
DENSIDADE *KERNEL* E ANÁLISE ESPACIAL DAS ÁREAS COM RISCO DE ALAGAMENTO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

TALYTHA ACCIOLY SIMÕES COELHO

MARCOS CÉSAR FERREIRA

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Instituto de Geociências - IG
Departamento de Pós graduação em Geografia, Campinas, SP
talythacoelho@yahoo.com.br, macferre@uol.com.br

RESUMO - O desenvolvimento e crescimento da área urbana nos últimos séculos acarretaram numa maior disputa pelo espaço. Em resposta a essa ocupação desordenada os eventos naturais são intensificados, principalmente pela alteração da infiltração e da vazão, além da mudança nas características originais dos cursos d'água. O município de São Paulo, por sua magnitude e ampla modificação do espaço natural sofre frequentemente com esses eventos. É essencial a análise e mapeamento dos casos históricos e atuais para prevenção e alerta a população a fim de reduzir os danos e mortes ocasionados por esses fatores hidrológicos no espaço urbano. Esse artigo descreve a definição de áreas de alagamento no município de São Paulo, tendo como base os pontos de alagamento registrados através do CGE (Centro de Gerenciamento de Emergências), da sua espacialização e de seu processamento por meio do estimador de densidade *kernel*.

ABSTRACT - The development and growth of the urban area in recent centuries have resulted in increased competition for space. In response to this disorderly occupation, natural events are occurring mainly by change in the infiltration and flow balance, as well in the original characteristics of urban drainage channels. One of the main phenomena that affected cities are those related to the water issue, like floods, inundation and waterlogging. This research will be based on flooding points mapping São Paulo, using the CGE (Emergency Management Centre) database. These flooding points will be used to map higher flooding point areas, estimate by *kernel* density algorithm.

1 INTRODUÇÃO

São Paulo é a principal cidade nó da rede urbana brasileira. Em razão da grande expansão demográfica, territorial e econômica, ocorridas a partir dos anos 1950, tornou-se, além de megalópole, região metropolitana que agrega à sua área de influência outras regiões vizinhas ou cidades satélites. Mas, ao lado deste crescimento aparentemente positivo, ocorrem os negativos, como problemas socioeconômicos e ambientais, entre outros. Com o crescimento da industrialização e consequentemente transformação da área urbana de São Paulo no período de 1930 a 1950, ocorreu intensa ocupação do solo e conversão de áreas livres em superfícies impermeabilizadas na metrópole paulista.

Em resposta a este processo de impermeabilização de áreas livres, os eventos naturais foram intensificados, principalmente pela alteração no equilíbrio entre infiltração e vazão fluvial, e, pela mudança nas características originais dos cursos d'água. A urbanização das várzeas, a canalização dos leitos e a desnaturalização das margens dos rios nas bacias hidrográficas urbanas de São Paulo, contribuíram para a atual magnitude dos alagamentos em vias públicas.

O objetivo deste trabalho é realizar o mapeamento da densidade de pontos de alagamento no município de São Paulo, utilizando-se o estimador de densidades *kernel*, disponível no sistema de informação geográfica ArcGIS 10.1, e dados registrados entre 2008 e 2013.

1.1 Objetivo

Distribuir e analisar estatisticamente e espacialmente os pontos de alagamento do período de 2003 a 2008 no município de São Paulo.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

Os dados relativos à localização dos pontos de alagamento no município de São Paulo foram adquiridos no Centro de Gerenciamento de Emergências da Prefeitura Municipal de São Paulo (CGE, 2015), no formato de planilhas, contendo os endereços dos logradouros onde os pontos foram observados. Os dados disponíveis pelo CGE foram registrados diariamente, entre 2008 e 2013, organizados em ordem alfabética dos logradouros, contendo informações da data de ocorrência, local, referência, sentido da via, e horário de início e fim do alagamento. Posteriormente, foi realizado o georreferenciamento de todos os pontos por meio do endereço e de um ponto de referência. Foi utilizado o Google Earth para a obtenção das coordenadas geográficas (graus decimais) de cada ponto de alagamento. Os pontos de alagamento foram georreferenciados (UTM – SAD69) em arquivos *shapes* dos distritos e dos logradouros da cidade (CEM, 2015; IBGE, 2015).

