tipo de movimento da massa populacional através do território.

Dando continuidade ao período anterior do projeto, este estudo iniciou-se com a aplicação de modelos de interação espacial, destacando o modelo gravitacional, utilizado para estudos de fluxo populacional. De acordo com Santos (2014), os modelos gravitacionais possibilitam o ajuste teórico do movimento de pessoas de um lugar a outro de determinada região, quando não há um grande volume de dados empíricos de mobilidade. Para aplicação deste modelo gravitacional, deve-se empregar dados OD (Origem-Destino) de fluxo populacional atrelados a dados de distância ou de tempo entre os dois pontos determinantes do caminho.

No período anterior da bolsa exploraram-se alguns conceitos iniciais que estão ligados a estudos de mobilidade urbana, como a definição de Zonas de Tráfego (ZT) e dados de Origem-Destino (OD). Tendo isso em mente, define-se como Zonas de Tráfego as divisões de uma região para estudos de transportes, compreendidas por polígonos inseridos nesta região. Já os Dados de Origem-Destino se reportam a deslocamentos diários de um lugar de Origem a um lugar de Destino. Exemplificando o conceito de Zonas de Tráfego, a seguir, tem-se a Figura 1, representativa do município de São José dos Campos com suas respectivas subdivisões. O território de São José dos Campos abrange 55 zonas, sendo que 51 dessas são consideradas Zonas de Tráfego, e as 4 demais são vazios urbanos ou rurais.

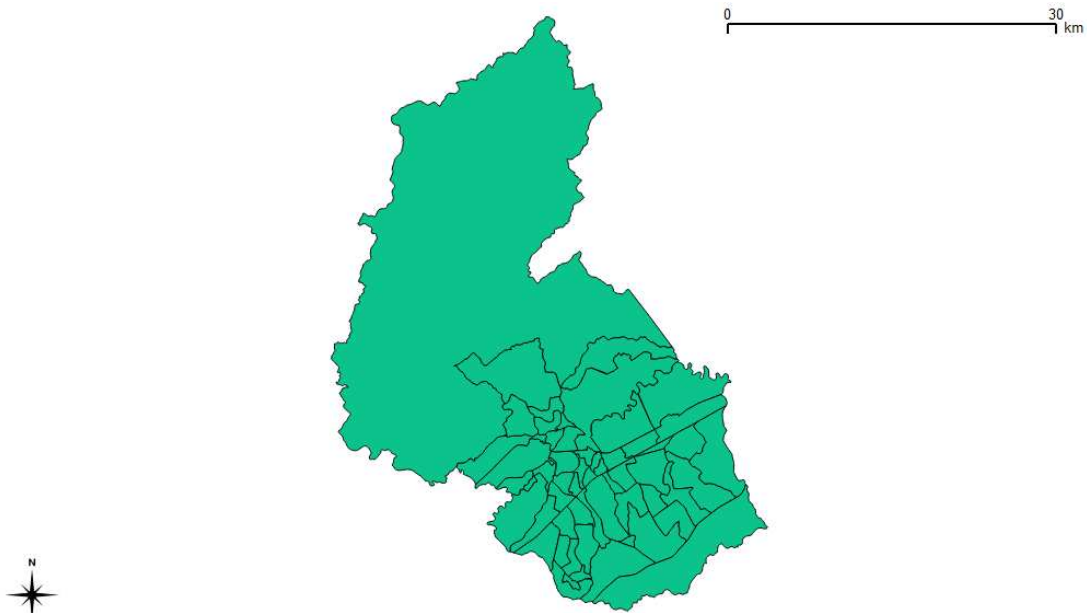


Figura 1: Zonas de Tráfego de São José dos Campos.

