

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **INFLUÊNCIA DA RESOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO DE UM RADAR METEOROLÓGICO BANDA-S DE DUPLA POLARIZAÇÃO.**

*Kleber L. Rocha Filho<sup>1\*</sup> & Flavio Conde<sup>2</sup> & Cristiane P. Andrioli<sup>3</sup> & Andrés S.K.B. Sosnoski<sup>4</sup>*

**Resumo** – A precipitação é uma variável estocástica com grande variabilidade espaço-temporal sua estimativa é de grande importância para uma representação adequada de processos de geração de vazão em ambientes diversos, especialmente em ambientes urbanos onde as resoluções necessárias são elevadas. Redes de pluviômetros medem a precipitação pontualmente, mas não são capazes de representar a variabilidade espacial da mesma. Radares meteorológicos produzem estimativas de precipitação com alta resolução espaço-temporal, porém com diversas fontes de incerteza. Nesse trabalho foram avaliadas as incertezas nas estimativas de precipitação de um radar banda-S de dupla polarização, localizado na Região Metropolitana de São Paulo. Foram verificadas diferentes resoluções espaciais (500 m, 1 km e 2 km) e diferentes passos de acumulação (10 min., 1 hora e 24 horas) e comparados com 212 estações de superfície. Os resultados mostram que o algoritmo superestima a precipitação para todas as configurações. A magnitude das superestimativas é menor na estação chuvosa (42% - 78%) do que na estação seca (146% - 160%). Os campos de resolução espacial de 500 m mostraram o melhor desempenho para acumulados de 10 minutos enquanto que para acumulados maiores (1 e 24 horas) não se observou diferenças entre as resoluções avaliadas.

**Palavras-Chave.** – Radar Meteorológico, Estimativa de Precipitação.

**Abstract** – Representing rainfall is one of the main challenges in hydrology and meteorology due to its spatial and temporal variability. The small size and the imperviousness rates of urban watersheds oblige us to estimate rainfall in small scales. Rain gauge network are able to quantify the rainfall locally, but lack spatial representativity. Weather radars, though having high spatial-temporal representativity, show several uncertainty sources. The objective of the paper is to evaluate the uncertainty of different resolution (500 m, 1 and 2 km) of rainfall fields for three accumulations steps (10 min., 1 and 24 hours) produced by a SPOL weather radar over RMSP. The data was spitted in wet (October to April) and dry (April to October) season. For the verification, 212 rain gauges have been used. The results have shown an overestimate for all resolution and time steps. For wet season the overestimates are lower than estimates in dry season, 42%-78% in wet season against 146%-160% in dry season. The 500 m space resolution field has shown the best estimations for the smallest accumulation step (10 min), while for the 1 and 24 hours accumulation steps, no significant differences where observed.

**Keywords** – Weather radar, Quantitative Precipitation Estimation

<sup>1</sup> Afiliação: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – [kleber@saisp.br](mailto:kleber@saisp.br)

<sup>2</sup> Afiliação: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – [andre.sosnoski@fcth.br](mailto:andre.sosnoski@fcth.br)

<sup>3</sup> Afiliação: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – [conde@fcth.br](mailto:conde@fcth.br)

<sup>4</sup> Afiliação: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – [cristiane@saisp.br](mailto:cristiane@saisp.br)

\* Autor Correspondente

## INTRODUÇÃO

A precipitação, como a principal forçante nos processos de geração de vazão, exerce um papel fundamental no ciclo hidrológico. Do ponto de vista de hidrologia urbana onde predominam bacias com tamanho reduzido e elevados índices de impermeabilização. A consequência é o baixo tempo de resposta, assim há a necessidade de monitoramento da precipitação com elevada resolução temporal e espacial (Berne *et al.*, 2004). Redes de pluviômetros representam a intensidade da precipitação pontualmente com elevado grau de confiabilidade, porém apresentam problemas na representação da variabilidade espacial da mesma (Rocha Filho, 2010; Silva, 2006; Pereira Filho e Crawford, 1995). A utilização de radares meteorológicos para a estimativa de precipitação é de grande importância no monitoramento de eventos intensos e determinação de acumulados sobre áreas de interesse (Wang e Chandrasekar, 2010), porém apresenta diversas fontes de incerteza. Alguns exemplos são mostrados em Austin, (1987) e Doviak e Zrnich, (1993): representação do espectro de gotas (Z-R), presença de banda brilhante, problemas de amostragem por *gate* e índice de refração da atmosfera.

