

## **Desenvolvimento da biblioteca HydroC – Estudos na delimitação estocástica de bacias hidrográficas**

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

Lucas Valério de Oliveira (UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [Lucasvalerio@live.com](mailto:Lucasvalerio@live.com)

Solon Venâncio de Carvalho (LAC/INPE, Orientador)  
E-mail: [solon@lac.inpe.br](mailto:solon@lac.inpe.br)

Leonardo Bacelar Lima Santos (CEMADEN, Orientador)  
E-mail: [santoslbl@gmail.com](mailto:santoslbl@gmail.com)

## RESUMO

O presente trabalho, iniciado em junho de 2014, deu continuidade ao projeto de Iniciação Científica em andamento desde 2013 para o desenvolvimento da biblioteca HydroC. Tal biblioteca integra um conjunto de funções em Linguagem C para a realização de cálculos hidrológicos, assim como a determinação das redes de drenagem, direções de fluxo do escoamento e a delimitação de bacias hidrográficas com base em dados de altimetria. Na primeira realização deste projeto foram implementadas todas as funções essenciais para que fosse possível a realização dos cálculos hidrológicos até a obtenção da bacia hidrográfica por abordagem determinística. Também foi desenvolvido paralelamente um módulo gráfico em OpenGL para uma visualização mais intuitiva dos resultados gerados pela biblioteca HydroC. O trabalho atual tratou de aprimorar as funções previamente desenvolvidas e adaptar o módulo gráfico a versão beta da biblioteca HydroC. Reformulações estruturais foram realizadas em todas as funções da biblioteca até a compilação da versão beta. Foram feitos testes comparativos para que os algoritmos escritos na HydroC tivessem resultados equivalentes aos obtidos por outros softwares similares, e para isso foi fundamental o estudo em Sistemas de Informações Geográficas, principalmente o software TerraHidro que é um módulo hidrológico para o TerraView, desenvolvido pelo INPE. A inovação da abordagem estocástica possibilita diferentes direções de escoamento a diferentes eventos de precipitação, de acordo com uma “roleta” - com faixas de probabilidade proporcionais à declividade em cada direção. Foi, então, possível apresentar uma bacia hidrográfica como um mapa que indica a probabilidade de cada ponto do terreno contribuir com o escoamento até o exutório (ponto de fechamento) da bacia. A abordagem desenvolvida e os resultados obtidos estão em processo de escrita para uma publicação científica em periódico internacional da área de matemática aplicada envolvendo resultados analíticos e simulação.

## INTRODUÇÃO

A lei 9433/97 determina que a água é um bem, dotado de valor econômico. Dentre os objetivos do planejamento hídrico está a gestão dos recursos hídricos em conformidade com o uso do solo e da prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou devido ao uso inadequado dos recursos naturais. Nota-se que o domínio dos recursos hídricos é uma das unidades fundamentais para o planejamento urbano, de modo a favorecer o desenvolvimento econômico e o bem-estar social.

A bacia hidrográfica pode ser compreendida como, uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (Tucci, 1997).

A expansão urbana interfere diretamente no meio físico. Devido ao crescimento populacional e o aumento pela demanda de meios de transporte e locomoção, as mudanças na paisagem impactam diretamente na Bacia Hidrológica. Os impactos diretos são: impermeabilização excessiva dos solos (estradas e construções), mudança no trajeto natural dos rios, canalização e moradias próximas as margens dos rios. Como grande parte das obras de saneamento não foram dimensionadas para suportar o crescimento urbano, enfrentamos um período de uma série de casos de alagamentos ou inundações urbanas, que devido a mudanças nas redes de drenagem da Bacia, acabam sobrecarregando as estruturas

de saneamento existentes causando diversos danos sociais, econômicos e na mobilidade urbana.

Este relatório é referente às atividades realizadas durante o período de pesquisa. As atividades realizadas foram: caracterização das Bacias Hidrográficas utilizando software de geoprocessamento, estudos dos métodos de SIG, continuidade no desenvolvimento da biblioteca HydroC, cruzamento de dados de mobilidade e dados de recursos hídricos

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a delimitação das bacias hidrográficas e das obtenções das redes de drenagem, foi utilizado o software TerraView e o plug-in TerraHidro que é uma extensão para cálculo de hidrológicos, ambos desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e estão disponíveis gratuitamente no site <http://www.dpi.inpe.br>.