O modelo espacial *kernel* é um estimador de densidade espacial que produz uma superfície de densidade de pontos por unidade de área (FREIRE, 2012). Os parâmetros utilizados são o raio de influência para definir a vizinhança do ponto a ser interpolado e controlar o alisamento da superfície, e uma função de estimação. O cálculo da densidade é realizado através da seguinte relação:

$$\hat{\lambda}_{\tau}(u) = \frac{1}{\tau^2} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{d(u_i, u)}{\tau}\right), \quad d(u_i, u) \leq \tau$$

Onde $(u_i \dots u_{i+m-1})$ são pontos localizados dentro de um raio τ situado em torno do ponto u_i e d é a distância entre a posição e a i -ésima amostra (CÂMARA e CARVALHO, 2004).

Em nossa pesquisa, a densidade *kernel* foi calculada no ArcGIS 10.1 utilizando-se raio de abrangência de 1 km. Posteriormente, a superfície de densidades foi representada cartograficamente por meio do método de classificação do quintil e da interpolação bilinear, para suavização do raster. Os resultados obtidos através da aplicação do estimador *kernel* foram utilizados para a identificação das áreas com maior densidade de pontos de alagamento do município de São Paulo, entre 2008 e 2013.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa da Figura 1 mostra a distribuição de todos os pontos de alagamento registrados pelo CGE entre 2008 e 2013, e sua localização em relação aos distritos de São Paulo. Na zona Central as áreas de maior ocorrência localizam-se nos distritos da Sé, República, Santa Cecília, Liberdade, Bela Vista e Bom Retiro. Na zona Oeste a maior quantidade foi observada no distrito de Jaguaré; na zona Sul, em Santo Amaro e Campo Belo; na zona Leste, em Vila Matilde, Tatuapé e Jardim Helena e Vila Prudente; e, na zona Norte, em Santana e Perus.

