



HAL
open science

Simulação de campos probabilísticos de precipitação a partir de um método geoestatístico

A. Nardo Caseri, C.F. de Angelis, E. Leblois

► **To cite this version:**

A. Nardo Caseri, C.F. de Angelis, E. Leblois. Simulação de campos probabilísticos de precipitação a partir de um método geoestatístico. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 2018, 7, pp.493-507. 10.19177/rgsa.v7e02018493-507 . hal-01951163

HAL Id: hal-01951163

<https://hal.science/hal-01951163>

Submitted on 11 Dec 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



SIMULAÇÃO DE CAMPOS PROBABILÍSTICOS DE PRECIPITAÇÃO A PARTIR DE UM MÉTODO GEOESTATÍSTICO

DOI: 10.19177/rgsa.v7e02018493-507

Angélica Nardo Caseri¹
Carlos Frederico De Angelis²
Etienne Leblois³



2º Seminário
Internacional de
**PROTEÇÃO E
DEFESA CIVIL**

RESUMO

Inúmeras regiões no mundo já foram atingidas, pelo menos uma vez, por eventos extremos de inundação os quais causaram grandes perdas socioeconômicas, ambientais entre outros. Os dados de estimação de precipitação são essenciais para realizar a previsão destes eventos e gerar alertas que possam minimizar os danos que podem ser causados. Uma das características principais destes eventos é a elevada variabilidade espacial e temporal. Devido a sua complexidade, a previsão dos mesmos possui diversas fontes de incertezas, como as incertezas provenientes dos campos de chuva observados. Estes dados, por sua vez, possuem papel importante no desempenho dos sistemas de previsão. Este estudo tem como objetivo principal desenvolver uma metodologia, baseada em um método geoestatístico, capaz de gerar cenários possíveis de chuva a partir de dados de radar meteorológico e de pluviômetros. A área de estudos localiza-se na região de Campinas, estado de São Paulo, na qual inúmeros eventos extremos já foram detectados. Os resultados obtidos apresentam que o método desenvolvido neste estudo pode ser uma solução para quantificar as incertezas que podem ser encontradas nos dados de precipitação observada.

Palavras-Chave: Eventos extremos. Precipitação. Incertezas.

¹Doutora em Hidrologia pela Universidade Francesa Agro Paristech (2017). Engenheira Ambiental (Unesp), pós-doutoranda (Cemaden). E-mail: angelica.caseri@cemaden.gov.br

²Doutor em Geografia e Ciências Ambientais pela University of Birmingham (2003), pesquisador do Cemaden. E-mail: carlos.angelis@cemaden.gov.br

³Doutor pela Université Louis Pasteur Strasbourg I (1986), pesquisador da unidade de hidrologia e hidráulica do instituto francês Irstea. E-mail: etienne.leblois@irstea.fr

1 INTRODUÇÃO

A cada ano, as inundações causadas por precipitações extremas causam elevadas perdas humanas e econômicas. Afim de reduzir estes impactos, é de elevada importância o desenvolvimento de sistemas de previsão que combinem dados hidrometeorológicos em uma escala espacial e temporal adequada para a região abordada (GAUMEET al., 2009). Estes eventos extremos são causados principalmente por fenômenos atmosféricos de origem convectiva. Estes sistemas são caracterizados por possuírem elevada variabilidade temporal e espacial (TERRANOVA e GARIANO, 2014). Devido à complexidade destes eventos, é essencial que esses sistemas possam considerar as principais fontes de incerteza relacionadas as previsões.

As incertezas associadas às chuvas observadas ou previstas são muitas vezes consideradas como tendo o maior impacto nas previsões hidrológicas, especialmente para inundações rápidas e bem localizadas. Atualmente, os dados de precipitação utilizados para modelagem hidrológica, previsão de inundações e sistemas de alerta geralmente são medidos por pluviômetros ou radares meteorológicos.

Os pluviômetros fornecem medidas de precipitação que apresentam boa precisão em termos de quantidade de chuva no solo, mas que, por outro lado, representam apenas uma área restrita ao redor do pluviômetro. Essa incerteza aumenta à medida que a densidade da rede de precipitação diminui ou o evento de chuva ocorre em pequena escala, como é o caso de fenômenos convectivos de inundação rápida altamente localizados e, muitas vezes, repentinos (PAUTHIER et al., 2014).

Ao contrário dos pluviômetros, os radares meteorológicos medem de forma indireta a precipitação de toda uma região. Apesar do desenvolvimento de algoritmos de correção para melhorar as estimativas da precipitação (Tabary, 2007), a medida do radar permanece complexa e os limites são identificados, como por exemplo, erros relacionado aos limites da Lei ZR. Assim, em comparação com os pluviômetros, os radares meteorológicos fornecem melhores informações sobre a variabilidade espacial e temporal das chuvas (FUKAO e HAMAZU, 2014). Entretanto, os pluviômetros fornecem uma medida direta e são mais precisos

pontualmente. Para melhorar a estimativa dos campos de precipitação, as estimativas feitas por essas duas fontes de medição podem ser combinadas para explorar as vantagens de cada um (VELASCO-FORERO *et al.*, 2009). Esta fusão de informações permite ter uma longa série de dados com boa qualidade, com alta resolução espacial e temporal, que podem ser interessantes para diversos estudos hidrológicos.