Foram utilizados modelos digitais de elevação correspondente a cada área de estudo para poder então ser realizado as operações hidrológicas. As imagens (DEM) utilizadas neste trabalho são referentes a Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM), sendo está uma missão espacial para obter um modelo digital do terreno da zona da Terra entre 56 °S e 60 °N. A resolução espacial de cada pixel da imagem é de 30 m e são disponibilizadas gratuitamente em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Todos os arquivos vetoriais relacionados a Malha Hidrográfica foram adquiridos de forma gratuita no site da Agência Nacional de Águas e os arquivos de limites políticos dos municípios foram obtidos no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

A partir da determinação da região de interesse de um certo terreno, foram aplicados os segundos métodos: Direção de fluxo, área acumulada, obtenção de redes de drenagem e delimitação de bacias.

O método de direção de fluxo consiste na utilização da técnica denominada “D8. Esta técnica utiliza como entrada modelo digital de elevação do terreno e para cada célula busca-se a maior declividade em relação às 8 células ao redor. Cria-se então uma nova matriz com valores que apontam o sentido de escoamento.

Com a grade de direção de fluxo, pode ser aplicado a modelo de Área acumulada que define cada ponto do terreno como sendo um exutório e verifica-se a quantidade de células que escoam água para ela.

A rede de drenagem é então obtida a partir de um parâmetro denominado limiar de drenagem, e são obtidas todos os valores superiores da matriz de área acumulada em relação ao limiar. Por fim, determina-se um ponto do terreno como exutório da bacia e então é gerada a matriz de bacia hidrográfica.

Este trabalho utilizou-se dos métodos apresentados acima, porém com uma abordagem utilizando grafos

## **DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS**

A partir da aplicação da metodologia proposta no modelo digital de elevação da cidade de São José dos Campos, Obteve-se a rede de drenagem e a bacia a montante do rio Paraíba do Sul exatamente no ponto em que cruza o município de São José dos Campos, como pode ser visto na Figura 1. Para a determinação das bacias foram utilizadas a área das Ottobacias definidas pela Agência Nacional de Águas.