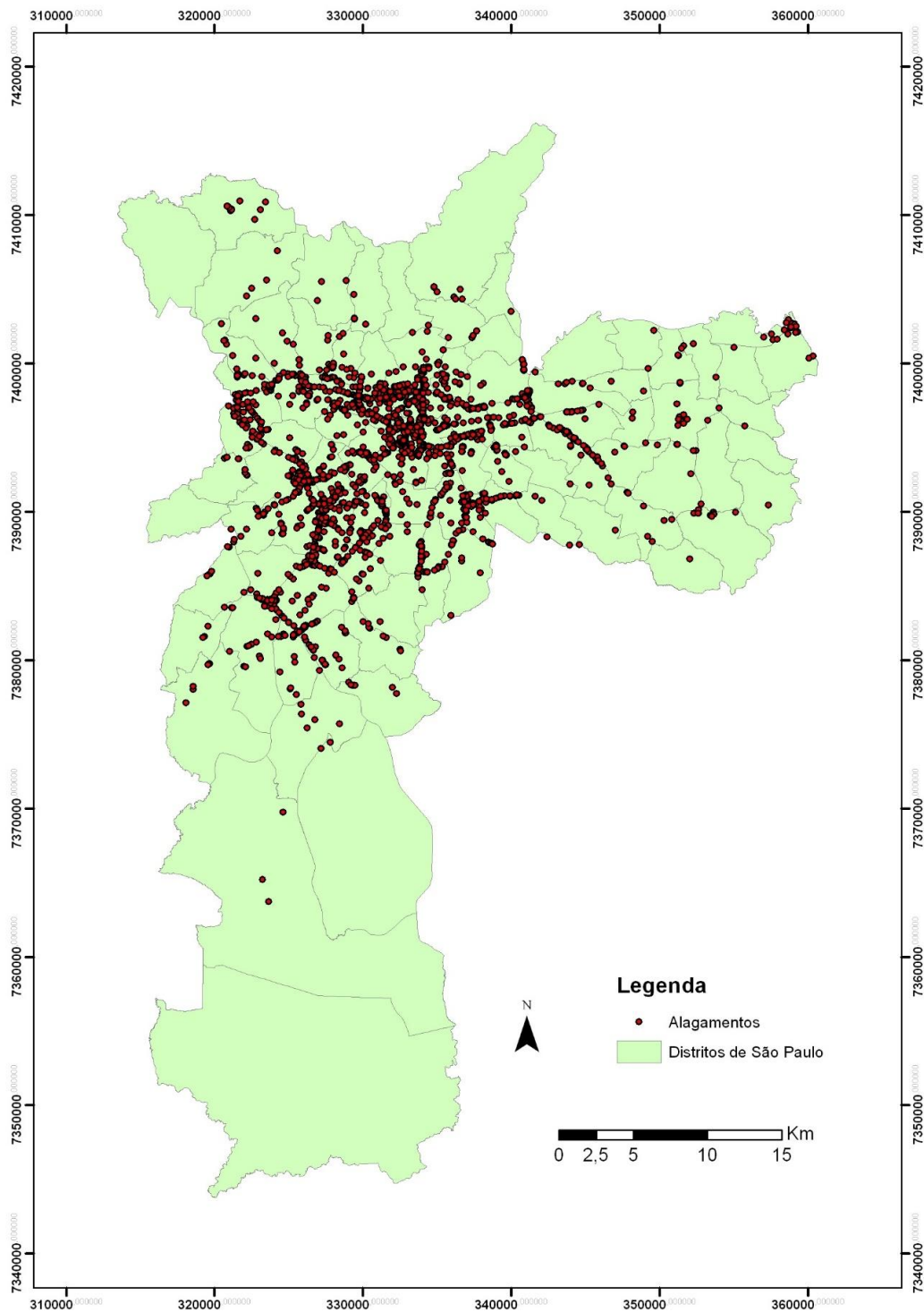


Figura 1 - Mapa de distribuição dos pontos de alagamento, segundo os distritos de São Paulo.
Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

O mapa da Figura 2 mostra a densidade de pontos de alagamento por distrito da capital. As maiores densidades de pontos foram localizadas na República (103 pontos/km²), Sé (60 pontos/km²) e Bom Retiro (56 pontos/km²).

