

Espacialização da precipitação pluviométrica trimestral em São Paulo Capital

Francisco Fernando Noronha Marcuzzo¹

¹ CPRM / SGB - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil
Rua Banco da Província, 105 - Santa Teresa - CEP 90.840-030 - Porto Alegre / RS, Brasil
francisco.marcuzzo@cprm.gov.br

Abstract. The most appropriate representation in the rain is the spatial layout of isohyets, which are curves that connect points of equal height of precipitation for a given period. The aim of this study was to analyze the quarterly spatial distribution of rainfall in the territorial area of São Paulo. This data is interpolated, using the function Top to Raster ARCGIS producing surface maps to show areas of the county with the highest and lowest monthly and annual rainfall volume. For the first quarter (January to March), the wettest in São Paulo, the average rainfall reaches 773mm in the South / Southeast. In the second quarter the average maximum rainfall observed in the South / Southeast, reaches 378mm, 280mm in the third quarter and finally, in the fourth quarter obtained a maximum rainfall in the area of 526mm. The damper quarter, the first (662,7mm), followed by the fourth quarter (448,8mm), second quarter (218,9mm) and, finally, the drier is the third quarter (165,1mm). It was concluded in this spatial distribution study of the total quarterly precipitate in São Paulo that the largest volumes of rainfall is concentrated in the south / south-east of the municipal area, and in the last quarter (October to December) is also observed volumes close to observed in the South / Southeast also in the North and East.

Palavras-chave: Sampa, chuva, topo to raster, pluviometria, rio Tietê, rio Pinheiros.

1. Introdução

Existe uma forte ligação entre fenômenos climáticos, escoamento superficial e projetos agrícolas e urbanos, onde o desafio não é simplesmente quantificar e qualificar o evento hidrológico, mas especialmente verificar a capacidade de prever a ocorrência de eventos extremos e suas consequências de forma mais fiel possível. O estudo hidrológico da variação espacial da precipitação pluviométrica é de grande valor para qualificar os efeitos ocasionados em áreas urbanas, pois são numerosos os interesses da engenharia nos recursos hídricos.

Na publicação de Mello *et al.* (2011), na mata Atlântica Sul-Mato-Grossense, verifica-se que choveu mais na parte sul durante o período analisado. Isso ocorreu porque no extremo sul do Mato Grosso do Sul o clima é do tipo tropical de altitude, que no Brasil sofre maior influência da massa de ar tropical atlântica, uma massa de ar quente e úmida, o que traz muita chuva para a região. O conhecimento do regime pluviométrico geral da região e dos fatores que podem influenciar na distribuição é imprescindível para um traçado das isoietas (GARCEZ e ALVAREZ, 1998).

O objetivo deste estudo foi analisar e descrever a distribuição espacial trimestral da precipitação pluviométrica na área territorial do município de São Paulo, utilizando os dados do Atlas Pluviométrico do Brasil, publicado pelo Serviço Geológico do Brasil. Interpolou-se esses dados utilizando a função *Topo to Raster* do ARCGIS, produzindo mapas de superfície para mostrar as áreas do município com maior e menor volume precipitado mensal e anual.

2. Material e Métodos

2.1. Caracterização da Área de Estudo

O estado de São Paulo (Figura 1) possui em sua área o número de 645 municípios, sendo um deles a cidade de São Paulo. Segundo os dados compilados por Marcuzzo (2016), a capital paulista possuía em 2010 uma população aproximada de 11.253.503 habitantes (IBGE, 2010) e estimada em 2015 de 11.967.825 habitantes. A área do município de São Paulo (Figura 2) é de 1.521,11km², ou seja, densidade demográfica de 7.398,3 habitantes por quilometro quadrado em 2010, com um PIB a preços correntes de 2010 de 499.375.401.