## Rede de drenagem - São José dos Campos

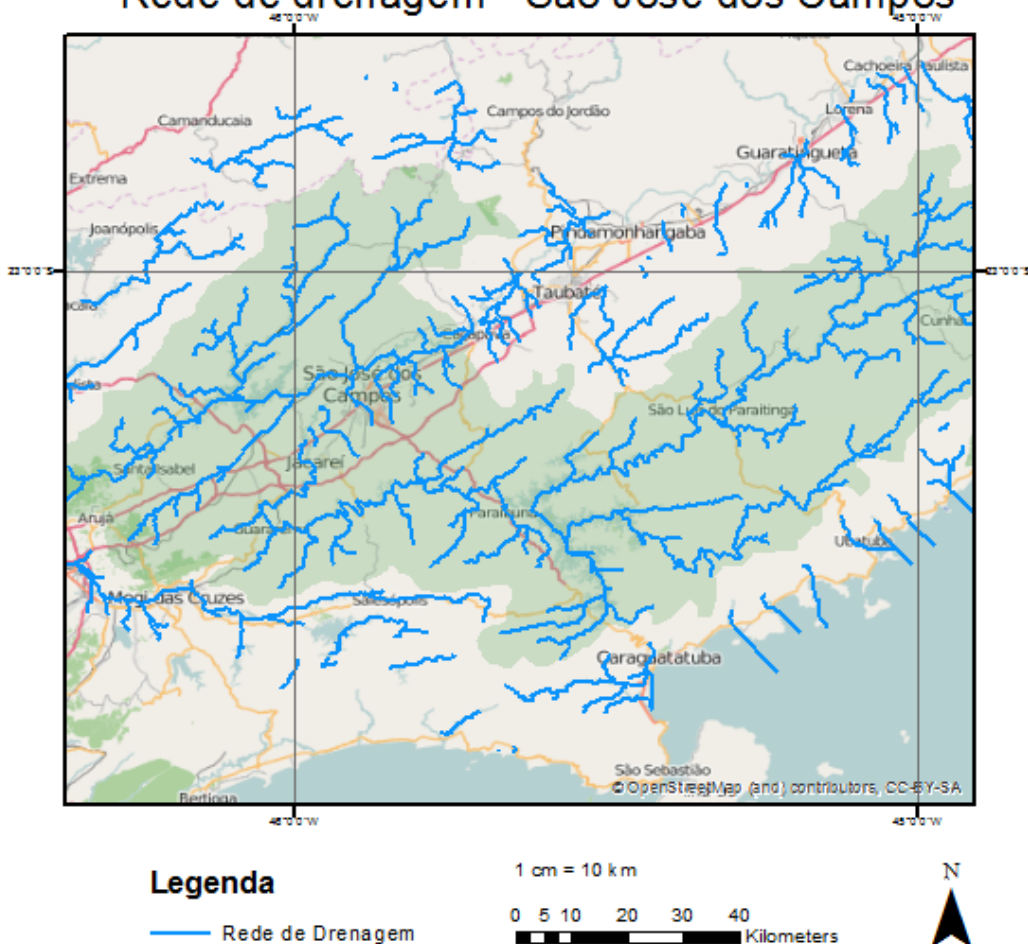


Figura 1 : Rede de drenagem e Ottobacias que contribuem com o acumulo de água no município São José dos Campos.

Com os resultados de drenagem do município de São José dos campos, utilizou-se técnicas de geoprocessamento para que fosse feito a simplificação das linhas de drenagem para retas entre os pontos de confluência do rio. Dessa forma aplicou-se a teoria dos grafos para que os pontos de confluência, cabeceiras e foz dos rios fossem considerados vértices, enquanto que as redes de drenagem simplificadas em linhas retas fossem as arestas, responsáveis pela ligação de um trecho do rio a outro, conforme a Figura 2.