A escolha das resoluções espacial e temporal de operação em um radar meteorológico depende principalmente aplicação das estimativas. Berne *et al.*, (2004) concluíram que para o estimativas adequadas da precipitação, na região do Mediterrâneo, bacias rurais com área da ordem de 1000 ha necessitam de estimativas de precipitação com resolução espacial de 3 km e temporal de 5 minutos, enquanto que bacias urbanas, 2 km e 3 minutos respectivamente. A determinação desses parâmetros influencia diretamente a configuração das estratégias de varredura operacionais, armazenamento e transmissão de dados dos radares.

O SAISP (Sistema de Alerta à Inundações de São Paulo) é responsável pelo monitoramento de precipitação, nível e descarga dos principais rios e córregos na RMSP (Região Metropolitana de São Paulo). Efetua a geração de alertas a partir de modelos qualitativos estatísticos (Rocha Filho *et al.*, 2011) e previsão de afluência quantitativa (Rocha Filho *et al.*, 2017). Ambos os modelos são alimentados com dados de um radar meteorológico que opera com diferentes resoluções espaciais. Existe a necessidade da verificação rotineira do desempenho das estimativas de precipitação.

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é a verificação do desempenho das estimativas de precipitação de um radar meteorológico para diferentes resoluções espaciais e temporais. Serão avaliados os campos de precipitação com resoluções de 0,5 km, 1 km e 2 km de resolução espacial bem como acumulados de 10 minutos, 1 hora e 24 horas. Para a verificação serão utilizados 212 pluviômetros automáticos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

A RMSP localiza-se na faixa leste do estado de SP, é composta por 39 municípios e abriga aproximadamente 22 milhões de pessoas (IBGE, 2018).