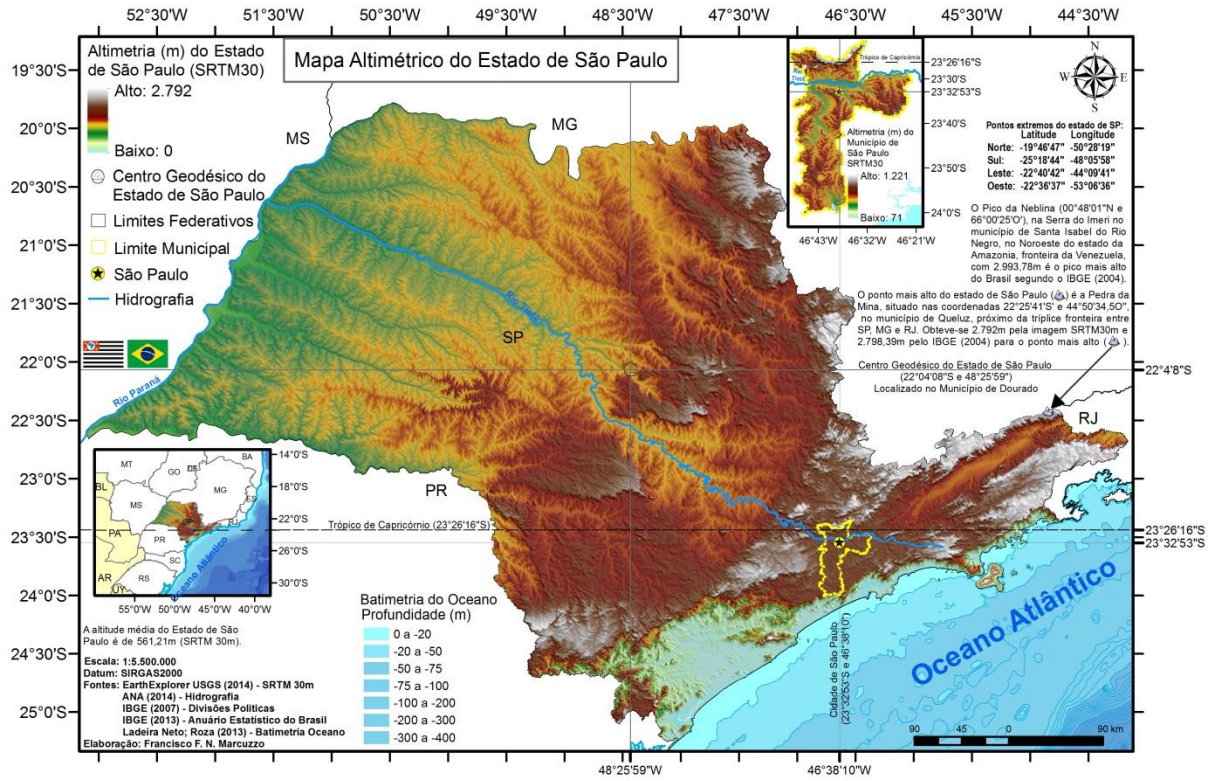


Figura 1. Mapa altimétrico do estado de São Paulo com o município de São Paulo.

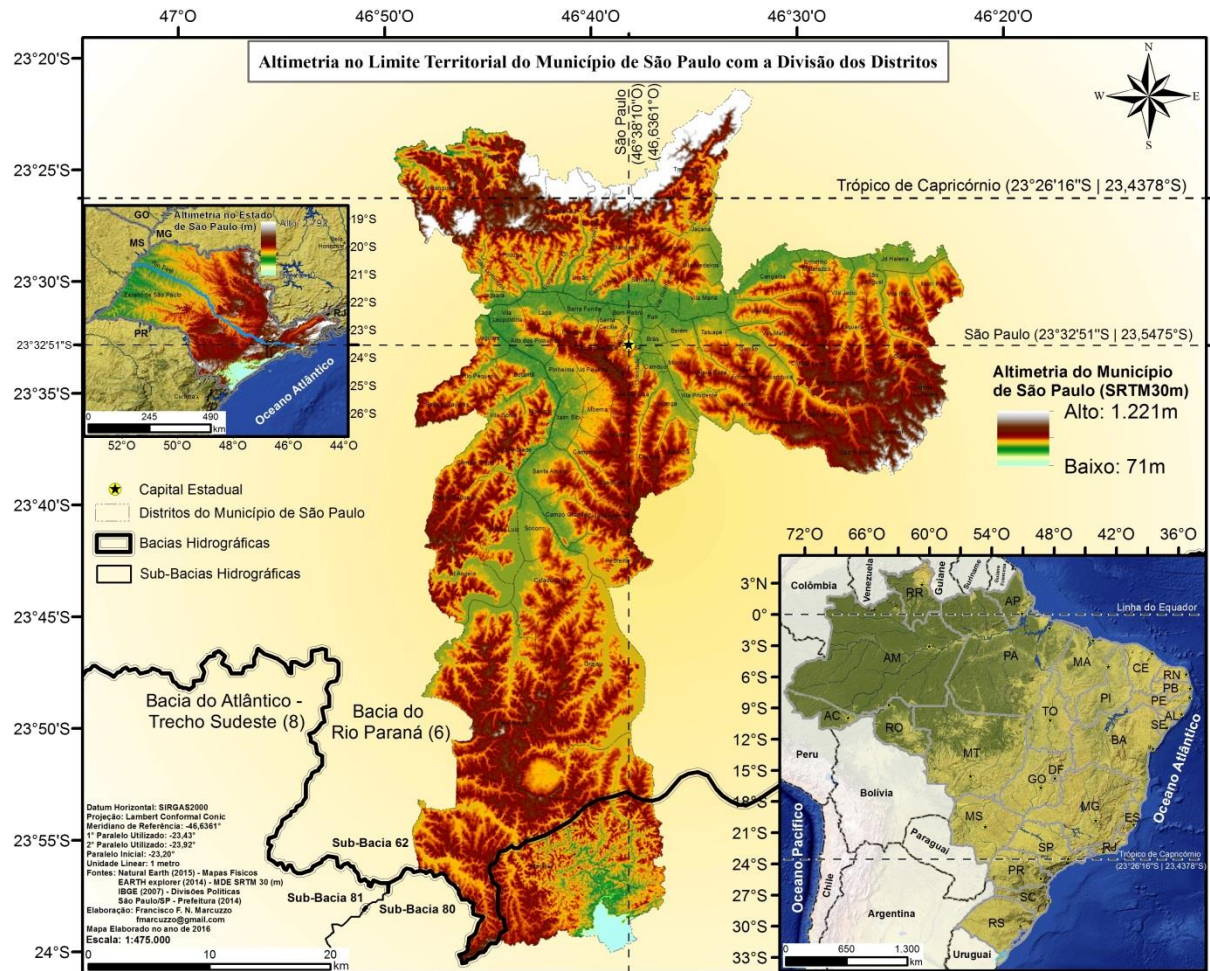


Figura 2. Localização do município de São Paulo, com seus distritos, e seu mapa altimétrico.