## Mapa da rede de drenagem do município São José dos Campos - SP

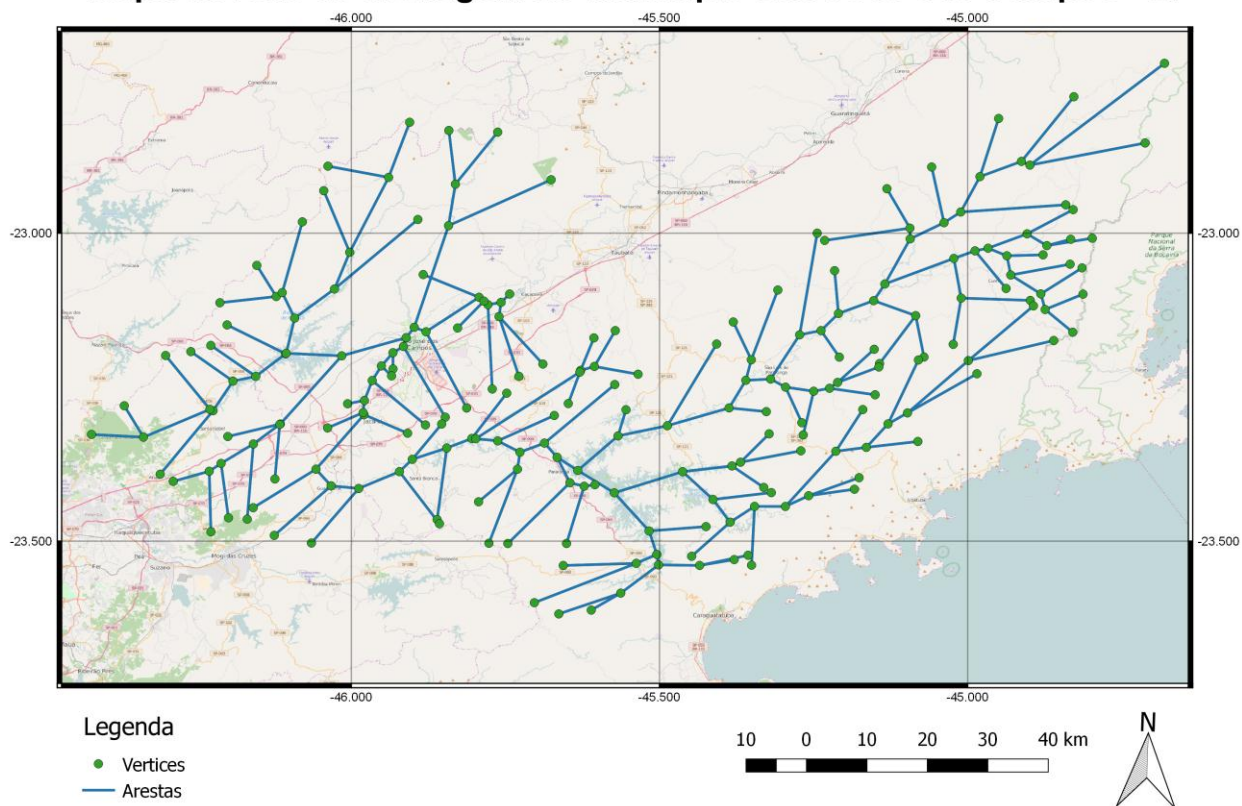


Figura 2 Rede de drenagem de São José dos Campos obtida via método dos grafos, caminhos de drenagem (arestas) e pontos de confluência dos caminhos (vértices).

Conforme a Figura 2, nota-se que nesse formato de rede de drenagem com a simplificação de feições, facilita o estudo dos sentidos de escoamento, já que pode ser gerado uma matriz de adjacência que fornecem Origem e Destino. A matriz origem destino é gerada pelo método de LDD que grava a coordenada da célula de origem e coordenadas da célula de destino, para qual a água será escoada.

Para os vértices foi feito uma classificação para a distinção entre vértices que representam uma cabeceira, uma foz ou um ponto de confluência entre trechos de drenagem. Para obter a classificação de cabeceira ou foz, e feito a análise do vértice para ver se ele é a origem ou o destino do escoamento. Caso o vértice for de Origem, então a cota desse vértice é maior que o do vértice de destino e ele é considerado uma cabeceira, caso contrário ele é considerado foz. Para determinar se um vértice é um ponto de confluência basta ver quantos vértices estão ligados a ele, caso for maior que 3 vértices este será um ponto de confluência, caso for menor que três este vértice faz apenas parte da drenagem. O mapa de vértices pode ser analisado na Figura 3, para obtenção foi feito a extração de Nós a partir da rede de drenagem simplificada.