A problemática que envolve inundações ocorrentes num espaço urbano pode ser também relacionada aos fluxos populacionais. Os alagamentos urbanos são considerados como importantes impactantes sobre a sociedade. Com o desenvolvimento das cidades e regiões metropolitanas ocorre a impermeabilização do solo através de telhados, asfalto, calçadas e etc. Assim sendo, a parcela de água que naturalmente infiltrava no solo, passa a escoar pelos condutos, retendo-se na superfície e aumentando o escoamento superficial. De acordo com Tucci (2005), as consequências da falta de planejamento e regulamentação são sentidas em, praticamente, todas as cidades de médio e grande portes do país. Devido a estas questões, é viável manter e desenvolver estudos sobre as influências negativas que os impactos gerados pelas inundações podem causar sobre a dinâmica dos fluxos populacionais urbanos.

Este relatório tem como objetivo destacar as principais atividades desenvolvidas durante o período do projeto de iniciação científica, com financiamento CNPq, entre julho de 2015 e julho de 2016, e representa uma continuação do projeto de mesmo título finalizado no ano anterior.

## Materiais e Métodos

Dando continuidade ao projeto iniciado no ano anterior, iniciou-se este período de iniciação científica ainda com estudos de fluxos e deslocamentos populacionais do município de São José dos Campos.

Num primeiro momento, analisou-se novamente a aplicabilidade do Modelo Gravitacional, porém empregando agora dados de distância obtidos via rotas do GoogleMaps entre as zonas de tráfego. Para aplicar o modelo, foram também utilizados, novamente, dados reais fornecidos pelo IPPLAN (Instituto de Pesquisa, Administração e Planejamento), relativos ao fluxo da população de São José dos Campos nas diferentes zonas de tráfego existentes na cidade.

Para o estudo da aplicação do Modelo Gravitacional, decidiu-se que seria viável criar um programa genérico que pudesse ser utilizado em diferentes aplicações. Para tanto, inicialmente, focou-se o trabalho na implantação de um programa em linguagem C que se baseia no Modelo Gravitacional de interação espacial, capaz de estimar novos valores de deslocamento populacional.

A fórmula geral do Modelo Gravitacional utilizada nas modelagens deste projeto é dada por:  $f(k,\lambda) = k*(pop[i]*pop[j]/(dist[i,j]^\lambda))$ , onde  $\lambda$  e  $k$  são os parâmetro do modelo gravitacional,  $pop[i]$  e  $pop[j]$  são os valores de população das duas ZTs em questão, e  $dist[i,j]$  é a distância entre estas duas ZTs.

Este código desenvolvido fornece um arquivo de saída que compõe uma tabela, a qual é inserida no programa Origin 7.0 para plotagem de gráficos. Esta tabela fornecida pelo código apresenta valores de população das zonas de tráfego de saída e de chegada, bem como os valores de distância de cada percurso e os valores de fluxo populacional de cada viagem; além disso, inclui os valores de fluxo estimados pelo Modelo Gravitacional, calculados dentro do código. Os valores das constantes da fórmula geral característica do Modelo Gravitacional são facilmente alterados dentro do código, o que permite uma melhor escolha destes valores de acordo com os resultados obtidos graficamente. Para implantação deste código, bem como dos códigos elaborados no período anterior do projeto, utilizaram-se programas gratuitos de desenvolvimento de projetos em linguagem C e C++, como o Falcon e Dev C++.

Além da aplicação dos dados de distância entre as Zonas de Tráfego de São José dos Campos no Modelo Gravitacional, estudou-se também o comportamento da relação entre os mesmos dados de fluxo com a variável tempo. Estes valores de tempo também foram obtidos via rotas do GoogleMaps. Além do modelo gravitacional, aplicou-se também os dados de fluxo e distância entre zonas ao ajuste exponencial e de Poisson.

Por outro lado, durante este período de pesquisa, também foram estudados alguns casos de análises espaciais da malha de São José dos Campos e da bacia do Paraíba do Sul. Para estas análises, observou-se a influência das Zonas de Tráfego de SJC sobre alguns dos rios que compõem a bacia do Paraíba do Sul que se localizam dentro da cidade. Portanto, utilizou-se softwares de análise espacial, SIG, como o ArcGi, fornecido pela UNESP, e o TerraView, gratuito, fornecido e desenvolvido pelo INPE, como visualizador de dados geográficos, em que foram aplicados dados.