2.2. Dados Utilizados e Interpolação Matemática

Foram utilizados médias mensais e anuais (sazonais) de precipitação das séries históricas de dados pluviométricos de estações mostradas na Figura 3, obtidos da Rede Hidrometeorológica Nacional (BRASIL, 2014), também disponibilizados por Pinto *et al.* (2011) e utilizados também por Cardoso *et al.* (2011), Marcuzzo *et al.* (2011), Mello *et al.* (2011), Marcuzzo *et al.* (2012), Oliveira e Marcuzzo (2013), Romero *et al.* (2014), Marcuzzo e Melati (2015), Oliveira *et al.* (2015), Romero *et al.* (2015) e Oliveira *et al.* (2016).

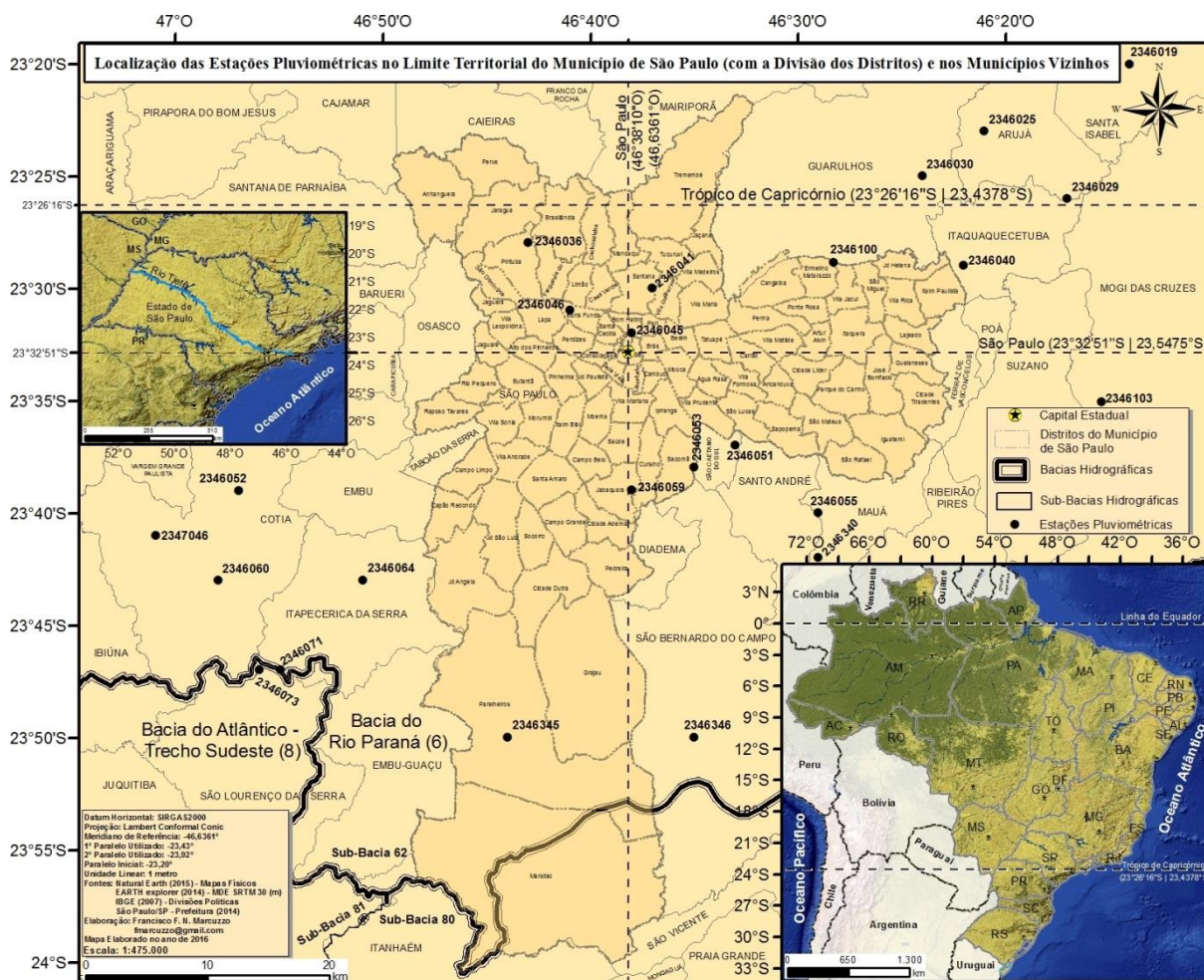


Figura 3. Distribuição geográfica das estações pluviométricas utilizadas no estudo.

A função *Topo to Raster* é um método de interpolação baseado no programa *ANUDEM* desenvolvido por *Hutchinson*, que foi especificamente feito para a criação de MDE hidrológicamente corretos, contudo alguns estudos o indicam como o melhor para a interpolação de dados climatológicos (MARCUZZO *et al.*, 2011, p.803), onde a interpolação pode ser feita em programas de sistema de informação geográfica. O programa interpola os dados de clima em uma grade regular, de modo interativo, gerando grades sucessivamente menores, minimizando a soma de uma de penalização de rugosidade (*roughness penalty*) e a soma dos quadrados dos resíduos (diferenças das elevações medidas e calculadas pela função). Logo Marcuzzo *et al.* (2011), cada elevação em um determinado local é dada por:

$$z_i = f(x_i, y_i) + w_i \varepsilon_i \quad (1)$$

em que, $f(x,y)$ é a função de interpolação, definida por uma função *B-spline*, cada w_i é uma constante positiva que representa o erro de discretização do ponto i e cada ε_i é uma amostra de uma variável aleatória de média zero e desvio padrão igual a um.