### Mapa de vértices de drenagem do município São José dos Campos - SP

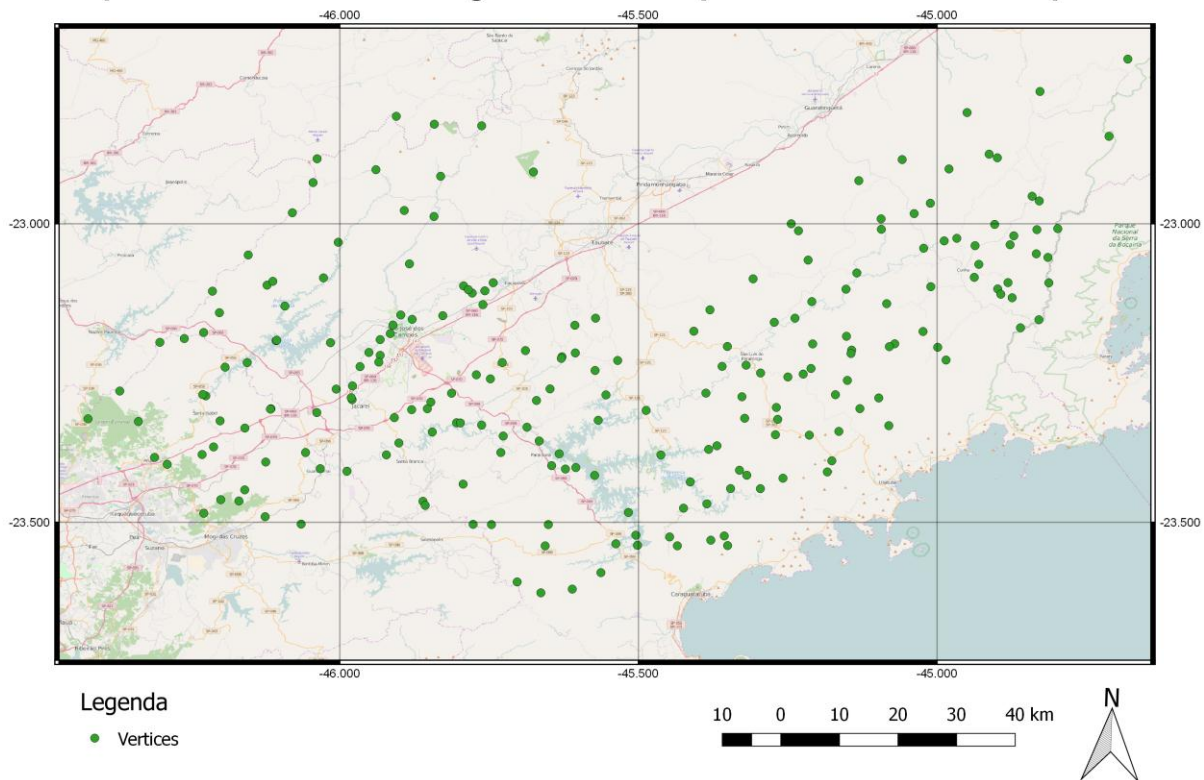


Figura 3 – Mapa de vértices de drenagem da bacia a montante do rio Paraíba do Sul no limite do município de São José dos Campos.

Após as atividades propostas foram realizadas a extração completa das redes de drenagem de quatro municípios: São Paulo, Rio de Janeiro, Joinville e São José dos Campos. Pode-se dessa forma avaliar os métodos de Geoprocessamento utilizados pelo TerraHidro desde a obtenção das Direções de Fluxo até a delimitação das Bacias Hidrográficas. O procedimento utilizado foi inicialmente verificar toda a água que chega e sai do município através da Hidrografia completa da Agência Nacional de Águas (ANA) e com isso selecionar todas as Ottobacias que contribuem aos pontos de exutório determinados. A seguir os resultados obtidos de drenagens que chegam aos municípios selecionados.

### Rede de Drenagem - Rio de Janeiro

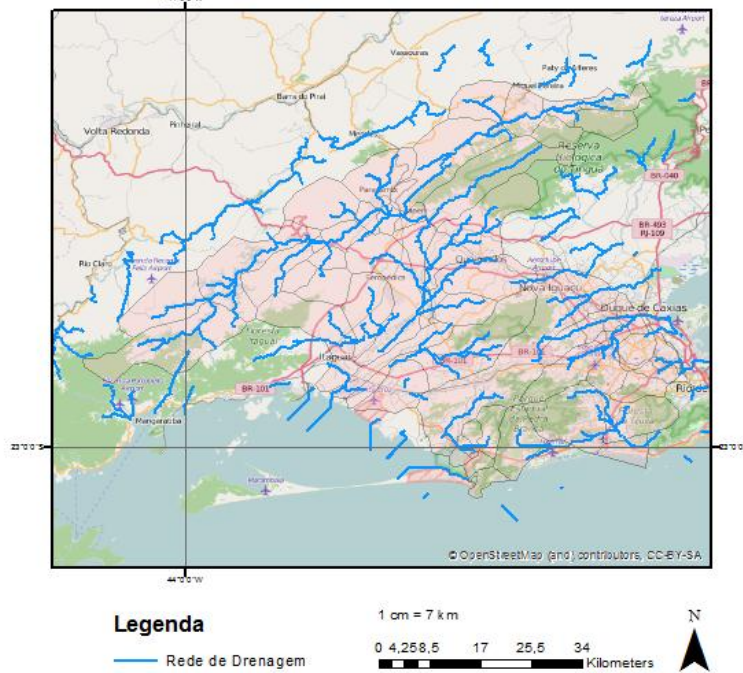


Figura 4 : Rede de drenagem e Ottobacias que contribuem com o acúmulo de água no município Rio de Janeiro.