A fusão de dados de pluviômetros e de radares meteorológicos é geralmente realizada usando técnicas de krigagem (em inglês *kriging*), interpolação de dados (VELASCO-FORERO *et al.*, 2009). Na literatura, vários estudos investigaram a técnica de krigagem para combinar dados de radar e pluviômetros para fornecer um campo de chuva especializado. Delrieu *et al.* (2014), comparou o desempenho de técnicas diferentes de krigagem em eventos extremos registrados na França. O estudo mostrou que a combinação das informações fornecidas pelo radar e pelos pluviômetros apresenta melhores resultados. Embora as técnicas baseadas no método de krigagem permitam obter um mapa dos resíduos de interpolação, que reflete a incerteza do resultado, este método permite que apenas um campo de chuva seja gerado. Desta forma, não é possível estudar a propagação dessas incertezas. Uma maneira de considerar essas incertezas é a geração estocástica de campos de chuva (WILKS 2010, SUN e STEIN 2015).

Uma classe de métodos estocásticos muito utilizada é encontrada na geoestatística. As simulações geoestatísticas permitem uma quantificação confiável das incertezas relacionadas à estimação de uma variável regionalizada. Esses métodos reproduzem a variabilidade espacial da variável regionalizada respeitando suas características estatísticas. Geralmente, os campos das simulações geoestatísticas são menos arredondados do que os obtidos a partir de métodos de interpolação de krigagem (Isaaks e Srivastava, 1989). A simulação também tem a vantagem de fornecer vários valores possíveis da variável aleatória que representam as incertezas em torno dos pontos ou regiões onde nenhuma medida está disponível.

O principal objetivo deste estudo é gerar cenários possíveis de precipitação que combinem informações fornecidas pelos radares meteorológicos e pelos pluviômetros. Para atingir esse objetivo, utilizamos um método geoestatístico baseado na simulação condicional. Um estudo de caso é apresentado utilizando

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 493-507, jun. 2018.

dados hidrometeorológicos da região de Campinas (estado de São Paulo), que é uma região propensa a inundações. Para este estudo de viabilidade, os resultados são apresentados apenas para o evento de chuva observado em 3 de dezembro de 2016. Nas seções a seguir, apresentamos o método utilizado neste estudo, seguido de sua aplicação e de uma breve discussão.

2 METODOLOGIA

2.1 Método utilizado de simulação condicional

Nesta pesquisa foi utilizado o método de simulação condicional para gerar os cenários possíveis (*ensemble*) de precipitação. Esta metodologia foi aplicada através do simulador SAMPO TBM o qual é baseado no método de bandas rotativas. Este método é particularmente interessante, em particular pela sua capacidade de fornecer simulações multidimensionais com um baixo custo de cálculo (MELLOR e METCALFE, 1996; LEBLOIS e CREUTIN, 2013).

Na simulação de funções aleatórias, a lei gaussiana aparece de maneira natural, já que a soma das variáveis aleatórias independentes de uma mesma lei é, aproximadamente, gaussiana (LANTUÉJOU, 2002). No entanto, sabe-se que a distribuição gaussiana não é adequada para a distribuição de precipitação pontual, especialmente por se tratar de uma distribuição simétrica em relação à sua média. As leis da assimetria positiva são mais adaptadas às chuvas, em particular as de curta duração.

O SAMPO TBM ("simulation of advected mesoscale precipitations and their occurrence") é um simulador desenvolvido pelo instituto de pesquisa Irstea Lyon, França (Ramos *et al.*, 2006; Renard *et al.*, 2011; Lebois e Creutin, 2013; Caseriet *et al.*, 2015). SAMPO TBM produz campos sequenciais de precipitação que satisfazem as principais características: (i) a distribuição da estrutura espaço-temporal da precipitação; (ii) a estrutura espaço-temporal das zonas de intermitência, e (iii) o deslocamento das nuvens a partir da advecção, considerando a direção e velocidade do vento. Nesta pesquisa a combinação dos dados de chuva estimados por radar meteorológico e por

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 493-507, jun. 2018.

pluviômetros são incorporados para a geração de simulações por conjunto. O método é descrito com detalhes em Lebloise Creutin (2013). Em relação à etapa de simulação condicional, esta pode ser apresentada em duas etapas: primeiramente é realizada uma simulação não condicional, na qual são gerados campos aleatórios no espaço e no tempo, seguida por uma etapa de condicionamento, onde se localizam os pluviômetros considerados no estudo.

