

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Combinação de informações fornecidas por pluviômetros e radares meteorológicos

Angélica N. Caseri¹

Cemaden - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, São José dos Campos, SP

Carlos Frederico de Angelis²

Cemaden - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, São José dos Campos, SP

Resumo. Os sistemas de previsões de inundações são de elevada importância para antecipar eventos extremos e mitigar seus inúmeros impactos, e os campos de precipitação são cruciais para estes sistemas. As medidas de precipitação por pluviômetros desempenham um papel muito importante na qualidade dos dados, entretanto estes possuem baixa capacidade de capturar as características espaciais da chuva. Por outro lado, os radares meteorológicos são excelentes para representar a variabilidade espacial da chuva, mas por efetuarem de forma indireta a medida da chuva possuem incertezas na quantificação da mesma. A fim de melhorar a estimativa dos campos de precipitação, as medições feitas por essas duas fontes de estimação de chuva podem ser combinadas para melhor e explorar as vantagens de cada tipo de medida. O objetivo desta pesquisa é aplicar o método Krigagem com Deriva Externa (KED) que combine os dados de pluviômetros e de radares meteorológicos baseando-se em na geoestatística. A área de estudo considerada neste trabalho é a região da cidade de Campinas, na qual diversos eventos de inundações bruscas já foram observados.

Palavras-chave. radar, pluviômetros, geoestatística, previsão de inundação

1 Introdução

As inundações são responsáveis por grande parte dos danos causados por desastres naturais. Estes eventos são frequentemente o resultado de um risco de alta intensidade que afeta uma área vulnerável propensa a riscos (Caseri, 2017). Atualmente, os dados de precipitação são utilizados como dados de entrada para a modelagem hidrológica e sistemas de alerta a previsão de inundações. Estes são geralmente medidos por pluviômetros ou radares meteorológicos.

Os pluviômetros são instrumentos que medem a chuva diretamente no solo de maneira direta e pontual. O princípio é registrar a quantidade de chuva que caiu em uma caixa de armazenamento ou em um dispositivo de gravação contínua. Entretanto, se considerarmos

¹angelica.caseri@cemaden.gov.br

²carlos.angelis@cemaden.gov.br

uma rede de pluviômetros, a distribuição espacial da chuva é apenas parcialmente conhecida, já que entre dois indicadores pluviométricos não há informações coletadas. A medida que a densidade da rede de chuva diminui esta incerteza aumenta, este fato também pode ser observado nos casos de eventos de chuva que ocorrem em pequena escala, como é o caso de fenômenos convectivos que podem gerar inundações repentinas.

Ao contrário dos pluviômetros, o radar meteorológico mede a precipitação em toda uma área e de forma indireta. O princípio de funcionamento de radar meteorológico é baseada em uma onda eletromagnética a qual é difundida pelo radar, então refletida pelas gotas de água. A intensidade da chuva é então deduzida a partir da medição da intensidade da reflexão da onda. Apesar do desenvolvimento de algoritmos de correção para melhorar a estimativa da chuva realizada por radares (Tabary, 2007), a medição do radar permanece complexa e os limites são identificados, como por exemplo, erros de medição relacionados à atenuação do feixe. Além de certa distância e erros de medição relacionados aos limites da lei Z-R.

A combinação da vantagem fornecido pelos pluviômetros, a qual é obter a intensidade da chuva com boa precisão de forma pontual, e da vantagem fornecida pelos radares meteorológicos que é obter a informação da variabilidade espacial e pode ser essencial para muitas aplicações hidrometeorológicas (Fukao e Hamazu, 2014). Para a previsão imediata, esta informação é importante principalmente quando se trata de prever em um campo de pequena escala. Tal fusão possibilita séries longas de qualidade, com alta resolução espacial e temporal, o que pode ser útil para vários estudos hidrológicos. A fusão de dados de chuva medidos por pluviômetros e radares é frequentemente realizada usando métodos geoestatísticos, que permitem gerar um campo de chuva espacial (Velasco-Forero *et al.*, 2009, Pauthier *et al.*, 2015).