### Rede de Drenagem - Joinville

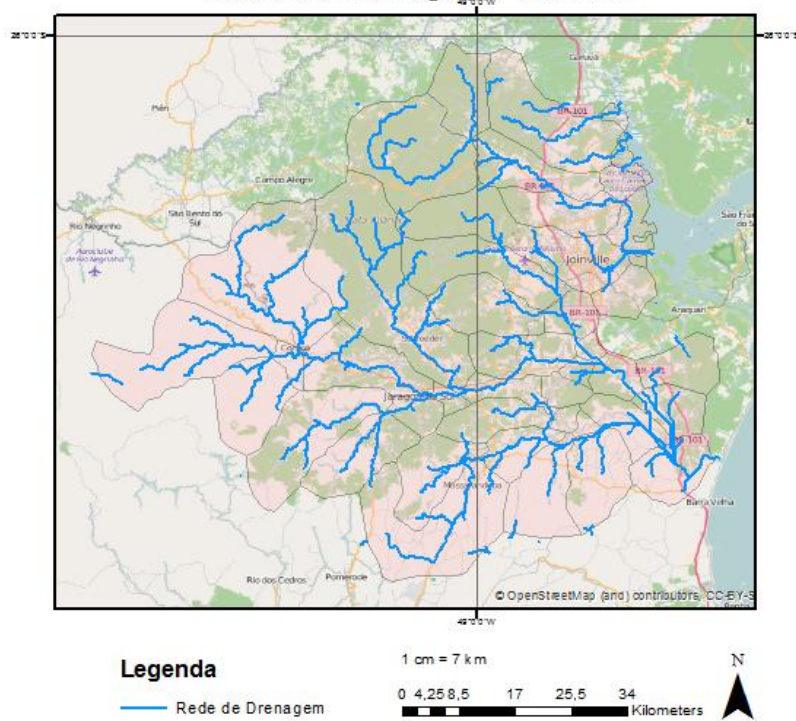


Figura 5: Rede de drenagem e Ottobacias que contribuem com o acúmulo de água no município Joinville.