O algoritmo simula diretamente as três dimensões de precipitação, espaço e tempo, usando um modelo de variograma espaço-temporal. Inicialmente, gera campos aleatórios gaussianos homogêneos e isotrópicos em 3D. A anisotropia é apenas indiretamente considerada pela advecção. O deslocamento de nuvem é levado em consideração a partir de uma advecção uniforme em todos os campos baseada no monitoramento de campo de chuva correlacionado, onde o deslocamento dos campos consecutivos é deduzido da autocorrelação espaço-temporal dos campos de chuva observados. A advecção é baseada na hipótese de Taylor, que considera que a velocidade de advecção em larga escala pode ser usada como um fator de conversão para relacionar as funções de autocorrelação espaço-temporal da variabilidade de pequena escala. A variabilidade espacial e a variabilidade temporal são consideradas separadamente.

O SAMPO TBM representa, assim, a variabilidade das chuvas e das zonas de chuva nula, que são supostamente independentes e podem, portanto, ter um a priori dinâmico e não relacionado. Esta abordagem tem a vantagem de permitir a análise independente do impacto dos parâmetros relacionados ao indicador e a variabilidade das zonas chuvosas.

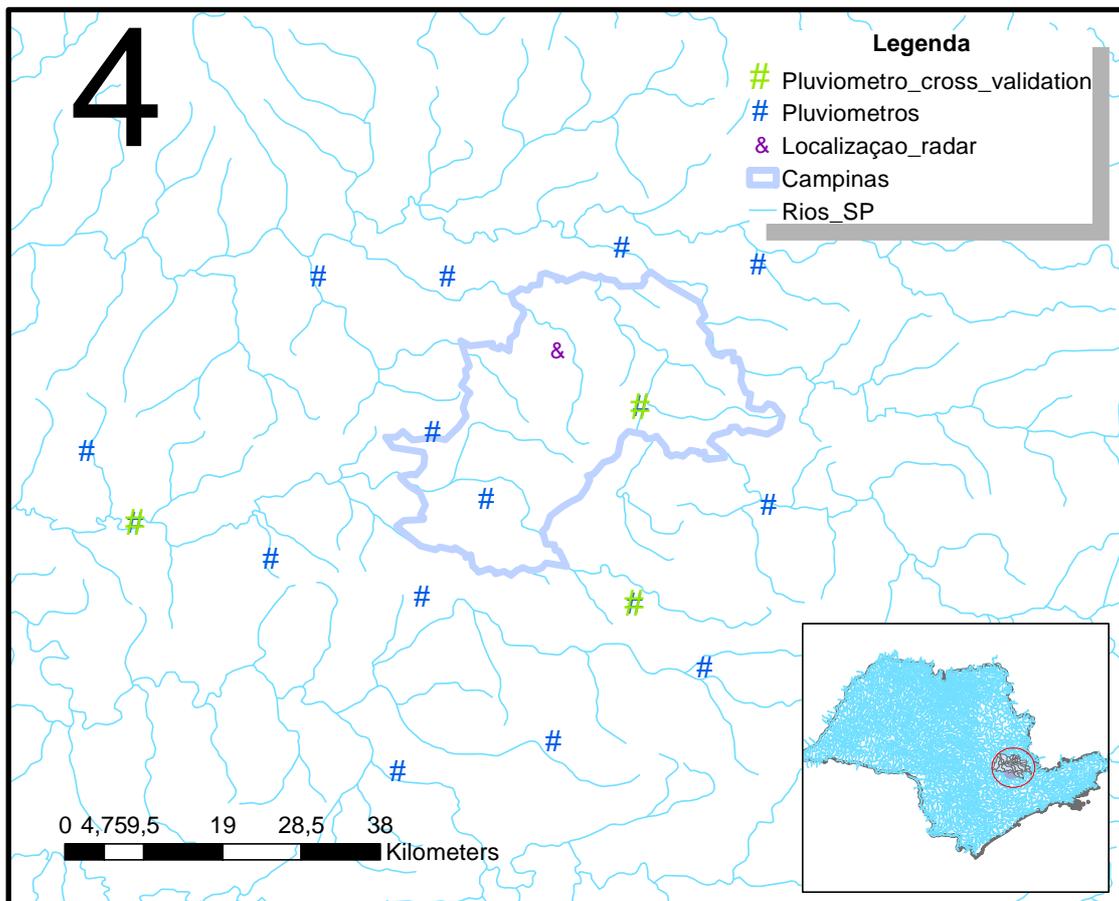
2.2 Implementação do SAMPO TBM

Neste trabalho, SAMPO TBM é utilizado para a simulação de campos de chuva, cenários possíveis. Neste caso de aplicação, um conjunto de parâmetros é determinado para cada evento a ser simulado. No que diz respeito ao condicionamento, em todas as etapas de tempo de um evento, os valores observados pelos pluviômetros são considerados para condicionar os valores simulados durante toda a duração do evento.