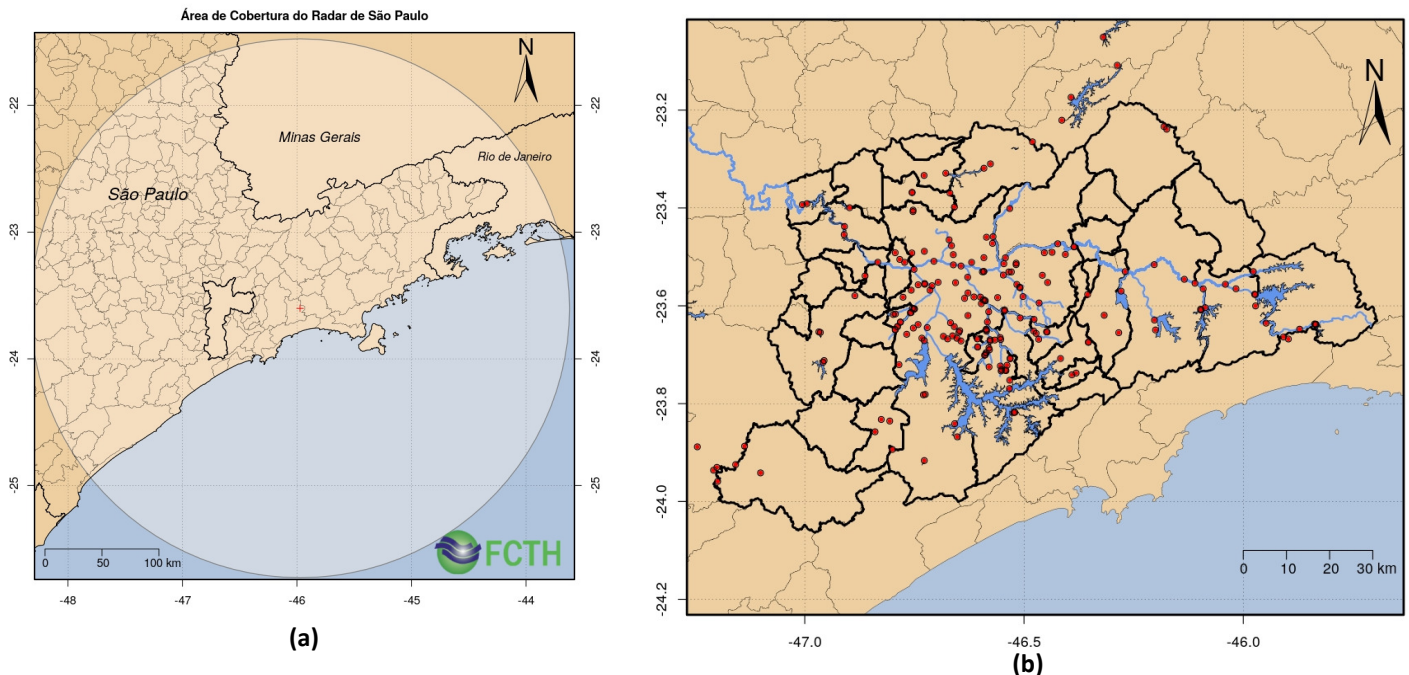


Figura 1: (a) Área de cobertura do Radar meteorológico de São Paulo (RSP), em negrito o destaque para a localização do município de São Paulo; (b) Região Metropolitana de São Paulo, os pontos em vermelho indicam as estações de superfície utilizadas no trabalho, as linhas em azul claro indicam a hidrografia local. Organização Rocha Filho *et al.*(2019).

### Radar Meteorológico

O radar meteorológico de São Paulo é do tipo banda S, Doppler, polarização diversificada (H-V) e ângulo de abertura de  $1^\circ$ . Com alcance operacional de 240 km, monitora uma área de aproximadamente 180.000 km<sup>2</sup> (Figura 1a) e opera, em modo chuva, com resolução temporal de 5 minutos. A resolução espacial máxima do *gate* é de 125 metros. No presente trabalho foram utilizadas as estimativas de precipitação do produto DPSRI (*Dual Polarization Surface Rainfall Intensity*) com resoluções espaciais de 500 m, 1 km e 2 km. O algoritmo para conversão em taxa de precipitação é o proposto por Ryzhkov *et al.* (2005) para radares banda S (Equações 1-5):

$$R = \frac{R(Z)}{0.4 + 5.0|Z_{DR} - 1|^{1.3}} \quad \text{para } R(Z) < 6 \text{ mm/h} \quad (1)$$

$$R = \frac{R(K_{DP})}{0.4 + 3.5|Z_{DR} - 1|^{1.7}} \quad \text{para } 6 < R(Z) < 50 \text{ mm/h} \quad (2)$$

$$R = R(K_{DP}) \quad \text{para } R(Z) > 50 \text{ mm/h} \quad (3)$$

Onde,

$$R(Z) = \frac{1}{200^{1/1.6}} Z^{1/1.6} \Leftrightarrow Z = 200R^{1.6} \quad (4)$$

$$R(K_{DP}) = 44.0 |K_{DP}|^{0.83} \quad (5)$$

Onde  $Z$  é refletividade horizontal,  $K_{DP}$  o diferencial de fase específica e  $Z_{DR}$  a refletividade diferencial. Foram analisados aproximadamente 180000 campos de precipitação compreendidos entre outubro de 2017 e outubro de 2018.

### Rede de Pluviômetros

Para a verificação das estimativas de precipitação, foram utilizados 212 pluviômetros automáticos de balança operados pelo SAISP (figura 1b). Os pluviômetros são do tipo balança e possuem resolução temporal de 10 minutos e 0,2 mm de resolução amostral.

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

As estimativas de precipitação foram separadas em dois grupos, estação chuvosa (outubro de 2017 a abril de 2018) e estação seca (abril de 2018 a outubro de 2018). Para cada período foram comparados os acumulados de 10 minutos, 60 minutos e 24 horas das estimativas versus as observações das estações de superfície.

A figura 1 mostra o diagrama de dispersão para o período seco de 2018 e passo de acumulação de 10 minutos. Observa-se que para as três diferentes resoluções as estimativas superestimam, na média, os observados. A superestimativa para a resolução de 500 metros é a com menor magnitude, assim como a maior correlação (tabela 1).