## Desenvolvimento e Resultados

A aplicação dos dados reais de distância entre as Zonas de Tráfego de São José dos Campos permitiu a elaboração de gráficos que relacionam esta variável (distância) com o fluxo populacional (Dados Origem-Destino). Como já foi explicitado anteriormente, estes dados reais de distância foram obtidos via rota do *GoogleMaps*, e para isso foram considerados dois parâmetros que diferenciam dois tipos de distância: estimando o trajeto a pé e motorizado. A seguir, tem-se, portanto, dois gráficos que relacionam distância e fluxo populacional real.

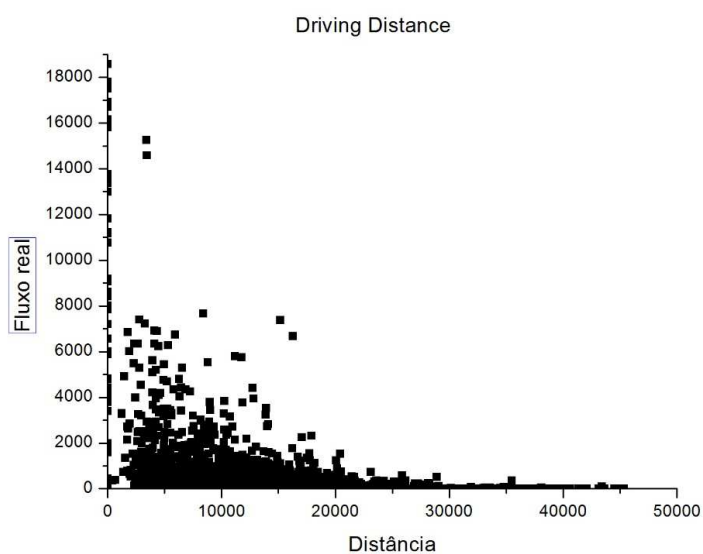


Figura 2. Fluxo real x distância entre ZTs (trajeto motorizado).

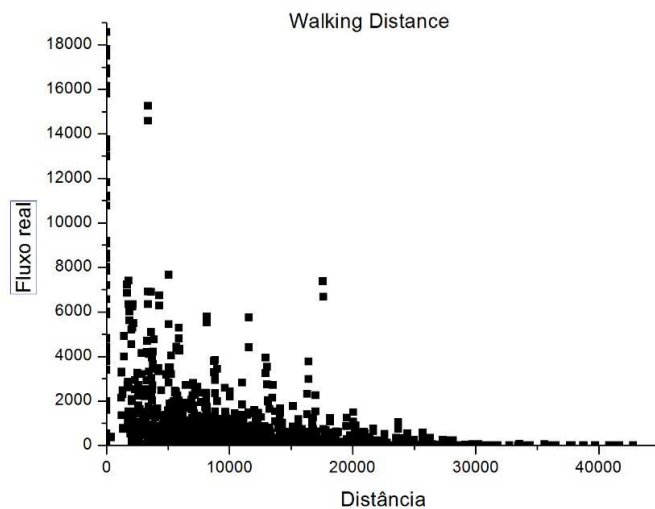


Figura 3. Fluxo real x distância entre ZTs (trajeto a pé).

Observa-se que o comportamento dos pontos nos dois gráficos é parecido, o que pode ser justificado pelo fato de que as rotas do trajeto a pé e motorizado não são muito diferentes. Pode-se notar também que o comportamento dos valores de distância reais nos gráficos se assemelha ao padrão do Modelo Gravitacional. A seguir estão dispostos dois gráficos que relacionam o mesmo fluxo real explicitado nos gráficos anteriores, com o fluxo modelado pelo Modelo Gravitacional. Os dados em verde correspondem aos valores de fluxo modelado, enquanto os em vermelho correspondem ao fluxo real.