Assumindo que cada ponto está localizado aleatoriamente dentro da célula do modelo, a constante w_i é definida por:

$$w_i = \frac{h s_i}{\sqrt{12}} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n [(z_{1-f}(x_i, y_i) \div w_i)^2 + \lambda J(f)] \quad (3)$$

em que, h é o espaçamento da grade; s_i é a medida de inclinação da célula da grade associada com o ponto (x_i, y_i) .

A função $f(x, y)$ é então estimada resolvendo uma aproximação na grade regular via método das diferenças finitas que minimiza a somatória. A constante w_i varia com cada iteração, em uma característica adaptativa local (*locally adaptive feature*), já que a cada iteração do programa um novo valor de inclinação (s_i) é disponibilizado para cada célula da grade conforme o método iterativo avança. Marcuzzo *et al.* (2011) citam que o programa utiliza o método *multi-grid* simples para minimizar a equação em resoluções cada vez melhores, começando de uma grade inicial larga até uma grade que tenha resolução definida pelo usuário, respeitando restrições que garantem uma estrutura de drenagem conectada.

3. Resultados e Discussão

Para o primeiro trimestre (janeiro a março), o mais úmido no município de São Paulo, a precipitação média alcança 773mm (Figura 4) no Sul/Sudeste. No segundo trimestre a precipitação média máxima, observada no Sul/Sudeste, chega a 378mm (Figura 5), no terceiro trimestre 280mm (Figura 6) e, por fim, no quarto trimestre obteve-se uma precipitação máxima na área de 526mm (Figura 7). Na Figura 8 nota-se que o trimestre mais úmido, no município de São Paulo, é o primeiro (662,7mm), seguido do quarto trimestre (448,8mm), segundo trimestre (218,9mm) e, por fim, o trimestre mais seco é o terceiro (165,1mm).

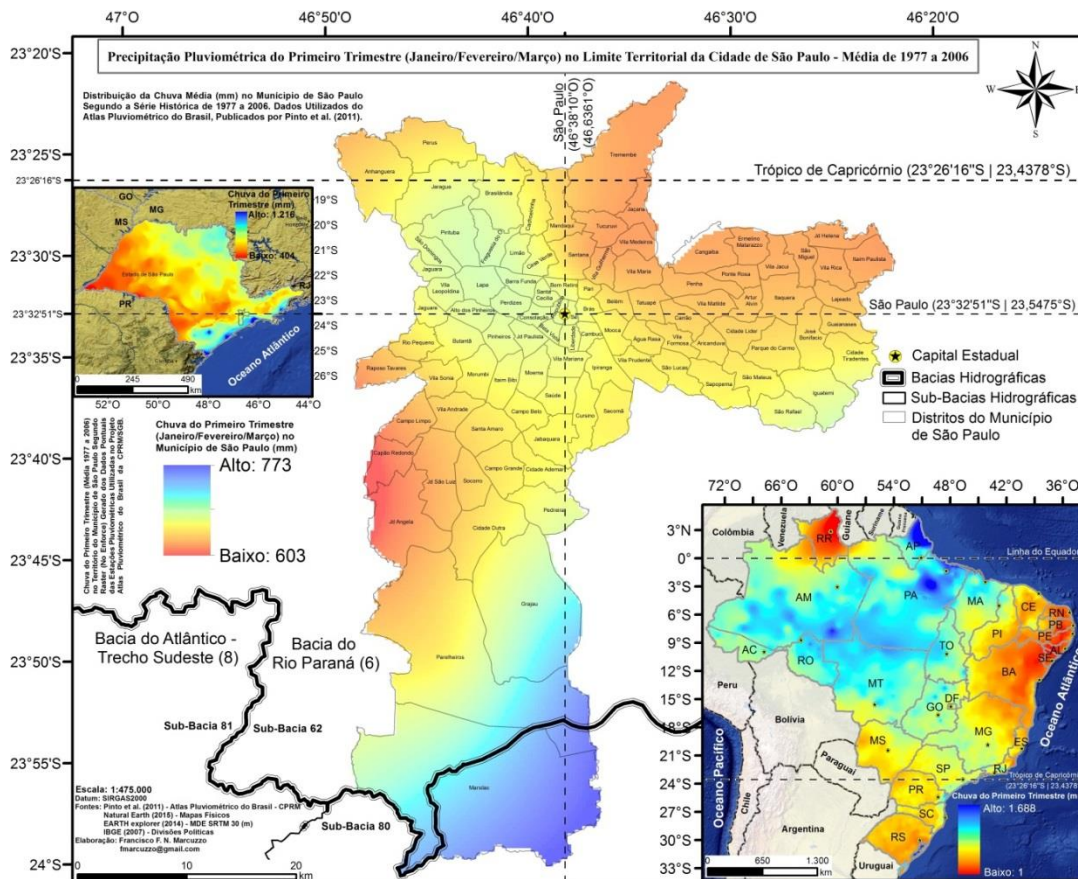


Figura 4. Precipitação pluviométrica total no primeiro trimestre no município de São Paulo.