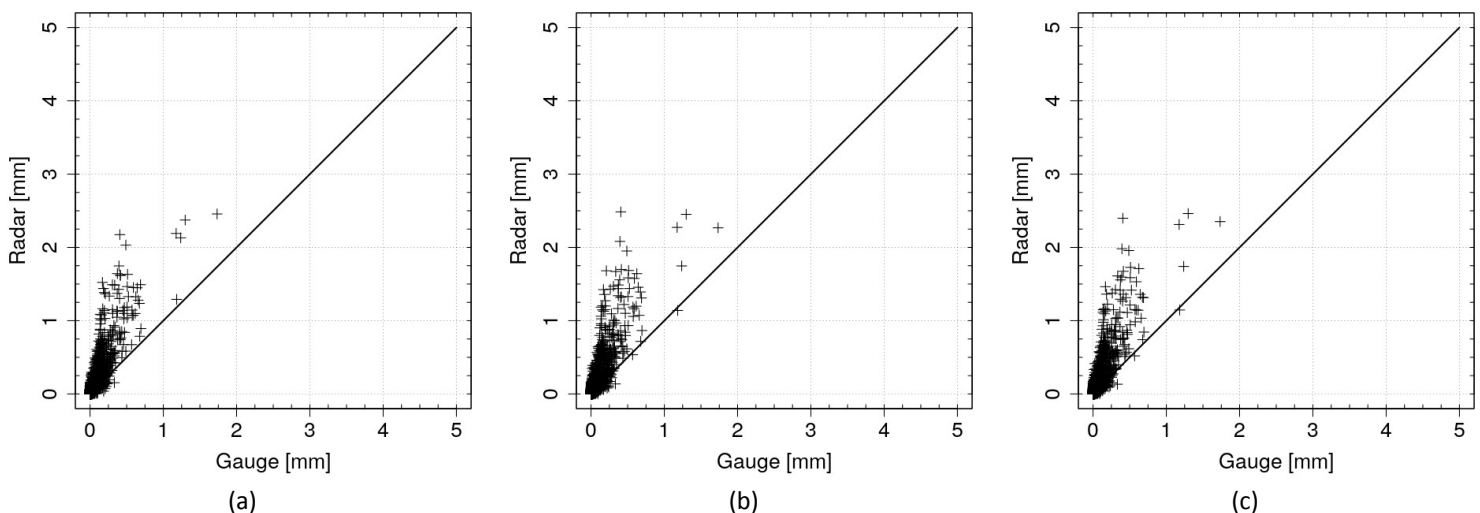
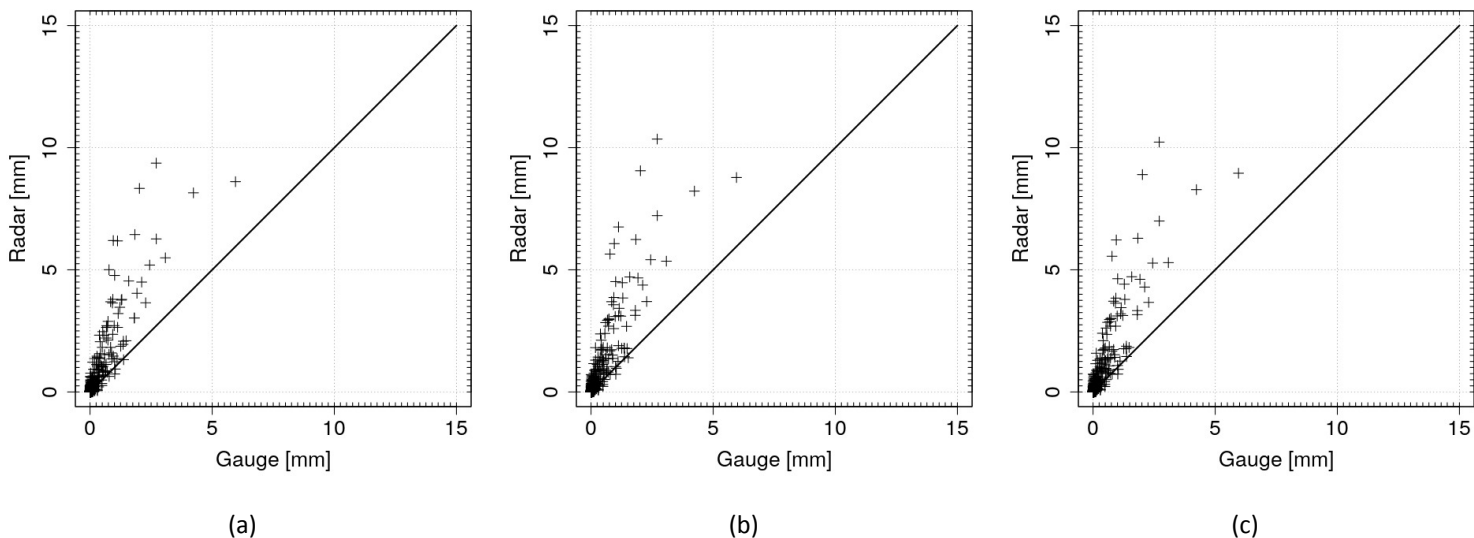