Na literatura, vários estudos tem investigado a técnica de krigagem para combinar dados de radar e precipitação para fornecer um campo de chuva espacializado. Podemos citar como exemplo os estudos feitos por Schumacher e Johnson (2005), Delrieu *et al.* (2014). Estes estudos mostram que o acréscimo das informações fornecidas pelo radar melhoram os resultados obtidos pela krigagem ordinária, a qual é realizada apenas com base nos valores pontuais dos pluviômetros.

Esta pesquisa tem como objetivo utilizar um método geoestatístico, Krigagem com Deriva Externa, para combinar as informações fornecidas pelos radares meteorológicos e pelos pluviômetros a fim de obter campos de chuva mais precisos. Desta forma, contribuindo para a obtenção de dados mais precisos que podem ser utilizados para o aprimoramento das previsões obtidas por sistemas de alertas de inundação que utilizam os campos de chuva observados como base de dados.

2 Metodologia

2.1 Geração de campos de chuva a partir de um método geoestatístico

A krigagem (em inglês *kriging*) é uma técnica geoestatística de estimação linear, usada frequentemente para interpolar uma variável regionalizada considerando sua esperança matemática e minimizando a variância do erro. Esta metodologia leva em conta a de-

pendência espacial entre as observações, como revelado pelo variograma, que ilustra a correlação espacial dos pontos de amostragem como uma função da distância entre os pontos e, se relevante, uma direção de correlação no espaço (Isaaks e Srivastava, 1989). As técnicas baseadas na krigagem permitem obter um mapa dos resíduos de interpolação (erro de krigagem), que reflete a incerteza do resultado. A técnica Krigagem com Deriva Externa (KED) é baseada na interpolação geoestatística que é alternativa á krigagem ordinária, a diferença principal de ambas as técnicas é que a primeira considerada covariáveis no modelo linear, sendo que a segunda não. Essa técnica utiliza informações secundárias para melhorar a interpolação pretendida (Goovaerts, 1997). A Krigagem com Deriva Externa assume o conhecimento da deriva (ou tendência) da variável sobre a área de estudo, frequentemente usando uma variável secundária. Os dados secundários são, portanto, considerados como uma variável aleatória influenciando diretamente a variável regionalizada. Nesta pesquisa a krigagem com deriva externa foi utilizada para gerar campos de chuva utilizando as informações fornecidas pelos pluviômetros e pelo radar meteorológico (variável secundária).

2.2 Estudo de caso

A região de estudos desta pesquisa localiza-se na região da cidade de Campinas, em um raio de 60 km do radar meteorológico móvel de dupla polarização instalado próximo às dependências do Museu Exploratório de Ciências da Unicamp. Os dados utilizados no método apresentado anteriormente são provenientes de 86 pluviômetros localizados na região e das medidas de chuva estimadas pelo radar meteorológico instalada na Unicamp, Campinas. Neste trabalho as estimativas do radar foram agregadas para 60 minutos com $250 \times 250 \text{ m}^2$ de resolução de grade. Como estudo de caso para aplicação da metodologia foi considerado o evento que ocorreu no dia 18 de maio 2017. Este evento teve como duração de 12 horas e intensidades significativas de chuva foram detectadas, aproximadamente um acumulado 140 mm em alguns pontos da região.

3 Resultados e Conclusões

A fim de verificar a compatibilidade dos dados de radar e precipitação, uma análise preliminar foi feita com os dados do radar e os dados do pluviômetro. A comparação foi feita tomando o valor do pixel do radar mais próximo de cada ponto do pluviômetro, e isso ao longo da duração do evento. A figura 1 apresenta a comparação entre os dados de radar e precipitação para o evento de 18 de maio de 2017, considerando dados horários. A correlação entre os dados calculada pelo coeficiente médio de correlação R^2 é de 0,6. Essas diferenças entre as medições de radar e os pluviômetros observados podem ser explicadas pelas incertezas associadas às medições (apresentadas na introdução). A figura 2 apresenta o campo de chuva gerado considerando os dados de chuva medidos por pluviômetros e pelo radar para o evento do 18 de maio de 2017 no horário das 19h a partir do método de Krigagem com Deriva Externa anteriormente apresentado. Para o ajuste do variograma foi considerado o modelo gaussiano.