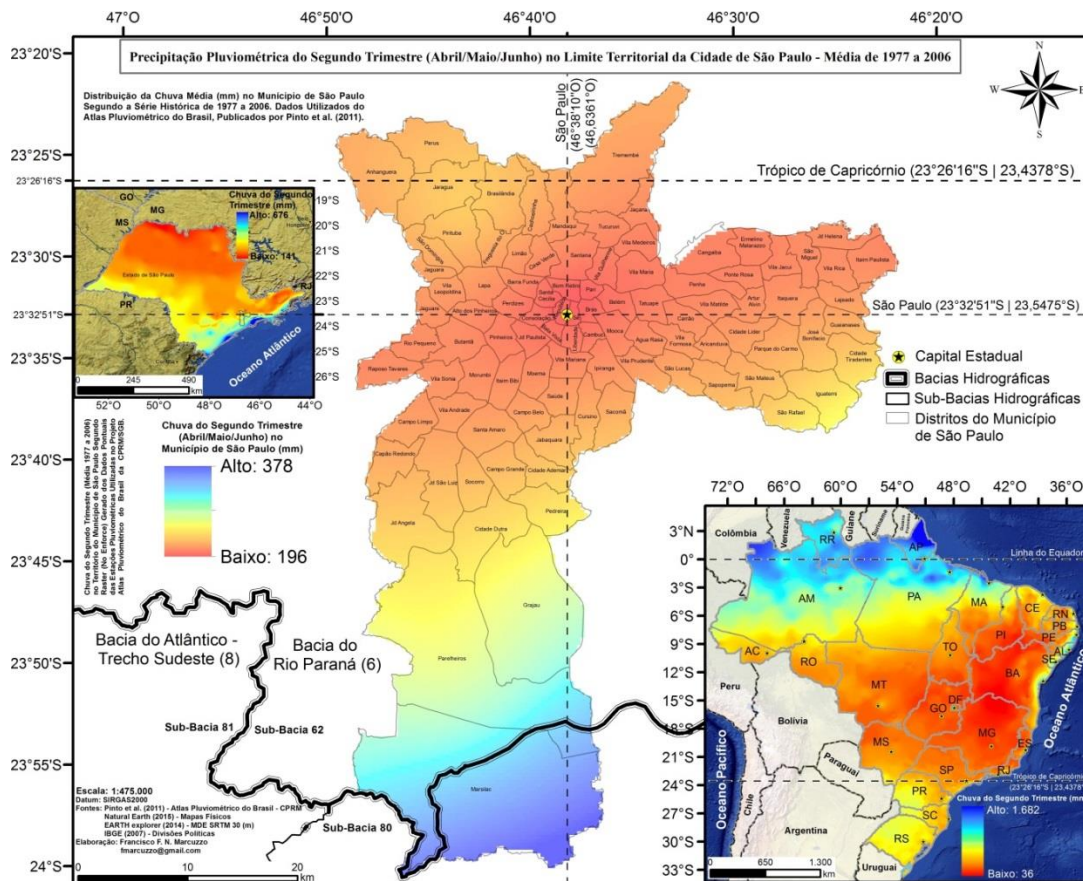


Figura 5. Precipitação pluviométrica total no segundo trimestre no município de São Paulo.

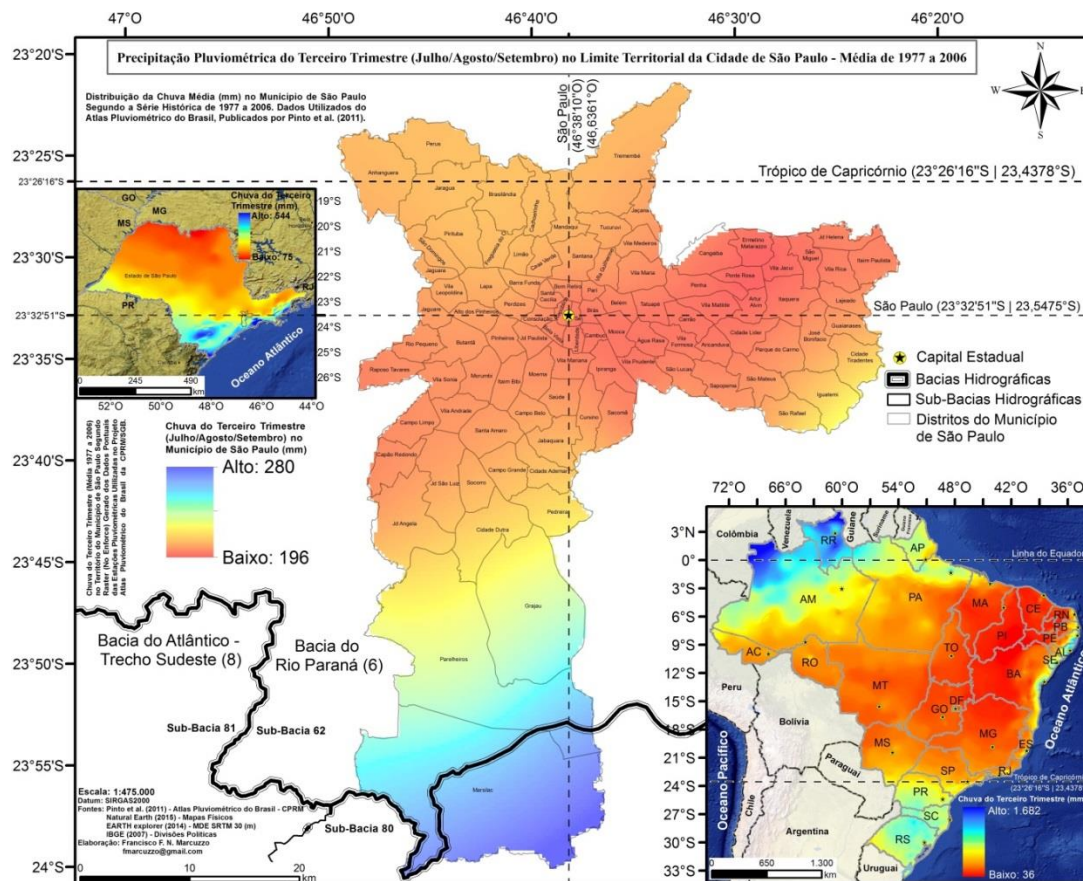


Figura 6. Precipitação pluviométrica total no terceiro trimestre no município de São Paulo.