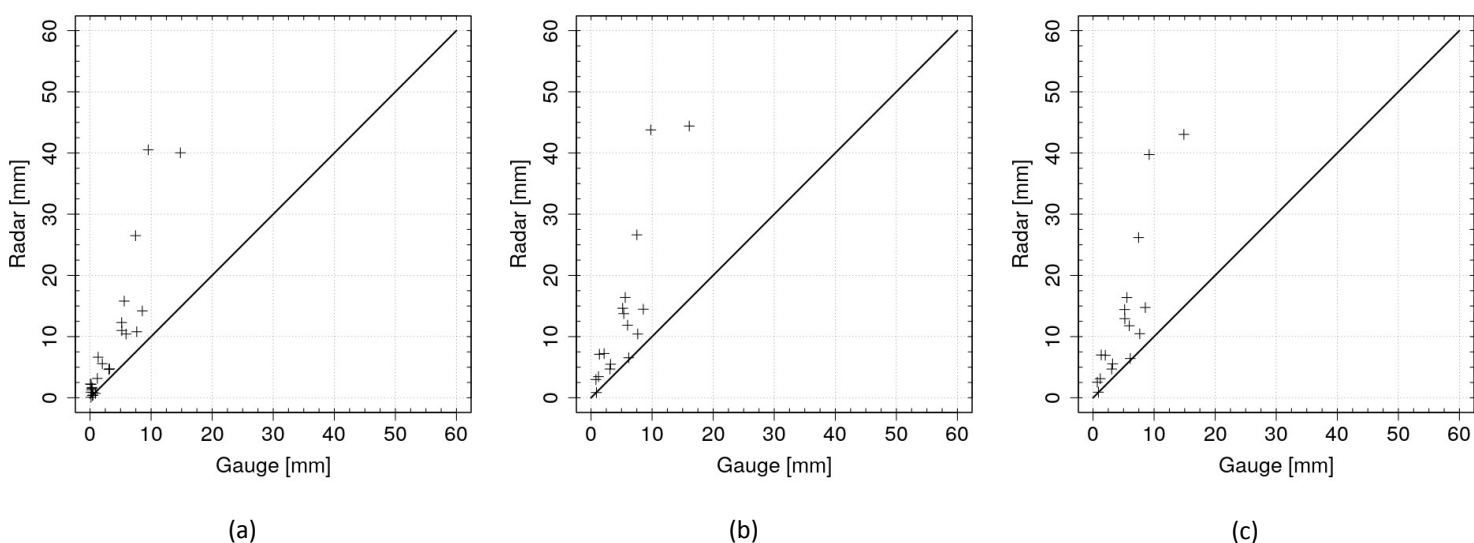