2.3 Base de dados utilizada para estudo de caso

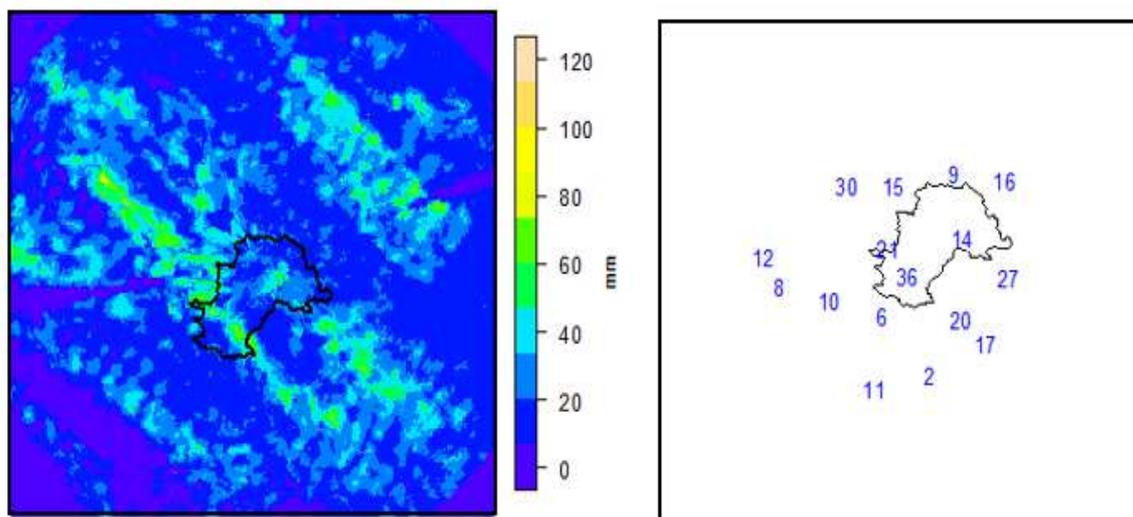
A área de estudos desta pesquisa é localizada na região da cidade de Campinas, na qual foi instalado recentemente, próximo às dependências do Museu Exploratório de Ciências – UNICAMP, um radar meteorológico de dupla polarização (localização Figura 1). Os dados de precipitação utilizados no método apresentado anteriormente são provenientes de 16 estações pluviométricas e dos dados fornecidos pelo radar meteorológico fornecido em Campinas. O radar fornece dados a cada 10 minutos, estas medidas são contínuas, espacial e temporalmente. Neste estudo os dados do radar foram agregados para 30 minutos com 250 m² de resolução de grade.

Figura 1. Área de estudo (região de Campinas), localização do radar e dos pluviômetros utilizados neste estudo (os pluviômetros em azul foram utilizados para a simulação condicional e os pluviômetros em verde foram utilizados para a *crossvalidation*).



O evento abordado neste estudo ocorreu no dia 03 de dezembro de 2016. Para este evento, a precipitação do radar foi fornecida pelo radar móvel instalado em Campinas. O evento durou 9 horas, e as imagens de radar utilizadas são dados de 30 minutos em 30 minutos. Conforme ilustrado na Figura 2, este evento foi escolhido porque abrange toda a região de estudo, com precipitações significativas (116 mm acumulado em alguns pixels, em 9 horas).

Figura 2. Acumulado de chuva calculado a partir dos dados do radar meteorológico (gráfico a esquerda) e dos pluviômetros (gráfico a direita) para o evento de 03 de dezembro de 2016 na região de Campinas.



3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Parametrização do gerador de chuva

Para o gerador de precipitação utilizado neste estudo, estimamos a variabilidade temporal e espacial das zonas de precipitação não-nula e das zonas de intermitência. Os dados do radar do evento (2016/12/03, 14:30 a 2016/12/03, 23:00) foram utilizados para a estimativa de um modelo exponencial considerando um variograma empírico. A correlação espacial e temporal identificada para as zonas de chuva não-nula foi de 5 km e 2606 segundos, respectivamente. Enquanto que para as zonas de intermitência foi observado 20 km de correlação espacial e 45595 segundos de correlação temporal. Além disso, considerando o deslocamento das

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 493-507, jun. 2018.