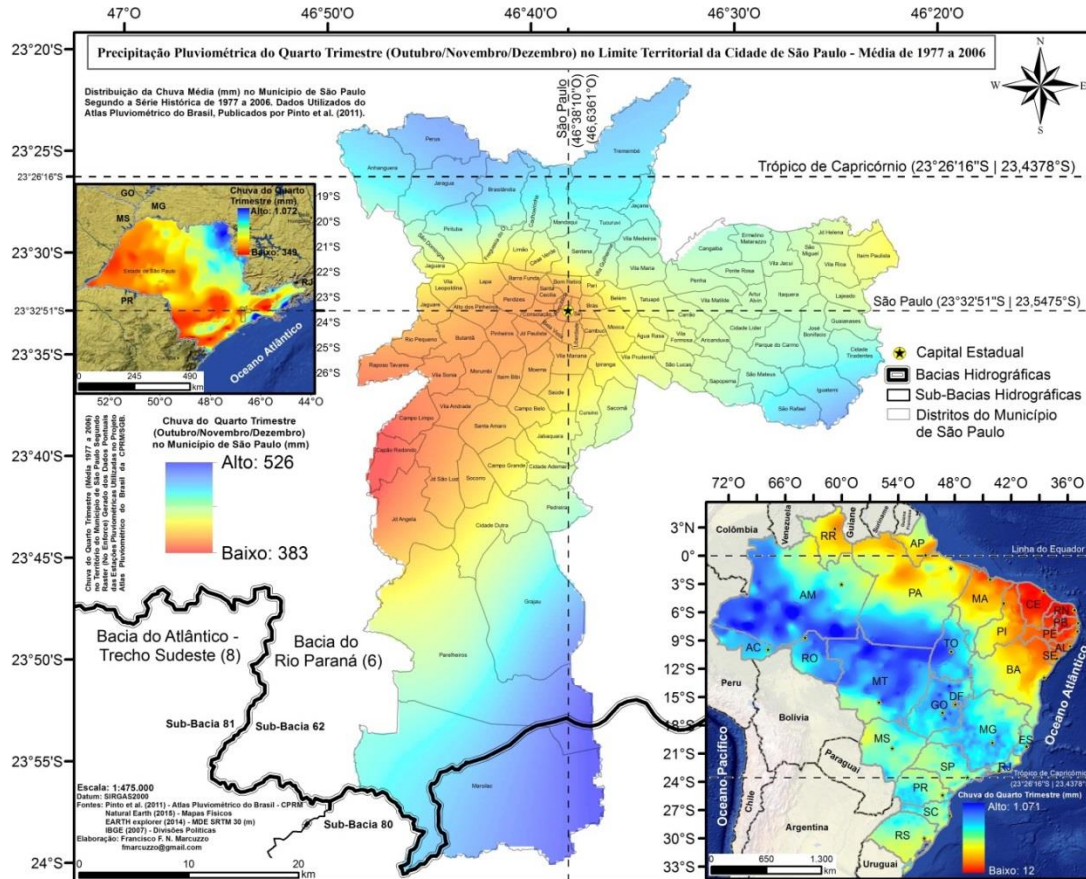


Figura 7. Precipitação pluviométrica total no quarto trimestre no município de São Paulo.

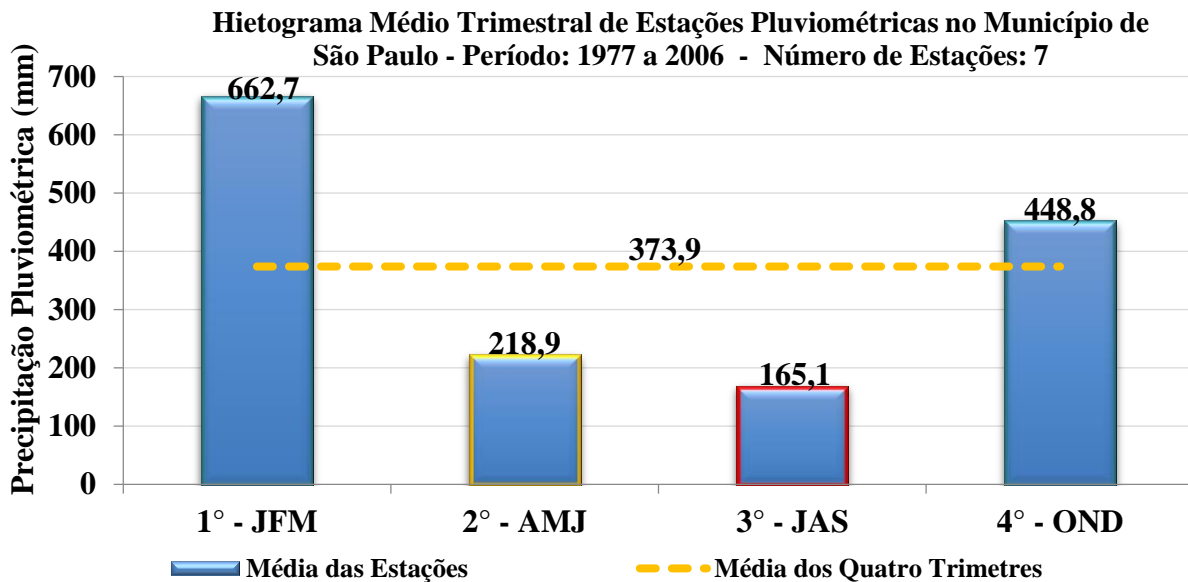


Figura 8. Hietograma trimestral de São Paulo Capital (dados médios de 1977 a 2006).