Os resultados indicam que o método desenvolvido possui boa precisão considerando o evento selecionado para o estudo de caso, apresentando um MAE (erro absoluto médio) de 1,65 mm/h, e gera campos de chuva que apresentam características estatísticas dos dados radar e pluviômetros. Este método pode ser uma solução para melhorar a estimativa espacial da precipitação e da localização de eventos extremos de chuva, como as tempestades. Investigações adicionais para melhorar o método aqui apresentado incluem a quantificação das incertezas dos dados e a validação através de um maior número de eventos.

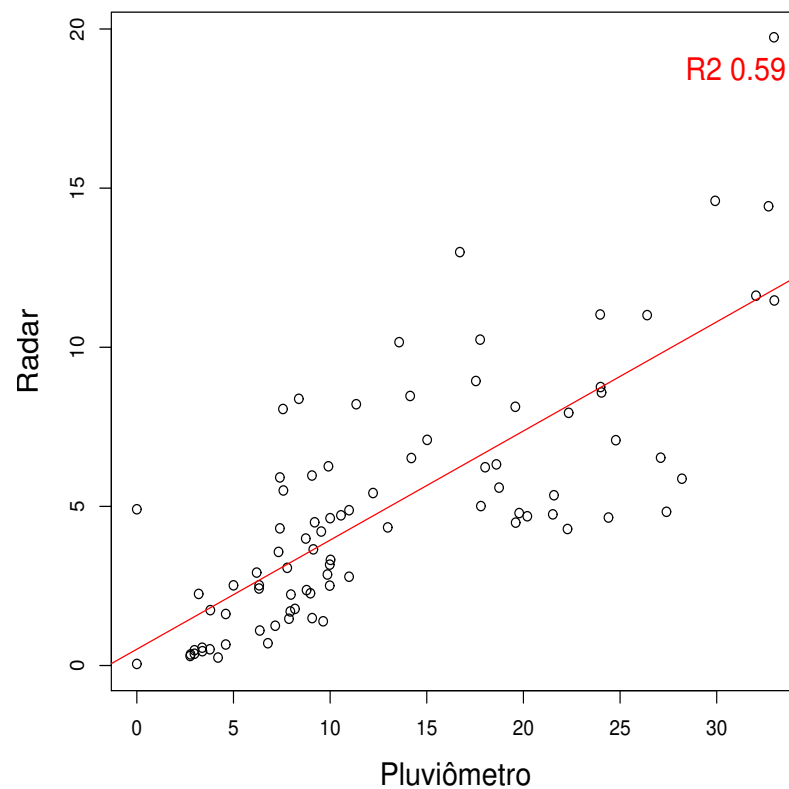


Figura 1: Comparação dos totais de precipitação horária de pluviômetros (abscissa) e dos radares de radar associados (ordenada) considerando o evento de 18 de maio de 2017 na região da cidade de Campinas. O coeficiente de determinação (R^2) é indicado em vermelho.