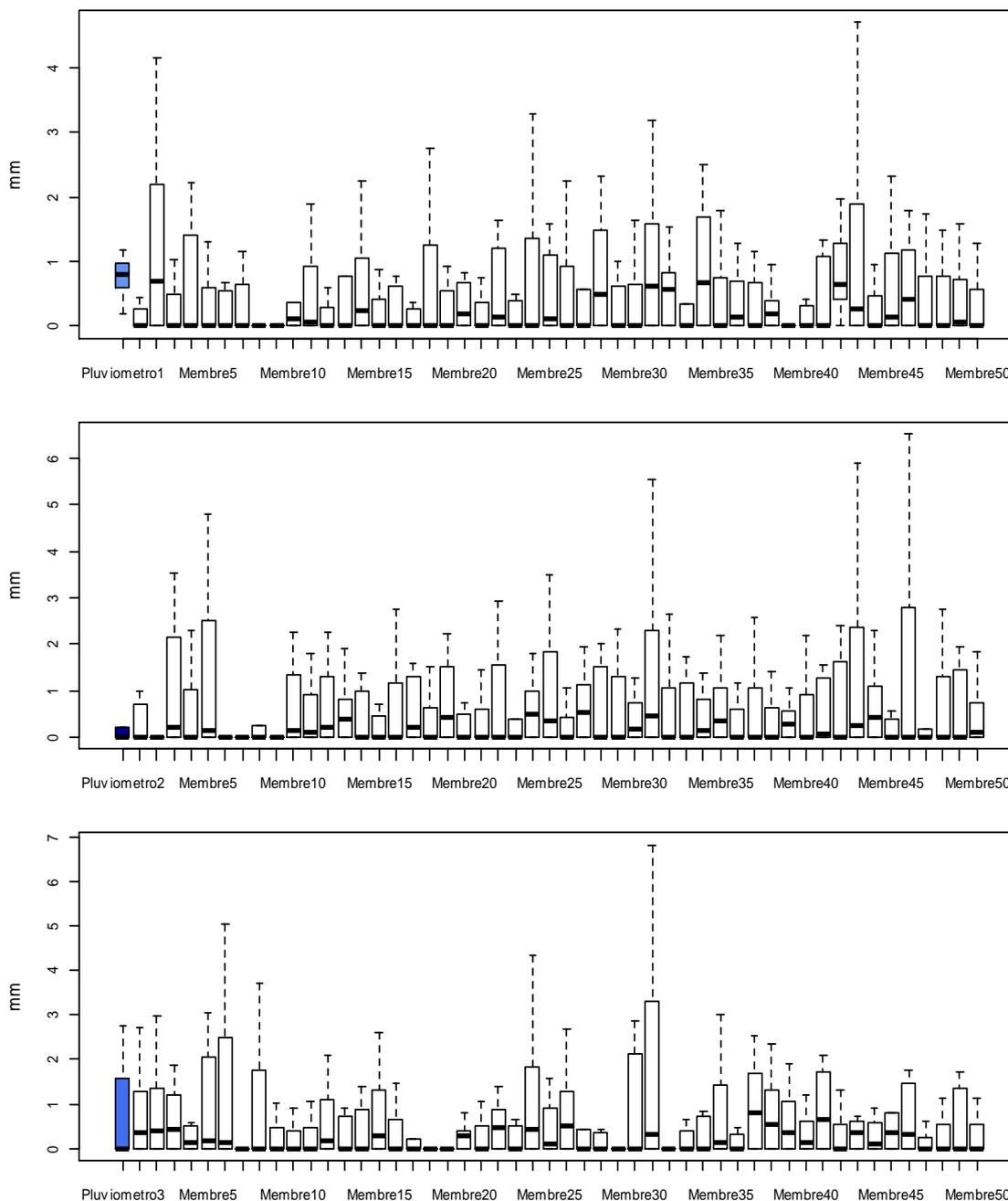
nuvens, a velocidade do vento foi estimada em 19 m/s. A média, o desvio padrão e a porcentagem de zero também são dados utilizados pelo SAMPO TBM para compreender a distribuição acumulada da chuva. Nesta pesquisa, os dois primeiros parâmetros são estimados a partir dos dados dos pluviômetros e o último é estimado pelo dado do radar. Para o evento estudado neste trabalho, foram observados os seguintes valores, respectivamente: 2,5 mm/h de média, 3,5 mm/h de desvio padrão e 52% de porcentagem de zero.

Os parâmetros acima apresentados foram utilizados para calibrar o software SAMPO TBM afim de realizar simulações condicionais para o evento de 3 de Dezembro de 2016. Um total de 50 simulações foram produzidas para cada 30 minutos. Todas as simulações levam em consideração os mesmos parâmetros estimados e estão condicionadas aos valores dos pluviômetros apresentados na Figura 1 (pontos verdes).

3.2 Avaliação dos campos de chuva probabilísticos gerados

Para a avaliação deste método, foi realizado método de *crossvalidation*, este é geralmente aplicado para avaliar o desempenho dos métodos de interpolação espacial. Desta forma, os resultados foram comparados com os dados de três pluviômetros que não foram considerados na simulação condicional do SAMPO TBM (pontos azuis apresentados na Figura 1). A Figura 3 apresenta a variabilidade dos valores (gráfico de *box plot*) dos conjuntos (também conhecidos como membros do *ensemble*) comparada com os valores observados pelos pluviômetros usados para avaliar o desempenho do gerador de chuva (primeiro *box plot* no gráfico). Pode-se observar que a precipitação estimada pelos campos gerados é semelhante às medidas dos pluviômetros. Desta forma, o gerador SAMPO TBM parece assim representar de forma adequada a variabilidade em torno dos valores observados no local.