Figura 2: Comparação da precipitação estimada pelo radar meteorológico e observada por pluviômetros para o período seco de 2018, período de acumulação 10 minutos. (a) Resolução espacial 500 m; (b) Resolução espacial 1 km; (c) Resolução espacial de 2 km.



**Figura 3:** Idem a figura 2, exceto para passo de acumulação de 1 hora.

As figuras 3 e 4 mostram as comparações para os períodos de acumulação de 60 minutos e 24 horas respectivamente. O padrão de superestimativas se mantém para ambos os períodos de acumulação, com superestimativas com variação entre de 146 % e 160% (vide tabela 1) para todas as resoluções e acumulados. As estimativas de resolução espacial de 500 m mostraram superestimativas com magnitude menor quando comparado com 1 e 2 km. Para os sistemas de tempo tipicamente estratiformes (menor variabilidade temporal e espacial) nestes períodos, esperava-se um comportamento homogêneo para as 3 resoluções. Necessita-se de investigações dos sistemas observados nas datas comparadas neste trabalho.

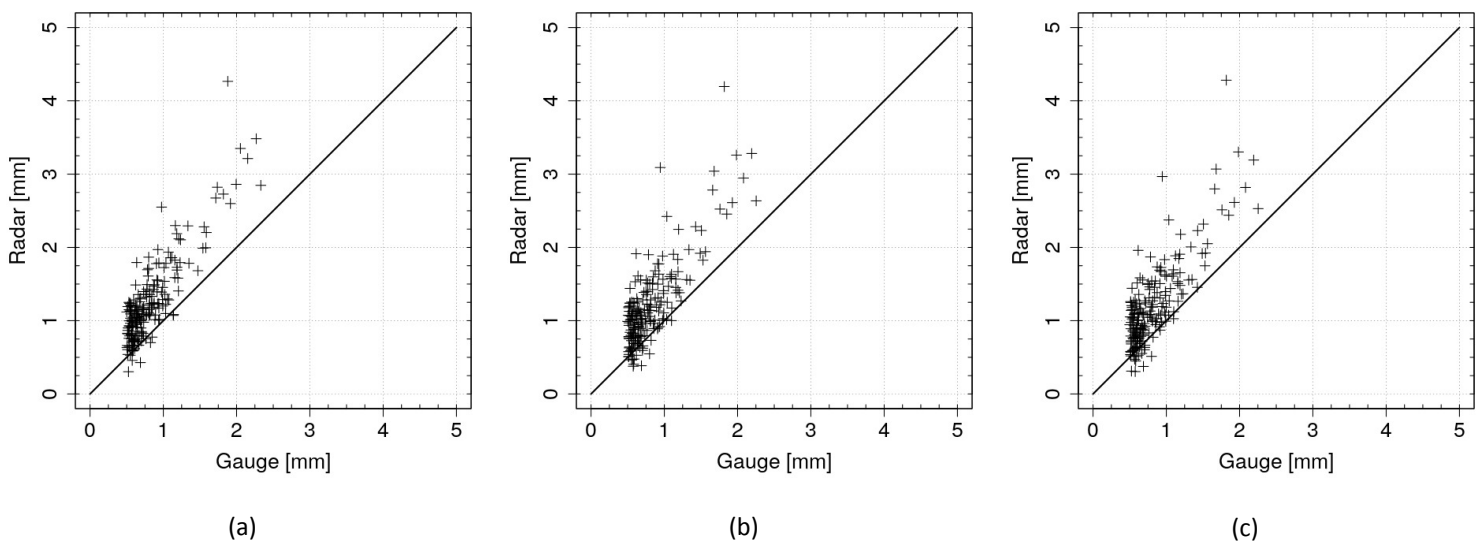


**Figura 4:** Idem a figura 2, exceto para passo de acumulação de 24 horas.

**Tabela 1:** Escores estatísticos da comparação estimativas versus observações para o período seco, para todas as resoluções e períodos de acumulação.

	Período Seco								
	500 m			1 km			2 km		
	10 min	1 hora	24 horas	10 min	1 hora	24 horas	10 min	1 hora	24 horas
<b>Corr. Person</b>	0,89	0,89	0,91	0,85	0,88	0,90	0,85	0,89	0,90
<b>Viés Rel. [%]</b>	146,58	146,83	159,02	158,18	158,34	164,55	158,20	158,56	160,75

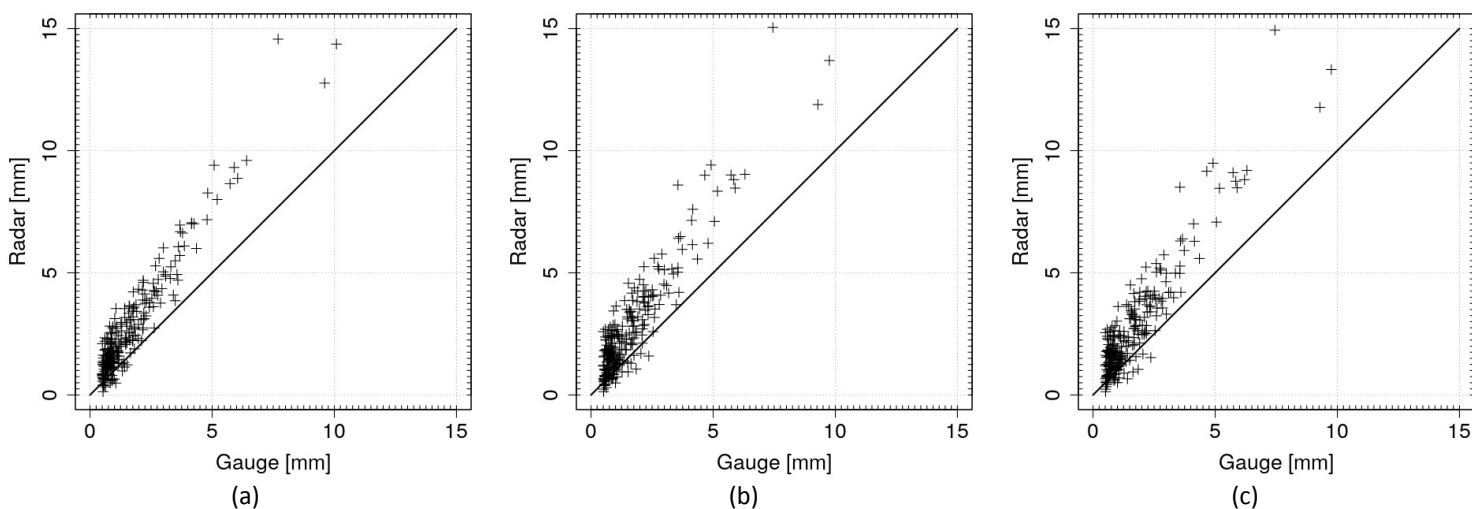
As figuras 5, 6 e 7 mostram os gráficos de dispersão para as diferentes resoluções e acumulados para o período chuvoso (outubro de 2017 a abril de 2018). Destacam-se os maiores valores de acumulado quando comparado com o período seco, já esperado na estação chuvosa. Observa-se ainda o mesmo comportamento de superestimativas do período seco, porém com magnitude significativamente menor (tabela 2), variando de 42% a 78%. As maiores superestimativas no período seco podem ser explicadas pelo tipo algoritmo de estimativas de precipitação. As precipitações mais intensas são estimadas utilizando-se a variável  $K_{DP}$  (diferença de fase específica), que segundo Ryzhkov *et al.* (2005) é mais correlacionada com precipitação do que a refletividade (dBZ).