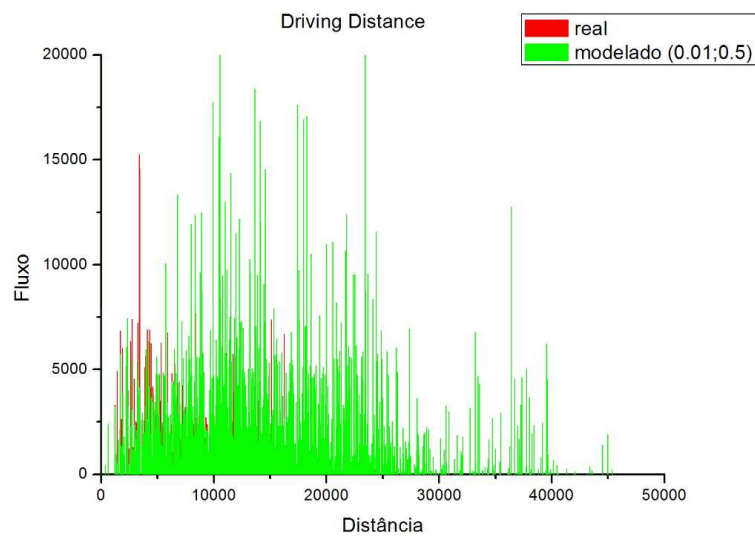


Figura 4. Fluxo x distância real (trajeto motorizado). Aplicação do Modelo Gravitacional aos dados de Origem-Destino.

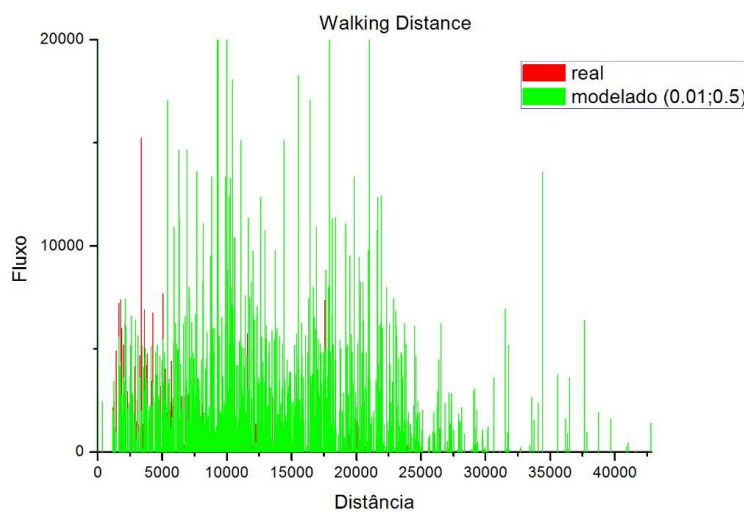


Figura 5. Fluxo x distância real (trajeto a pé). Aplicação do Modelo Gravitacional aos dados de Origem-Destino.

O mesmo tipo de análise foi realizado empregando a variável tempo em substituição à variável distância. Da mesma forma, foram considerados dois tipos de trajeto, a pé e motorizado. Os dois gráficos estão dispostos a seguir.