Figura 3. *Box plot* dos três pluviômetros utilizados para validação (não incluídos na simulação condicional) e os 50 membros do conjunto de campos de chuva gerados neste estudo.



Com o propósito de avaliar a capacidade do método proposto em gerar campos probabilísticos de chuva que possuam boa precisão e fiabilidade e capacidade serão utilizados como critérios de avaliação o CRPS e a curva ROC. O primeiro critério verifica a performance global do método, ele é baseado na comparação da função de distribuição da variável com a densidade de probabilidade acumulada do dado

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 493-507, jun. 2018.

observado (HERSBACH, 2000). Pode-se notar que se avaliarmos o CPRS a partir de uma previsão determinística, essa pontuação seria a média dos desvios quadrados absolutos entre cada valor esperado e observado. Neste caso, torna-se equivalente ao erro absoluto médio (MAE). Essa equivalência permite comparar uma previsão probabilística com uma previsão determinista (WU *et al.*, 2011). O CRPS mede a qualidade geral das previsões probabilísticas. Seu valor varia entre 0 e $+\infty$.

Já a curva ROC (em inglês *Receiver Operating Characteristic*) permite visualizar a capacidade de um método de previsão probabilística em detectar a ultrapassagem de um limiar observado (Mason e Graham, 1999). Quanto mais perto a curva ROC se aproxima do canto superior esquerdo, melhor será a previsão (falso positivo – eixo x = 0 – e verdadeiro positivo – eixo y = 1). A área da curva (AUC) é freqüentemente usada para a avaliação de um método. Uma curva ROC abaixo da linha diagonal é caracterizada por uma AUC inferior a 0,5, indicando uma baixa capacidade de discriminação de eventos.

A Figura 4 apresenta o CRPS obtido a partir dos 3 pluviômetros utilizados para a *cross validation* do simulador de precipitação. A diferença média entre a simulação por conjunto realizada pelo SAMPO TBM e a precipitação observada varia entre 0,4 mm/h e 0,9 mm/h, de acordo com o pluviômetro considerado. Por meio destes resultados, verifica-se que o método abordado apresenta boa performance global e uma boa precisão.

Para avaliar a capacidade de discriminação dos eventos, apresentamos os resultados obtidos para a AUC, área da curva ROC, na Figura 5. Pode-se observar que a AUC obtida é elevada, com valor de 0,7. Estes resultados indicam que as simulações geradas pelo SAMPO TBM para o evento de 3 de dezembro de 2016 possui excelente capacidade de detectar eventos (aqui, representados por exceder o quantile de 80% da distribuição de chuva observada na área de estudo).

Figura 4. CRPS calculado a partir da avaliação da performance global entre os membros do conjunto e dos 3 pluviômetros utilizados para a *crossvalidation*. A “Média” corresponde ao CRPS estimado considerando os 3 pluviômetros juntos.