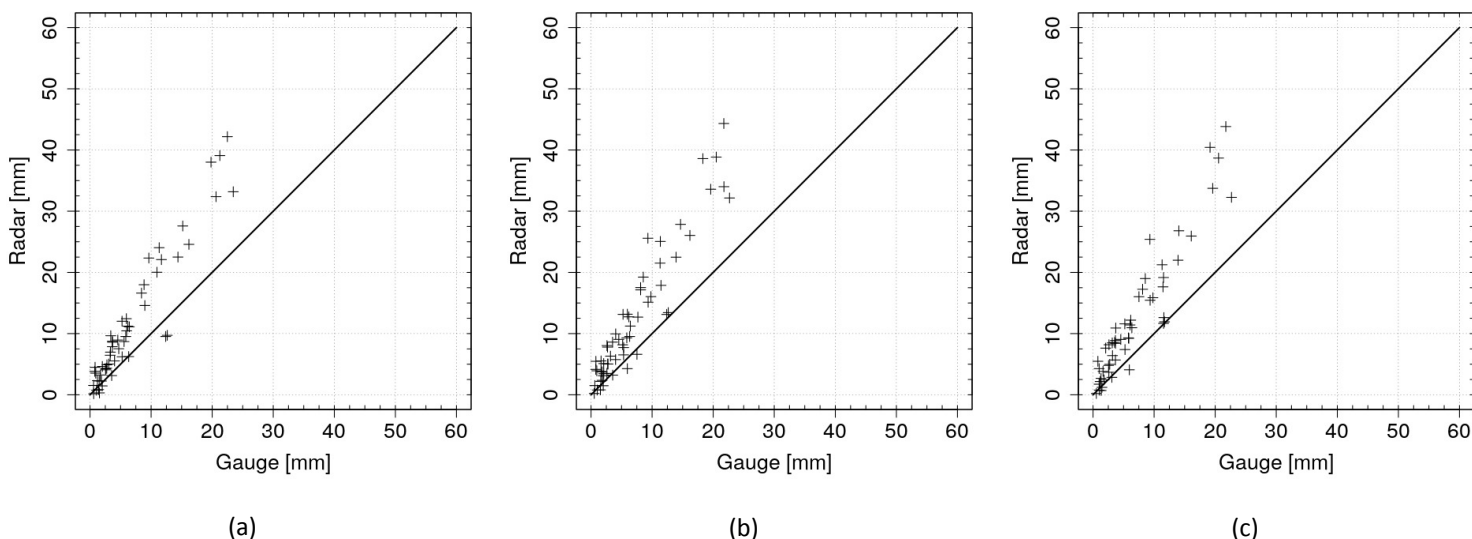
**Figura 5:** Comparação da precipitação estimada pelo radar meteorológico e observada por pluviômetros para o período chuvoso de 2018, período de acumulação 10 minutos. (a) Resolução espacial 500 m; (b) Resolução espacial 1 km; (c) Resolução espacial de 2 km.