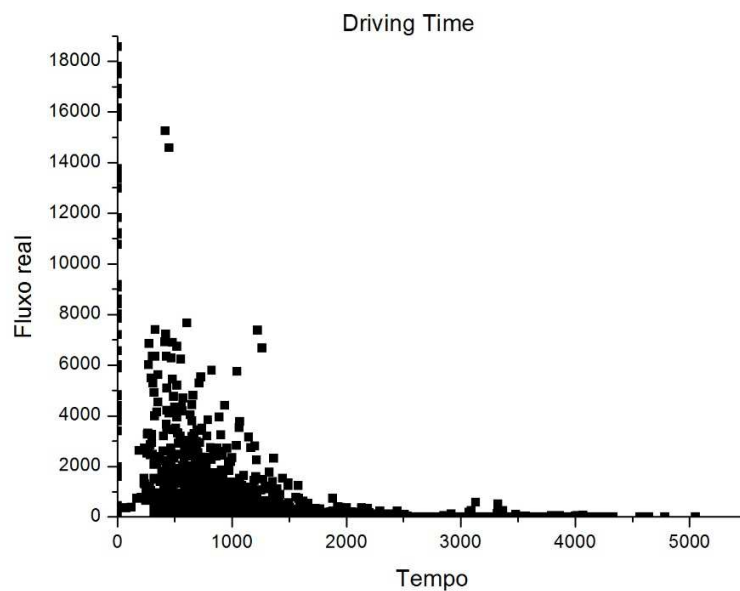


Figura 6. Fluxo real x tempo (trajeto motorizado).

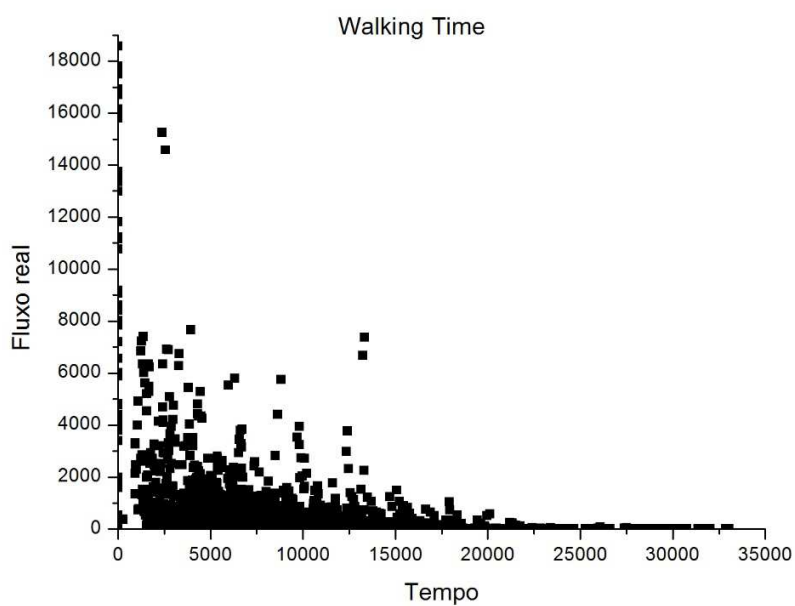


Figura 7. Fluxo real x tempo (trajeto a pé).



Ambos os gráficos que relacionam fluxo e tempo também se assemelham ao padrão Modelo Gravitacional, que é basicamente definido por uma curva de decaimento, o que era presumido. Novamente, a seguir estão dispostos dois gráficos que relacionam o mesmo fluxo real explicitado nos gráficos anteriores, com o fluxo modelado pelo Modelo Gravitacional. Os dados em verde correspondem aos valores de fluxo modelado, enquanto os em vermelho correspondem ao fluxo real.