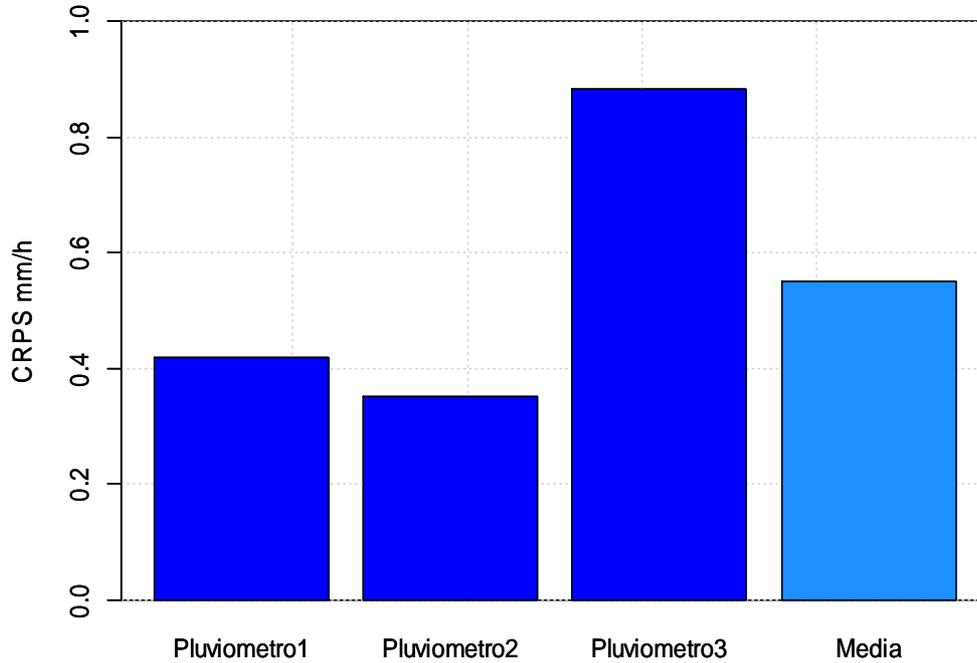
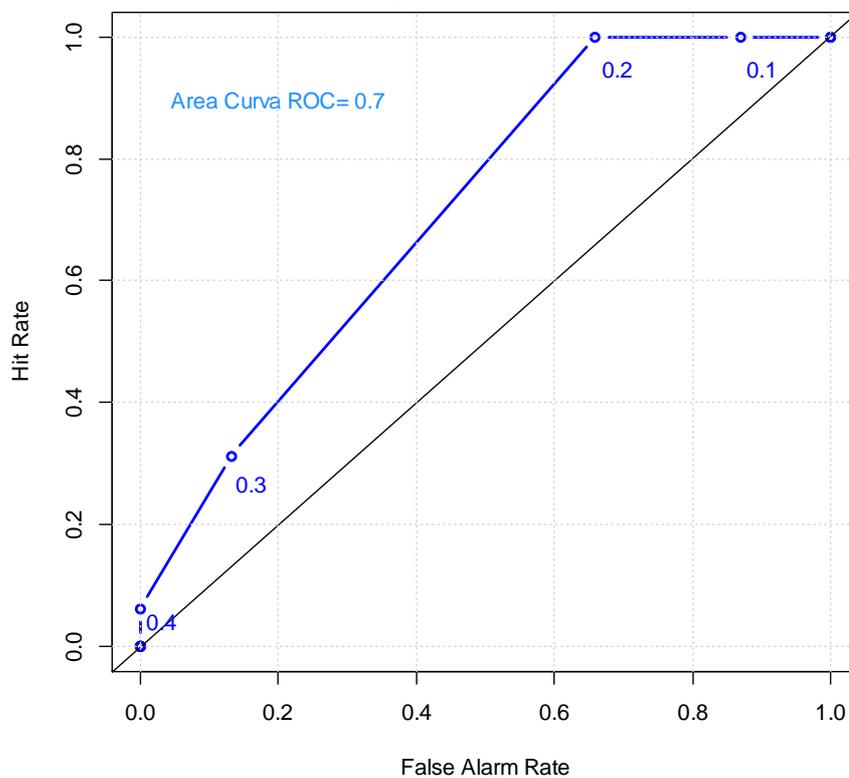


Figura 5. Curva ROC calculada a partir da avaliação da capacidade de discriminação de evento entre os membros do conjunto e dos 3 pluviômetros utilizados para a *crossvalidation*.



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi investigada uma metodologia de simulação de campos probabilísticos de precipitação por meio da simulação condicional com base nas características dos dados de radar e precipitação a fim de quantificar incertezas dos dados de observação. Para isso foram utilizados os dados de precipitação de radar meteorológico e de pluviômetros. O evento de 03 de dezembro de 2016, ocorrido na região da cidade de Campinas (São Paulo, Brasil), foi utilizado para aplicação do método desenvolvido.

A partir dos resultados obtidos pode-se observar que o simulador de chuva SAMPO-TBM é capaz de fornecer campos de chuva probabilísticos com boa qualidade que representam a distribuição espacial e temporal dos campos de chuva observados. Por meio da estratégia de avaliação cruzada (*crossvalidation*), também pode-se observar que as intensidades de chuva simuladas mostram boa precisão e confiabilidade. Desta forma, o estudo apresenta a viabilidade do método. O método pode ser uma solução para a geração de possíveis cenários de eventos extremos, podendo, assim, aprimorar os sistemas de alerta de inundações.

Como perspectivas, esta metodologia pode ser aplicada em outros eventos extremos de precipitação. Além disso, os campos probabilísticos de precipitação podem ser utilizados em um modelo hidrológico para gerar previsões imediatas de vazão por conjunto. Por fim, pode-se desenvolver um método para gerar previsões de chuva por conjunto considerando as características das últimas horas de chuva observada.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo– pelo financiamento do projeto (processo 2017/00275-0), ao projeto temático SOS-Chuva (FAPESP processo 15/14497-0), ao CEMADEN pelo apoio fornecido ao longo deste trabalho.