Da tabela 2, destacam-se as menores magnitudes da superestimativa e maior correlação para a resolução espacial de 500m, para todos os períodos de acumulação. Esse fato pode ser explicado pelo tipo de sistema precipitante mais frequente neste período, tempestades convectivas com elevada variabilidade espacial e de escala espacial da ordem de poucos quilômetros. Dessa forma, maiores resoluções representam a estrutura espacial os sistemas de forma mais satisfatória. Quando comparados para passos de acumulação maiores (1 hora e 24 horas), as diferenças nas

superestimativas e correlações são menos significantes, pois a variabilidade espacial é inversamente proporcional ao tempo de acumulação (Silva, 2006), assim todas as resoluções produziram campos com escores semelhantes.



**Figura 6:** Idem a figura 5, exceto para acumulação de 1 hora.



**Figura 7:** Idem a figura 5, exceto para acumulação de 24 hora.

**Tabela 2:** Escores estatísticos da comparação estimativas versus observações para o período chuvoso, para todas as resoluções e períodos de acumulação

	Período Chuvoso								
	500 m			1 km			2 km		
	10 min	1 hora	24 horas	10 min	1 hora	24 horas	10 min	1 hora	24 horas
<b>Corr. Person</b>	0,87	0,95	0,95	0,81	0,93	0,95	0,81	0,93	0,95
<b>Viés Rel. [%]</b>	42,44	65,72	70,48	48,84	66,69	77,45	50,82	64,71	78,27

## CONCLUSÃO

Neste trabalho avaliou-se o desempenho das estimativas de um radar meteorológico banda-S polarimétrico para diferentes resoluções espaciais e tempos de acumulação. O algoritmo apresentado produziu superestimativas para todas as resoluções e todos os períodos de acumulação. Ainda, o mesmo é mais eficiente ao produzir estimativas de precipitação no período chuvoso do leste de SP, onde predominam sistemas do tipo convectivos.

Para o menor passo de acumulação avaliado (10 minutos), a resolução de 500 m (maior resolução espacial testada) obteve os melhores valores de viés relativo médio e correlação, sendo indicada no uso quantitativo das estimativas. Para passos de acumulação maiores (1 e 24 horas), a resolução espacial não influencia significativamente o desempenho quantitativo.

Recomenda-se a investigação individual para sistemas de tempo distintos, maiores resoluções espaciais e ainda a utilização de variáveis independentes como modelos de transformação chuva-vazão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSTIN, P. M. “*Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall*”. Monthly Weather Review, v. 115, p. 1053-1070, 1987.

BERNE, A.; DELRIEU, G.; CREUTIN, J.. D, OBLED, C.. “*Temporal and spatial resolution of rainfall measurements required for urban hydrology*” Journal of Hydrology 299. p. 166-179, 2004.

DOVIAK, R. J.; ZRNIC, D. S. *Doppler radar and weather observations*. Dover Publications, 1993.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “*Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data referência em 1º de julho de 2018*”. Disponível em <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas\\_de\\_Populacao/Estimativas\\_2018/estimativa\\_dou\\_2018.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2018/estimativa_dou_2018.pdf)>., 2018.

PEREIRA FILHO, A. J.; CRAWFORD, K. C. “*Integrating WSR-88D estimates and Oklahoma Mesonet Measurements of rainfall accumulations: a statistical approach*”. In: International Conference on Radar Meteorology, 27, 1995, Vail, Colorado. American Meteorological Society, 1995, p. 240-242.

ROCHA FILHO K. L. “*Modelagem hidrológica da bacia do Rio Pirajuçara com TOPMODEL, telemetria e radar meteorológico*.” 138 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ROCHA FILHO, K. L.; CONDE, F.; ANDRIOLI, C, P.; BRITO, L. S. “*Previsão qualitativa para bacias hidrográficas com radar meteorológico*.” In *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Maceió, Nov. 2011, CDROM.



ROCHA FILHO, K. L.; SOSNOSKI, A. S. K. B. ;CONDE, F.; ANDRIOLI, C, P. “*Modelagem hidráulico-hidrológica de uma bacia urbana com estimativas de precipitação combinadas de radar meteorológico e pluviômetros.*” In Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis-SC, Nov. 2017.

RYZHKOV, A.; S.E. GIANGRANDE; T.J. SCHUUR (2005). “*Rainfall estimation with a polarimetric prototype of WSR-88D*”. Journal of Applied. Meteorology, 44 , pp 502-515.

SILVA, F. D. S. “*Análise objetiva estatística da precipitação estimada com radar e medida por uma rede telemétrica.*” 2006. 101 f. Tese (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

WANG Y. ;V. CHANDRASEKAR (2010). “*Quantitative Precipitation Estimation in the CASA X-band Dual-Polarization Radar Network*”. J. Atmos. Oceanic Technol., 27, pp. 1665–1676.