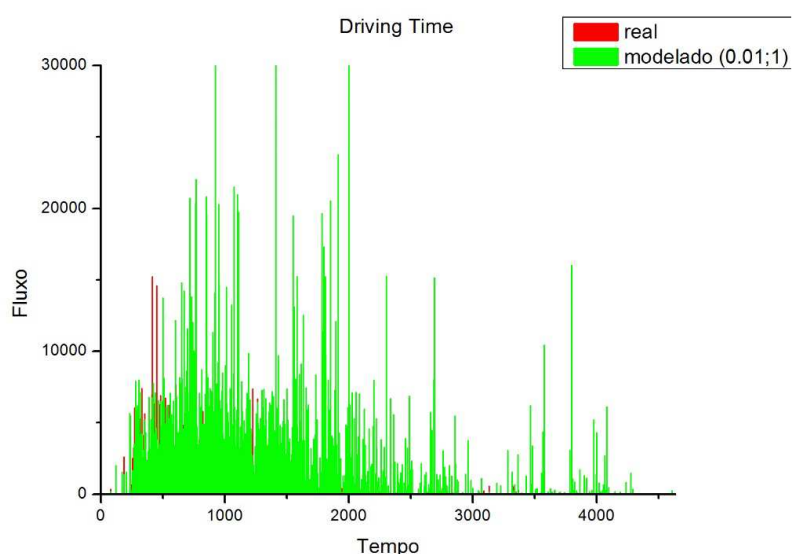


Figura 8. Fluxo  $x$  tempo (trajeto motorizado). Aplicação do Modelo Gravitacional aos dados de Origem-Destino.

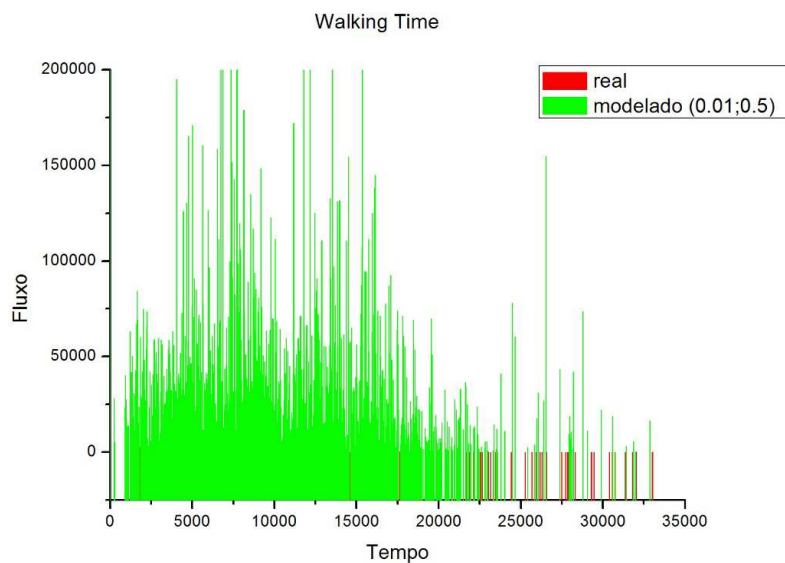


Figura 9. Fluxo  $x$  tempo (trajeto a pé). Aplicação do Modelo Gravitacional aos dados de Origem-Destino.

Nota-se, portanto, que os resultados considerando o critério de distância espacial foram mais próximos aos dados observados do que os resultados referentes ao critério temporal. Além disso, em ambos os casos (espaço e tempo) as análises iniciais das distribuições estatísticas sugeriram que nem o ajuste exponencial nem o de Poisson representam adequadamente os dados.

Para plotar estes gráficos, aplicou-se estes dados ao código desenvolvido para facilitar a utilização do Modelo Gravitacional. O código tem como finalidade estimar novos valores empregando a fórmula do Modelo Gravitacional, e tem como saída uma tabela que apresenta todos os dados necessários para aplicar num gráfico, por exemplo. Este código é basicamente um programa genérico, bastante útil, que poderá ser utilizado para aplicar o modelo em diversos estudos de fluxos populacionais.

No período anterior do projeto, foi realizada a análise destes fluxos populacionais total aplicados a um SIG. Para tanto, os dados de fluxos totais foram plotados no *TerraView* juntamente a um arquivo no formato *.shp* com dados geográficos da cidade, o que possibilitou criar os mapas de forças, em que as zonas com coloração mais próxima do vermelho indicam maior intensidade do fluxo populacional. As zonas representadas na cor branca são consideradas vazios urbanos ou rurais, e não apresentam dados de fluxo, portanto não são consideradas como Zonas de Tráfego. A seguir, na Figura 10, tem-se o mapa representativo da soma dos fluxos de origem e destino, que representa de maneira genérica quais zonas são mais influentes dentro da cidade, em relação à intensidade de deslocamento populacional.