## Rede de Drenagem - São Paulo

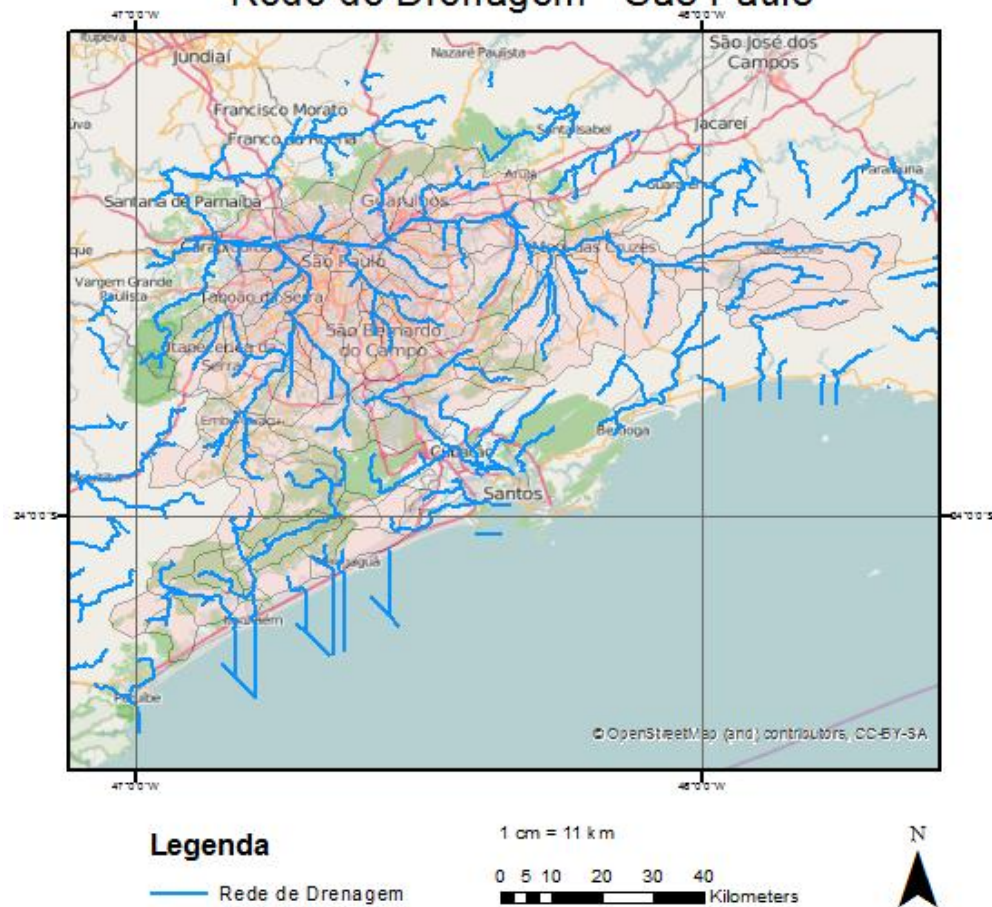


Figura 6: Rede de drenagem e Ottobacias que contribuem com o acúmulo de água no município São Paulo

Com base nas informações obtidas nesta pesquisa e nos dados de Mobilidade Urbana produzidos pela bolsista Maria Carolina Barbosa Jurema, sob orientação dos mesmos orientadores, foram obtidas todas as Bacias Hidrográficas a montante das principais zonas de tráfego do município de São José dos Campos conforme a Figura 5.