Em seu estudo sobre precipitação mensal em São Paulo Capital, Marcuzzo *et al.* (2016) observa que as regiões mais urbanizadas (com mais construções) são as que apresentaram as menores faixas de volume precipitado, considerando a média de 30 anos (1977 a 2006). O autor cita também uma variação em torno de 487mm, da região Sul da cidade de São Paulo, com maior precipitação pluviométrica (1.950mm), com a região central, Oeste e Leste da cidade, com menor precipitação pluviométrica (1.363mm).

As Figuras apresentadas neste trabalho, com melhor resolução podem ser baixadas gratuitamente pelos endereços (“links”) na internet disponibilizados no Quadro 1, ou através da solicitação pelo e-mail do autor deste trabalho.

Quadro 1. Figuras para baixar, com melhor resolução, apresentando detalhes deste estudo.

Material	Endereços (“links”) para Baixar Utilizando o Navegador de Internet
	----- Mapas Para Impressão em PDF (Folha A1) -----
Mapas das bacias hidrográficas do Brasil – 100 a 2000dpi	https://drive.google.com/folderview?id=0B5YK_fCaGOyfb1FrV1lmSXB3ZUE&usp=sharing
Mapa Altimétrico do Estado de São Paulo – 120dpi	https://onedrive.live.com/redir?resid=48404C05B611FFB1652&authkey=!ACIQSOciT8NiXOU&ithint=file%2cpdf
Mapa Altimétrico do Estado de São Paulo – 500dpi	https://onedrive.live.com/redir?resid=48404C05B611FFB1656&authkey=!AAdKeLTVqjj_bw&ithint=file%2cpdf
Mapa Altimétrico do Município de São Paulo – 120dpi	https://onedrive.live.com/redir?resid=48404C05B611FFB1648&authkey=!ACFw4dzGv3e6Bh8&ithint=file%2cpdf
Mapa Altimétrico do Município de São Paulo – 500dpi	https://onedrive.live.com/redir?resid=48404C05B611FFB1649&authkey=!ANcsXahOToNH0Dw&ithint=file%2cpdf
Mapa de Localização das Estações Pluviométricas – 120dpi	https://onedrive.live.com/redir?resid=48404C05B611FFB1646&authkey=!AAZ-LuFTwuCJeTM&ithint=file%2cpdf
Mapa de Localização das Estações Pluviométricas – 500dpi	https://onedrive.live.com/redir?resid=48404C05B611FFB1660&authkey=!ACSRpZzTBVzoqP8&ithint=file%2cpdf
Mapa da Chuva Média Anual no Município de São Paulo – 120dpi	https://onedrive.live.com/redir?resid=48404C05B611FFB1650&authkey=!AKpreIWPWHUxz5k&ithint=file%2cpdf
Mapa da Chuva Média Anual no Município de São Paulo – 500dpi	https://onedrive.live.com/redir?resid=48404C05B611FFB1651&authkey=!AF_h7kg-QAZmwY4&ithint=file%2cpdf
	----- Figuras Deste Trabalho em JPG -----
Figura 1 - Localização	https://onedrive.live.com/redir?resid=48404C05B611FFB1647&authkey=!ADwHva431hNLEts&v=3&ithint=photo%2cjpg
Figura 2 – 1º Trimestre	https://onedrive.live.com/redir?resid=48404C05B611FFB1635&authkey=!AKfo7vve7d-StHA&v=3&ithint=photo%2cjpg
Figura 3 - 2º Trimestre	https://onedrive.live.com/redir?resid=48404C05B611FFB1636&authkey=!AD2RXr_GwSWfxg&v=3&ithint=photo%2cjpg
Figura 4 - 3º Trimestre	https://onedrive.live.com/redir?resid=48404C05B611FFB1637&authkey=!AOqTSfReKlq7gBQ&v=3&ithint=photo%2cjpg
Figura 5 - 4º Trimestre	https://onedrive.live.com/redir?resid=48404C05B611FFB1638&authkey=!AK7ieDLTG1YyK4&v=3&ithint=photo%2cjpg
	----- Material de Apoio Neste Trabalho -----
Chuva Mensal e Anual Sampa	https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOS2VEU2NGYzVYR2s/view?usp=sharing
Material Utilizado da CPRM	http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1351&sid=9

4. Conclusão

Concluiu-se neste estudo de distribuição espacial do total precipitado trimestralmente no município de São Paulo que os maiores volumes de chuvas se concentram ao Sul/Sudeste da área municipal, sendo que no último trimestre (outubro a dezembro) observa-se também volumes próximos aos observados no Sul/Sudeste também no Norte e Leste.

Agradecimentos

O autor agradece a CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil - empresa pública de pesquisa do Ministério de Minas e Energia) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho e a bibliotecária Ana Lucia Borges Fortes Coelho da CPRM/SGB de Porto Alegre pela ajuda com as referências bibliográficas.

Referências Bibliográficas

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Sistema para Gerenciamento de Dados Hidrológicos**. Versão Hidro 1.2, compilação 1.2.1.286. Brasília: ANA, 2014. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 23 jan. 2015.

Cardoso, M. R. D.; Marcuzzo, F. F. N.; Melo, D. C. R. Mapeamento temporal e espacial da precipitação pluviométrica da região metropolitana de Goiânia. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. v. 1. p. 4594-4601. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1354.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2015.