SIMULATION OF PROBABILISTIC PRECIPITATION FIELDS BASED ON A GEOSTATISTICAL METHOD

ABSTRACT

Countless regions of the world have already been hit, at least once, by extreme flood events that have caused high socioeconomic and environmental losses, among others. Precipitation estimation data are essential to predict these events and generate alerts that can minimize the damage that can be caused. One of the main characteristics of these events is the high spatial and temporal variability. Due their complexity, the prediction has several sources of uncertainties, such as uncertainties from the observed rainfalls. These data, in turn, play an important role in the forecasting systems performances. This study has as main goal to develop a methodology, based on geostatistical method, able to generate possible scenarios of rainfall using meteorological radar and pluviometers data. The area of study is located in the region of Campinas, in the state of São Paulo, where numerous extreme events have already been detected. The obtained results show that the developed method in this study can be a solution to quantify the uncertainties that can be found in the precipitation data.

Keyword: Extreme events. Precipitation. Uncertainties.

REFERÊNCIAS

CASERI, A., JAVELLE, P., RAMOS, M.H., LEBLOIS, E. Generating precipitation ensembles for flood alert and risk management. **Journal of Flood Risk Management**, v.9, n. 4, p. 402–415, 2015.

DELRIEU, G., WIJBRANS, A., BOUDEVILLAIN, B., FAURE, D., BONNIFAIT, L., KIRSTETTER, P-E. Geostatistical radar–raingaugemerging: A novel method for the quantification of rain estimation accuracy. **Advances in Water Resources**,v.71, p. 110 – 124, 2014.

FUKAO, S., HAMAZU, K. **Radar for Meteorological and Atmospheric Observations**. Japão: Springer Japan, 2014.

GAUME, E., et al. A compilation of data on European flash floods. **Journal of Hydrology**, v. 367, n. 1-2, p. 70–78, 2009.

HERSBACH, H. 2000. Decomposition of the Continuous Ranked Probability Score for Ensemble Prediction Systems. **Weather and Forecasting**, v.15, n.5, p. 559–570, 2000.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 493-507, jun. 2018.

ISAAKS, E. H., SRIVASTAVA, R. M. **An Introduction to Applied Geostatistics Available**. New York: Oxford University Press, 1989.

LANTUÉJOUL, C. *Geostatistical Simulation, Models and Algorithms*. Springer: Berlin, p. 256, 2002.

LEBLOIS, E., CREUTIN, J.-D. Space-time simulation of intermittent rainfall with prescribed advection field: Adaptation of the turning band method. **Water Resources Research**, v. 49, p. 3375–3387, 2013.

MASON, S. J., GRAHAM, N.E. 1999. Conditional Probabilities, Relative Operating Characteristics, and Relative Operating Levels. **Weather and Forecasting**, v.14, n.5, p. 713–725, 1999.

MELLOR, D., METCALFE, A. V. 1996. The Modified Turning Bands (MTB) model for space-time rainfall. III. Estimation of the storm/rainband profile and a discussion of future model prospects. **Journal of Hydrology**, v. 175, n. 1–4, p.161 – 180, 1996.

PAUTHIER, B., Bois, B., CASTEL, T., THEVENIN, D., RICHARD, Intercomparaison radarpluio-mètre pour l'estimation des pluies à haute résolution. Liège, France, 2015.

RAMOS, M.H., LEBLOIS, E., CREUTIN, J.-D. From point to areal rainfall: linking the different approaches for the frequency characterisation of rainfalls in urban areas. **Water Science & technology**, v. 54, n. 6 – 7, p. 33–40, 2006.

RENARD, B. et al. Toward a reliable decomposition of predictive uncertainty in hydrological modeling: Characterizing rainfall errors using conditional simulation. **Water Resources Research**, v. 47, 2011.

SUN, Y., STEIN, M.L. A stochastic space-time model for intermittent precipitation occurrences. **The Annals of Applied Statistics**, v.9, n.4, p.2110–2132, 2015.

TABARY, P. The New French Operational Radar Rainfall Product. Part I: Methodology. **Weather and Forecasting**,v.22, n.3, p. 393–408, 2007.

TERRANOVA, O.G., GARIANO, S.L. Rainstorms able to induce flash floods in a Mediterranean-climate region (Calabria, southern Italy). **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 14, p. 2423–2434, 2014.

VELASCO-FORERO, C. A., SEMPERE-TORRES, D., CASSIRAGA, E. F., GOMEZ-HERNANDEZ, J. J. A nonparametric automatic blending methodology to estimate rainfall fields from rain gauge and radar data. **Advances in Water Resources**, v. 32, n.7, p. 986 – 1002, 2009.

WILKS, D. S. Use of stochastic weather generators for precipitation downscaling. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 1, n.6, p. 898–907, 2010.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 493-507, jun. 2018.

WU, L., SEO, D.-J., DEMARGNE J., BROWN J.D., CONG S., SCHAAKE, J. Generation of ensemble precipitation forecast from single-valued quantitative precipitation forecast for hydrologic ensemble prediction. **Journal of Hydrology**, v.399, n.3-4, p. 281 – 298, 2011.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. esp p. 493-507, jun. 2018.