## Bacia a montante das principais zonas de tráfego - São José dos Campos

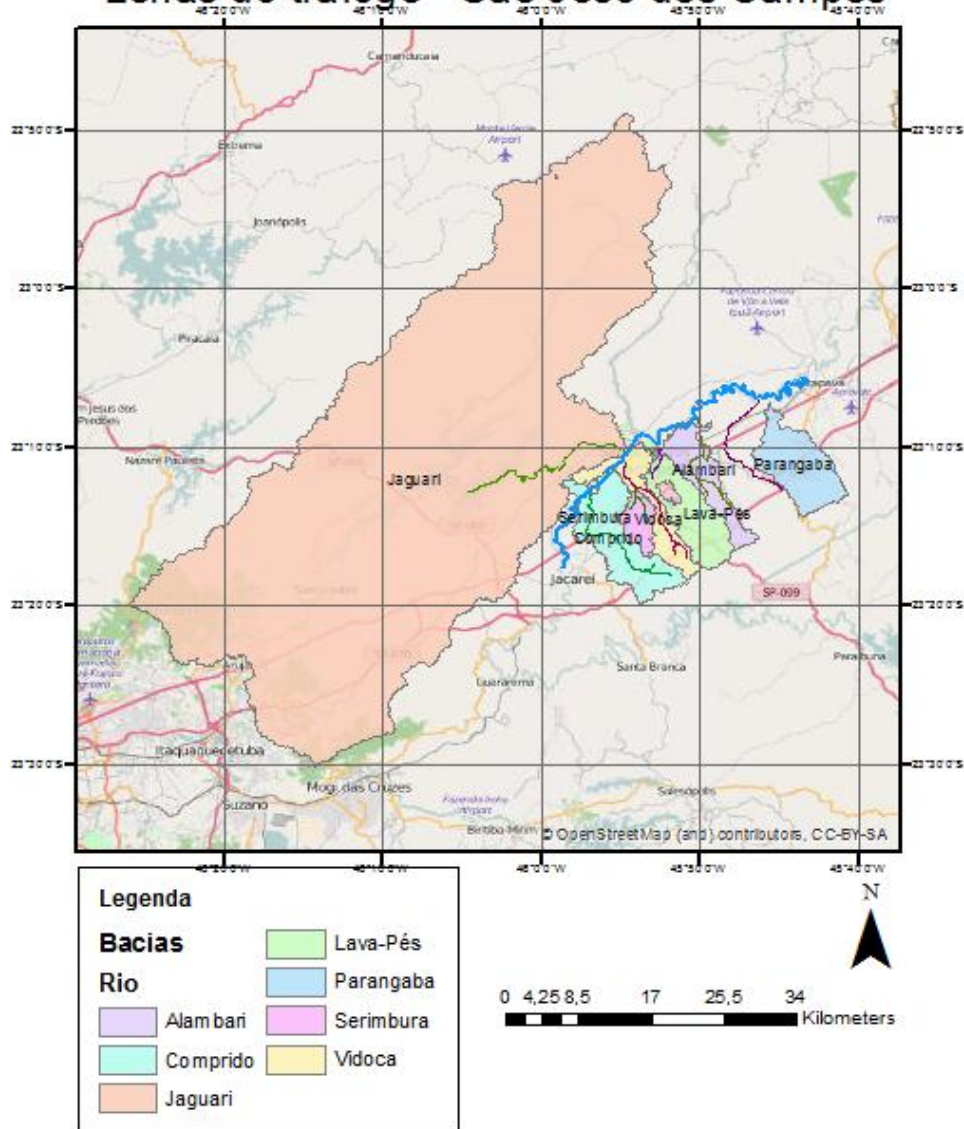


Figura 7 Bacia a montante dos rios que cruzam as principais zonas de tráfego de São José dos campos.

Os resultados serviram para estudos no grupo de pesquisa Ambiente Mobilidade, visando identificar locais que possam estar mais vulneráveis a desastres naturais causados por eventos hidrológicos que afetariam imediatamente a dinâmica de locomoção na cidade de São José dos Campos. Durante a primeira parte da iniciação participei na produção de dois artigos: Delimitação de bacias hidrográficas - uma abordagem estocástica ao problema inversor (Revista Brasileira de Cartografia) e Desastres naturais de origem hidrológica e impactos no setor de transportes - o caso de março de 2015 em São José dos Campos-SP (ABRH).

## CONCLUSÃO

O presente trabalho teve seus objetivos alcançados já que aplicação da teoria de grafos nos modelos determinísticos e equiprováveis, geraram resultados muito importantes para uma compreensão mais aprofundada da bacia hidrográfica. A análise da matriz de adjacência e com a representação gráfica podemos notar os pontos que estão sujeitos a maior acúmulo de águas e trechos mais importantes devido a confluência de vários caminhos de drenagem.

No decorrer da pesquisa, pode notar o quão importante são os estudos aplicados das bacias hidrográficas, com a participação no grupo Ambiente Mobilidade, que relaciona os atributos de uma bacia hidrográfica com os fluxos migratórios em um centro urbano e partir disso determina qual é o impacto causado na mobilidade devido a um evento crítico hidrológico. Durante a participação neste projeto foram adquiridos diversos conhecimentos em Sistema de informação geográfica .

## REFERÊNCIAS

**Gestão de Recursos Hídricos.** Disponível em: <[http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=144&Itemid=423](http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=144&Itemid=423)>. Acesso em: 03 fevereiro. 2016.

**HydroC.** Disponível em: <<http://sourceforge.net/projects/hydroc/>>. Acesso em: 03 fevereiro. 2016.

**Introduzindo Hidrologia.** Disponível em: <[http://www.ctec.ufal.br/professor/crfj/Pos/Hidrologia/apostila\\_Completa\\_2008.pdf](http://www.ctec.ufal.br/professor/crfj/Pos/Hidrologia/apostila_Completa_2008.pdf)>. Acesso em: 03 fevereiro. 2016.

**LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm)>. Acesso em: 03 fevereiro. 2016.

LIMA SANTOS, L. B. et al. HydroC - An open source hydrological library with educational purposes. **Modelling in Science Education and Learning**, v. 8, n. 1, p. 35, 13 jan. 2015.

**MANUAL DE DESASTRES - VOLUME I - DESASTRES NATURAIS.** Disponível em: <[http://www.integracao.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=47a84296-d5c0-474d-a6ca-8201e6c253f4&groupId=10157](http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=47a84296-d5c0-474d-a6ca-8201e6c253f4&groupId=10157)>. Acesso em: 03 fevereiro. 2016.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43–60, 2008.

SOUZA JORGE, A. A. et al. Free computational approach for Strahler classification of Brazilian rivers related to natural disasters. **Modelling in Science Education and Learning**, v. 8, n. 1, p. 23, 04 fev. 2015.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. [s.l.] ABRH, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicações**. [s.l.] ABRH, 2009.