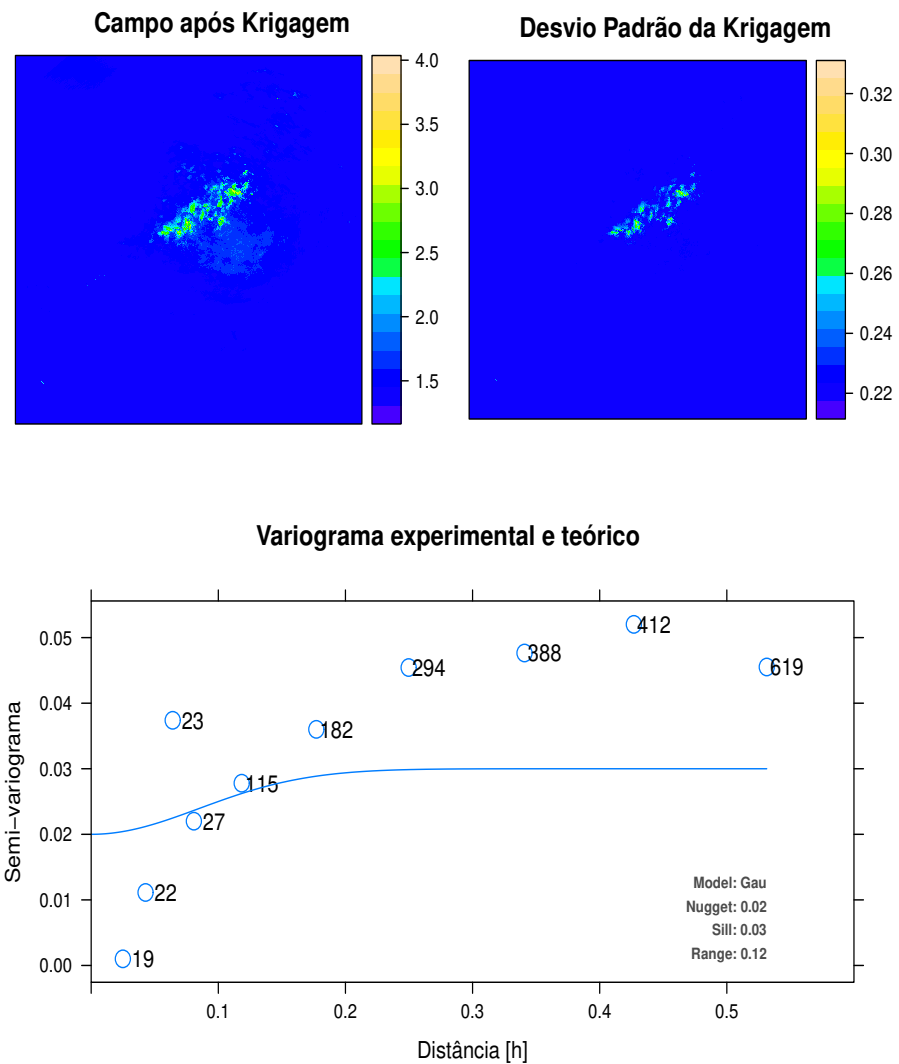


Figura 2: Apresentação do campo de chuva gerado a partir do método de Krigagem com Deriva Externa utilizando os dados de radar e dos pluviômetros (esquerda), a carta de desvio padrão (direita) e o variograma experimental e teórico utilizada na krigagem (abaixo).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao projeto temático SOS-Chuva (FAPESP processo 15/14497-0) e à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro à pesquisa (processo 2017/00275-0).

Referências

- [1] A. Caseri. Apport de la simulation conditionnelle géostatistique pour la prévision immédiate d'ensemble de pluies et l'alerte aux crues rapides. Tese de Doutorado, AgroParisTech, 2017.
- [2] G. Delrieu, A. Wijbrans, B. Boudevillain, D. Faure, L. Bonnifait, P - E. Kirstetter. Geostatistical radar com - raingauge merging: A novel method for the quantification of rain estimation accuracy. *Advances in Water Resources*, 71:110 - 124, 2014.
- [3] S. Fukao, K. Hamazu. *Radar for Meteorological and Atmospheric Observations*. In Springer Japan, page 537, Japan, 2014. *Comp. Appl. Math.*, 2014. DOI: 10.1007/s40314-014-0163-6.
- [4] P. Goovaerts. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, New York, page 483, 1997.
- [5] E. H. Isaaks, R. M. Srivastava. *An Introduction to Applied Geostatistics* . 1989.
- [6] B. Pauthier, B. Bois, T. Castel, D. Thevenin, Y. Richard. *Intercomparaison radar pluviomètre pour l'estimation des pluies á haute résolution* . Liège, France, 2015.
- [7] P. Tabary, C. Augros, J. L. Champeaux, J. L. Chéze, D. Faure, D. Idziorek, R. Lorandel, B. Urban, V. Vogt. Le réseau et les produits radars de Météo-France. *La Météorologie*, 83 (13), 2013.
- [8] C.A. Velasco-Forero, D. Sempere-Torres, E. F. Cassiraga, J. J. Gómez-Hernández. A nonparametric automatic blending methodology to estimate rainfall fields from rain gauge and radar data. *Advances in Water Resources*, 32:986 - 1002, 2009.