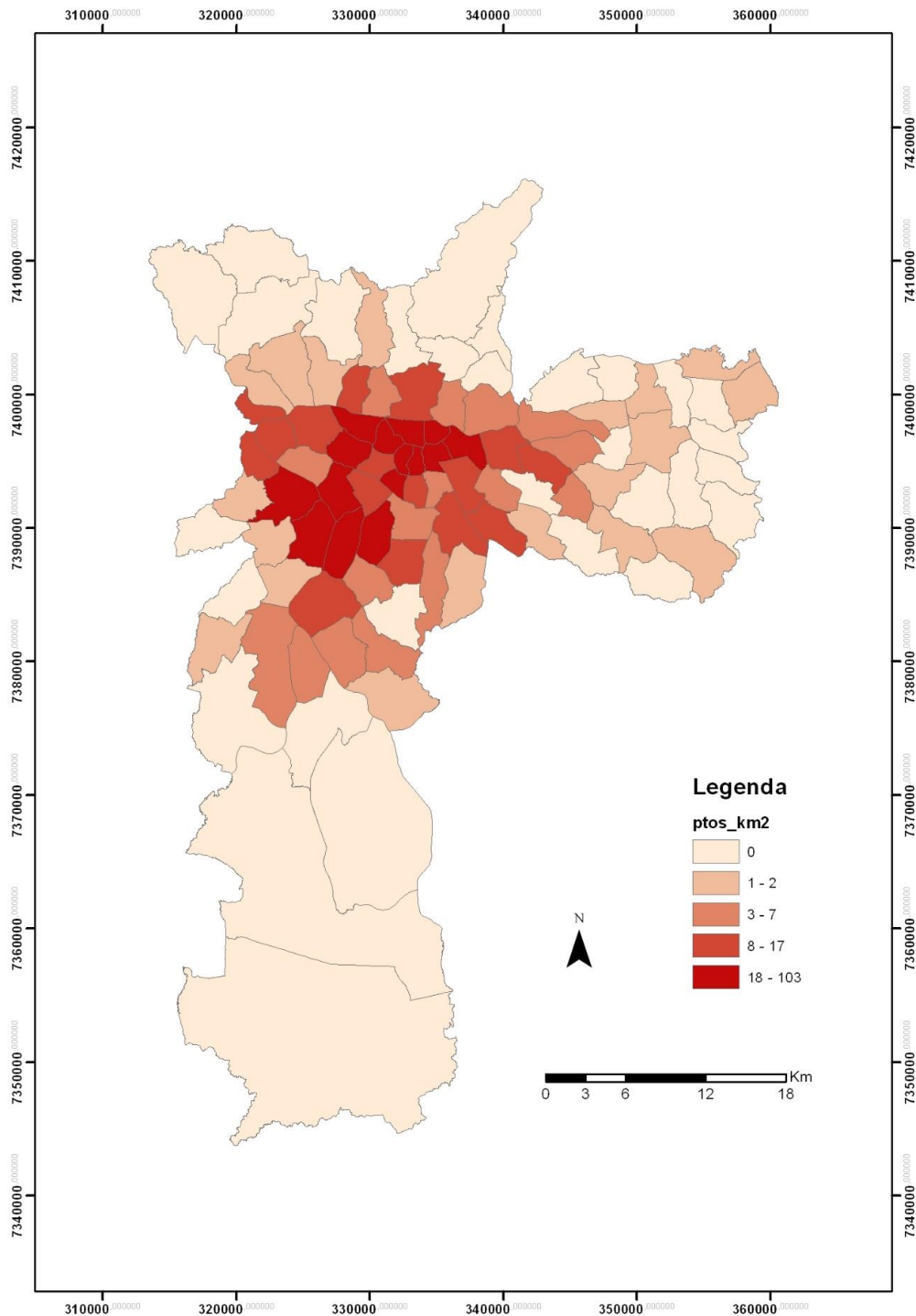


Figura 2 – Mapa de distribuição de pontos de alagamento por quilômetro quadrado por distrito do município de São Paulo entre 2008 a 2013.

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

O mapa de densidade *kernel* é apresentado na Figura 3.