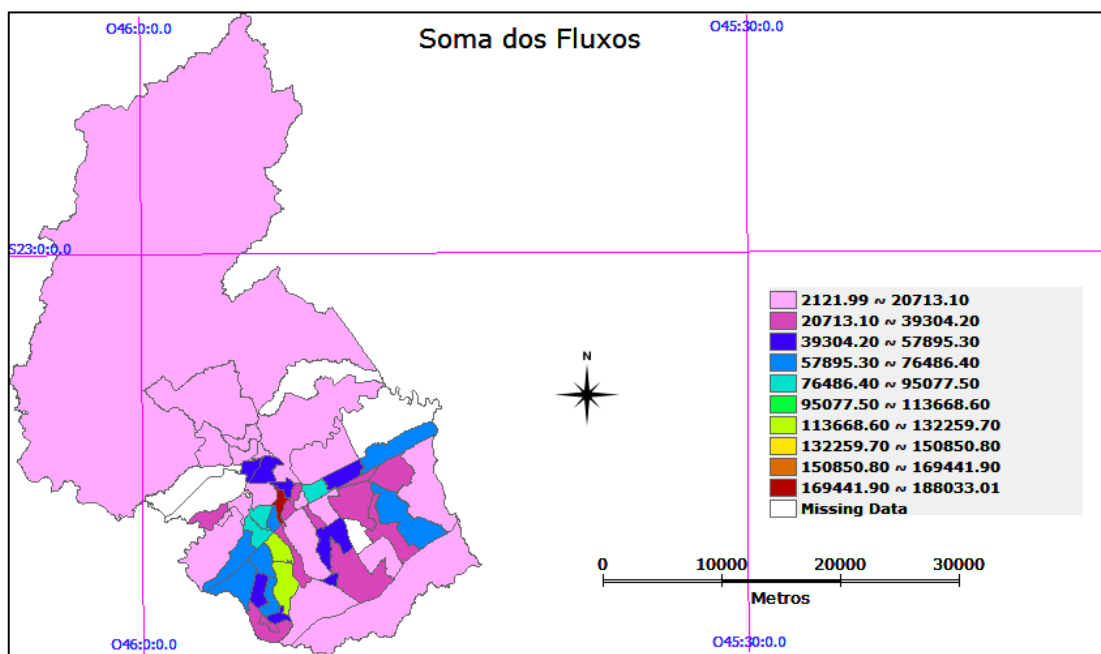


Figura 10. Mapa de forças referente aos “fluxos totais” (soma dos fluxos de saída e chegada), destacando as 55 zonas de São José dos Campos.

## Conclusões

O desenvolvimento do projeto culminou em resultados proveitosos, que contribuem com estudos de mobilidade urbana nas cidades, tendo como base os resultados obtidos para São José dos Campos. Pode-se afirmar que os objetivos propostos no início do projeto foram cumpridos, visto que houve a continuação dos planejamentos e resultados realizados no ano anterior. Os estudos envolveram desde um desenvolvimento na área de estudos teóricos sobre o tema de mobilidade urbana, influências da rede de drenagem de cidades, até a criação de códigos que viabilizam as aplicações com modelos estatísticos, e metodologias que utilizam SIG. Em relação ao estudo feito sobre as correlações entre as variáveis de distância e tempo das viagens, e os dados de fluxo, tem-se que os resultados considerando o critério de distância espacial foram mais próximos aos dados observados do que os resultados referentes ao critério temporal, aplicados ao modelo gravitacional de interação espacial.