Garcez, L.N.; Alvarez, G.A. **Hidrologia**. São Paulo, Edgard Blucher LTDA, 1998, 291p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística. **Contagem da População**. 2010. Disponível: <<http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

Marcuzzo, F. F. N. A distribuição espacial da chuva mensal e anual no território do município de São Paulo, 27. (AESABESP), 2016, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: SABESP, 2016. P 1-20. 1 DVD. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOS2VEU2NGYzVYR2s/view?usp=sharing>. Acesso em: 26 ago. 2016.

- Marcuzzo, F. F. N. A espacialização da chuva mensal e anual na bacia hidrográfica do Ribeirão Bonito – afluente do Baixo Tietê, 27. (AESABESP), 2016, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: SABESP, 2016. P 1-20. 1 DVD. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOdmh0SWNpMUlnRE0/view?usp=sharing>. Acesso em: 26 ago. 2016.
- Marcuzzo, F. F. N. **Mapa das bacias e sub/bacias hidrográficas do Brasil**. Escala 1cm:79km. Porto Alegre: 2016. Disponível em: <https://drive.google.com/folderview?id=0B5YK_fCaGOyfb1FrV1lmSXB3ZUE&usp=sharing>. Acesso em: 21 jun. 2016.
- Marcuzzo, F. F. N.; Andrade, L. R.; Melo, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.4, n.4, p. 793-804, 2011. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/197/204>>. Acesso em: 20 ago. 2012.
- Marcuzzo, F. F. N.; Cardoso, M. R. D. Determinação do ano hidrológico e geoespacialização das chuvas dos períodos úmido e seco da sub-bacia 63. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu, PR. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 1099-1106. 1 DVD. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0137.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2013.
- Marcuzzo, F. F. N.; Melati, M. D. Precipitação pluviométrica mensal nas sub-bacias que integram à bacia do Atlântico – Trecho Sudeste. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21, 2015, Brasília. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2015. Disponível em: <https://drive.google.com/open?id=0B6T7sNg_aVgOMk9nVkxRU2VRS_Fk>. Acesso: 30 dez. 2015.
- Marcuzzo, F. F. N.; Melo, D. C. R.; Costa H. C. Sazonalidade e Distribuição Espaço-Temporal das Chuvas no Bioma do Cerrado do Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n.1, p. 77 a 86, 2012. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/62d09e7e2ae5b0c136d0c9363c68de66_4ac72359b779c1d03a0958c17f17ed65.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2012.
- Mello, L. T. A.; Marcuzzo, F. F. N.; Costa, H. C.; Melo, D. C. R.; Cardoso, M. R. D. Estudo da sazonalidade e distribuição espaço-temporal das chuvas no bioma da Mata Atlântica do estado do Mato Grosso do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4452-4459. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQTRW/3A63GMB>>. Acesso em: 15 ago. 2012.
- Oliveira, de L. N.; Marcuzzo, F. F. Influência do el niño e la niña no número de dias de precipitação pluviométrica do estado do Mato Grosso do Sul. **Ateliê Geográfico (UFG)**, v. 10, p. 73-94, 2016. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/atelie/article/view/30945/21113>>. Acesso em: 07 Jul. 2016.
- Oliveira, N. de L.; Marcuzzo, F. F. N. Correlação da variação da temperatura na parte sul do oceano Atlântico com o número de dias de precipitação pluviométrica do estado do Mato Grosso do Sul. **Geoambiente On-line**, [S.l.], n. 20, p. 01-22, jul. 2013. ISSN 1679-9860. Disponível em: <<http://revistas.ufg.br/index.php/geoambiente/article/view/26087/15035>>. Acesso em: 20 Jan. 2015.
- Oliveira, N. L.; Marcuzzo, F. F. N.; Barros, R. G. Influência do El Niño e La Niña no Número de Dias de Precipitação Pluviométrica no Estado do Mato Grosso. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 284-297, 2015. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaenatura/article/view/12717/pdf>>. Acesso em: 11 dez. 2015.
- Pinto, E. J. de A.; Azambuja, A. M. S. de; Farias, J. A. M.; Salgueiro, J. P. de B.; Pickbrenner, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos**. Brasília: CPRM, 2011. 1 DVD. Escala 1.5:000.000. Equipe Executora: Da Costa, Margarida Regueira; Dantas, Carlos Eduardo de Oliveira; De Azambuja, Andressa Macêdo Silva; Do Nascimento, Jean Ricardo da Silva; Dos Santos, André Luis M. Real; Farias, José Alexandre Moreira; Machado, Érica Cristina; Marcuzzo, Francisco Fernando Noronha; Medeiros, Vanesca Sartorelli; Melo, Denise Christina de Rezende; Rodrigues, Paulo de Tarso R.; Weschenfelder, Adriana Burin; Sistema de Informação Geográfica-SIG - versão 2.0 - atualizada em novembro/2011; Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/s/start.htm?inoid=1351&sid=9>>. Acesso em: 3 set. 2015.
- Romero V.; Marcuzzo, F. F. N.; Cardoso, M. R. D. Tendência do número de dias de chuva no estado de Goiás e a relação dos seus extremos com o índice oceânico niño. **Boletim Goiano de Geografia** (Online), v. 34, p. 567-584, 2015. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/bgg/article/view/33867/17922>>. Acesso em: 30 jan. 2015.
- Romero, V.; Cardoso, C. C.; Marcuzzo, F. F. N.; Barros, R. G. Correlação da variação da temperatura na parte sul do oceano atlântico com a precipitação pluviométrica no estado de Goiás. **Ciência e Natura**, v. 35, p. 232-245, 2014. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaenatura/article/view/12576/7987>>. Acesso em: 11 dez. 2015.