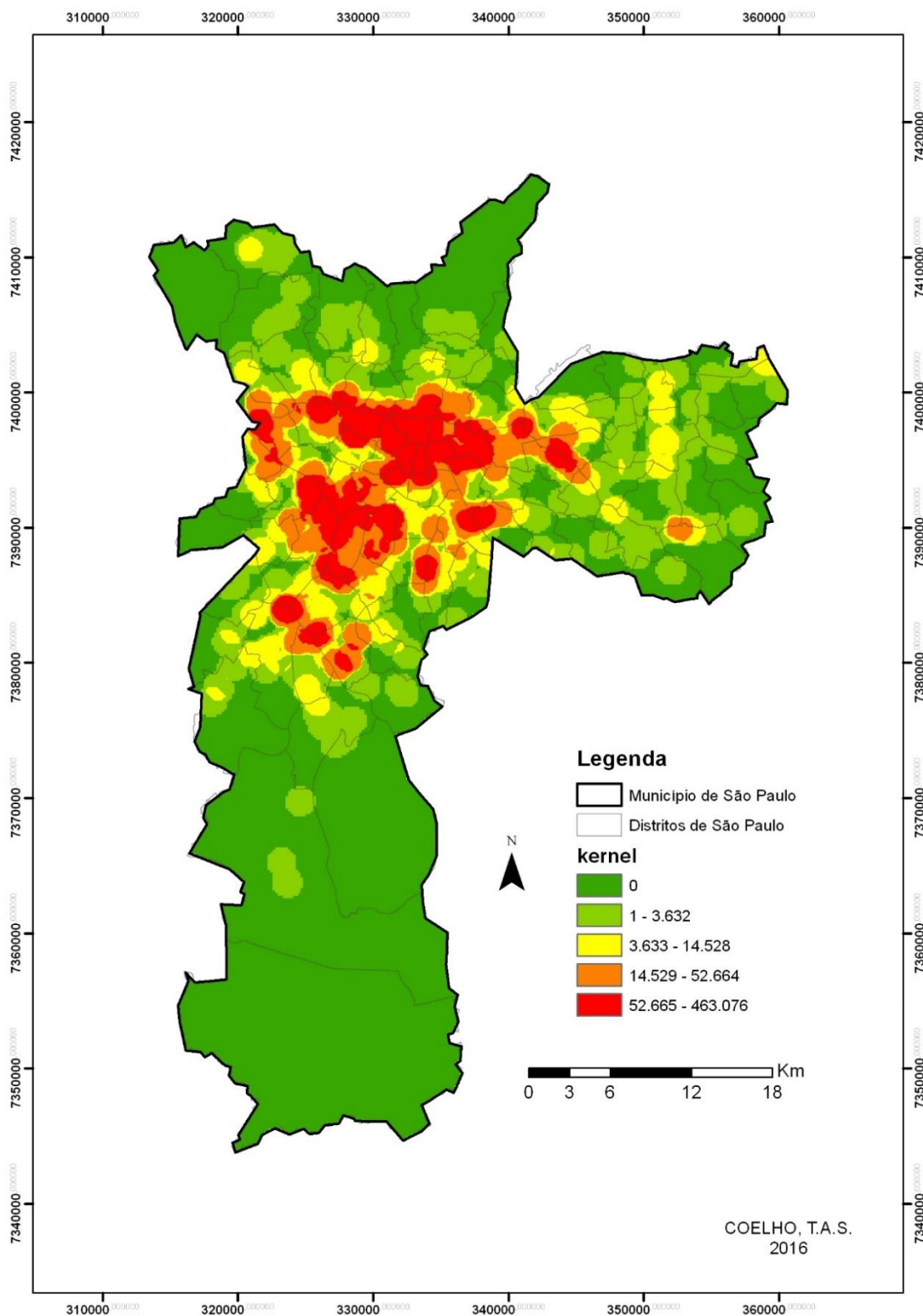


Figura 3 – Mapa da densidade de pontos de alagamento por distrito do município de São Paulo entre 2008 a 2013, estimado pelo método *kernel*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

O mapa da Figura 3 mostra que as maiores densidades estão localizadas nas regiões centrais e próximo às marginais Tietê e Pinheiros. Os distritos com os maiores valores de densidade *kernel*, foram o Brás, Sé, República, Bom Retiro, Barra Funda, Consolação e manchas na região de Santo Amaro e Morumbi.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa, mostraram que, durante o período estudado, os registros e ocorrências dos alagamentos no município de São Paulo concentraram-se principalmente em distritos da região central, especificamente nos distritos do Brás, Sé, República, Bom Retiro, Barra Funda e Consolação. A maioria dos pontos de alagamento estão relacionados a vias de grande circulação, principalmente as grandes vias marginais aos rios Pinheiros e Tietê, amplificando assim, as limitações de mobilidade urbana. O uso do estimador *kernel* e de operações espaciais disponíveis no sistema de informação geográfica permitiram representar com eficiência a distribuição espacial deste fenômeno, e identificar as áreas mais críticas observadas entre 2008 e 2013. Neste artigo o método *kernel* foi aplicado representando as densidades por área, nas próximas etapas de pesquisa o mapa *kernel* obtido será convertido em densidade por segmentos de rede, ajustando as densidades de pontos de alagamento ao mapa de logradouros do município de São Paulo.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pelo financiamento da pesquisa, por meio de bolsa de mestrado (Proc. 2014/21948-5).

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. **Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo**. Ateliê Editorial. Cotia, SP, 2007.

AZEVEDO, A. São Paulo, a cidade trimilionária. In: **A Município de São Paulo: estudos de geografia urbana**. Vol.1, Cap. 1, São Paulo, 1958.

CÂMARA, G; CARVALHO, M.S. Análise espacial de eventos. In: **Análise espacial de dados geográficos**. DRUCKS, S et al. Brasília, EMBRAPA, 2004

CENTRO DE GERENCIAMENTO DE EMERGÊNCIAS DA PREFEITURA DE SÃO PAULO - CGE. **Dados de pontos de alagamento no período de 2008 a 2013**.

CENTRO DE ESTUDOS DA METRÓPOLE - CEM Disponível em: http://www.fflch.usp.br/centrodametropole/v3/bases.php?retorno=716&language=pt_br > acessado em 28 de outubro de 2015

CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicadas a agricultura. **Clima dos Municípios Paulistas**. Unicamp, Campinas, SP, 2016.

FERNÁNDEZ, D.S; LUTZ, M.A. **Urban flood hazards zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriterial decisions analysis**. Facultad de Ciencias Naturales e IMI, Tucumán, Argentina, 2009

FREIRE, F.H.M. **Introdução à Estatística Espacial**. Disponível em: <http://www.observatoriodasmetropoles.ufrj.br/download/aulasanalise-espacial.pdf> > Acessado em 16 de agosto de 2014

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo 2010. Disponível em www.ibge.gov.br > – acessado em 28 de março de 2014

PLANO DIRETOR ESTRATÉGICO DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2002-2012 (PDE). Secretaria Municipal de Planejamento Urbano do Município de São Paulo (Sempla). Editora Senac São Paulo, 2004

SEABRA, O. C. L. **Os meandros dos Rios nos Meandros do Poder** – Tietê e Pinheiros: Valorização dos Rios e da Várzeas na cidade de São Paulo. USP, São Paulo, SP. 1987

SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE - SVMA. **GEO Município de São Paulo: panorama do meio ambiente urbano**. - SVMA/IPT –Prefeitura do Município de São Paulo, Brasília, 2004