Durante este período, várias atividades acadêmicas e de pesquisa foram atreladas ao projeto, em que se pode destacar a participação do bolsista no projeto “Quantificando o impacto de inundações na mobilidade das pessoas no espaço urbano” (Universal CNPq), que relaciona os conceitos de fluxos migratórios em um centro urbano com atributos de uma bacia hidrográfica, determinando assim qual é o impacto causado na mobilidade devido a um evento crítico hidrológico. Um estudo voltado à cidade de São José dos Campos também foi realizado neste sentido, em que foram identificadas as Zonas de Tráfego que estão contidas nas bacias mais relevantes da cidade. Com este resultado, foi possível verificar a quantidade de pessoas, de acordo com o fluxo populacional, que é possivelmente afetada em caso de desequilíbrio na rede hidrográfica.

Para próximos estudos que envolvem a temática deste projeto, tem-se como expectativa uma análise mais profunda sobre processos estocásticos, abrangendo, por exemplo, estudos sobre simulação de fluxos.

Durante o período de iniciação científica, o bolsista apresentou bom rendimento acadêmico, em que o coeficiente de rendimento estipulado pela universidade aumentou, além de ter sido aprovado em todas as disciplinas do semestre.

## Referências

1. ARAÚJO, I. L. V. Transporte público complementar de passageiros: um estudo de caso em Betim. 2012. 125f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2012.
2. JUREMA, M. C. B. Modelagem Exponencial e de Poisson Para Dados Reais de Mobilidade Urbana. Seminário de Iniciação Científica do INPE - SICINPE. 2015.
3. JUREMA, M. C. B.; SANTOS, L. B. L. ; CARVALHO, S. V. . Deslocamentos Populacionais Intraurbanos - Perspectivas Computacionais e Ambientais. XVIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica. 2014.
4. SANTOS, L. B. L. Redes Complexas de Base Territorializada (RCBT):

conceito, caracterização e seu potencial de aplicação na modelagem epidemiológica. 2014. 75f. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2014.

5. SANTOS, M. *Metamorfoses do Espaço Habitado*, fundamentos teóricos e metodológicos da geografia. Hucitec. São Paulo, 1988.

6. SANTOS, L. B. L.; *et al.* Desastres naturais de origem hidrológica e impactos no setor de transportes - o caso de março de 2015 em São José dos Campos-SP. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015.

7. TUCCI, C. E. M. *Gestão de Inundações Urbanas*. Ministério das Cidades. Global Water Paternship. Wolrd Bank. 2005.

## **Anexos**

- **Participação em eventos, congressos, exposições, feiras e premiações:**

1. Seminário Internacional de Mobilidade Urbana. 2014. (Seminário).
2. Apresentação com pôster no XVIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica. Deslocamentos Populacionais Intraurbanos - Perspectivas Computacionais e Ambientais. 2014. (Encontro).
3. Encontro Sobre Sustentabilidade e Resíduos Sólidos. Unesp ICT-SJC. 2014. (Encontro).
4. Reunião Regional da SBPC no Vale do Paraíba - Desastres Naturais no Brasil e Possíveis Tecnologias de Combate. 2014.
5. Desafios e ameaças da escassez hídrica para o Vale do Paraíba. Unesp ICT-SJC. 2014.
6. Encontro de Escolas do Projeto Cemaden Educação. (Carga horária: 8h). Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. 2014 (Encontro).
7. Minicurso Introdução à Modelagem Markoviana. (Carga horária: 6h). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, Brasil.
8. Minicurso Métodos Computacionais em Problemas Inversos. (Carga horária: 6h). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, Brasil.
9. Minicurso Tópicos em Fenômenos de Transporte. (Carga horária: 6h). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, Brasil.
10. Encontro sobre impactos potenciais de inundações em infraestrutura de transportes e mobilidade urbana. 2015. (Encontro)
11. Seminário de Iniciação Científica do INPE - SICINPE 2015. Modelagem Exponencial e de Poisson Para Dados de Mobilidade Urbana. 2015. (Seminário).
12. Menção honrosa frente à apresentação no SIC INPE 2015. (2º lugar).