ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Desempenho na estimativa de precipitação pelo radar meteorológico do oeste de Santa Catarina

Murilo Fretta José¹, Rosandro Boligon Minuzzi²

¹ Meteorologista, Secretaria de Estado da Defesa Civil de Santa Catarina, Av. Governador Ivo Silveira, 2320, Capoeiras, CEP: 88085-001, Florianópolis – SC, Brasil. (48)3664-7000. murilofretta@googlemail.com (autor correspondente). ² Professor, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Catarina, Rod. Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, CEP: 88034-001, Florianópolis - SC, Brasil. (48) 3721-5484. rbminuzzi@hotmail.com

Artigo recebido em 26/07/2019 e aceito em 09/01/2020

RESUMO

Apesar da sua eficiência, o radar meteorológico apresenta erros que são sensíveis às calibrações e às físicas envolvidas nos sistemas naturais. O objetivo neste estudo foi analisar o desempenho na estimativa de precipitação pelo radar meteorológico do oeste (RMO) de Santa Catarina em diferentes escalas de tempo. No período de 6 outubro de 2017 à 31 de janeiro de 2018, foram comparados dados de precipitação acumulados (> 1 mm) em 10 minutos, 60 minutos e 24 horas por nove estações pluviométricas com as estimadas pelo radar. A avaliação da estimativa de precipitação pelo RMO foi realizada por meio do coeficiente de correlação, o Erro Médio, o Erro Padrão de Estimativa, os Índices de Concordância e de Confiança e pela Eficiência de Nash-Sutcliffe. Para os acumulados em 24 horas e 60 minutos o radar tende a superestimar a precipitação em média de 5,82 mm e 1,62 mm, com um desempenho considerado ‘muito bom’ e ‘mediano’, respectivamente. Para a precipitação de 10 minutos os resultados foram diversificados e com um desempenho ‘ruim’. Como o desempenho do radar tende a diminuir quanto menor a escala de tempo de estimativa de precipitação a calibração do RMO se faz necessário.

Palavras-chave calibração, sensoriamento remoto, estação hidrológica.

Performance in precipitation estimation by meteorological radar in the West of Santa Catarina

ABSTRACT

Despite its efficiency, weather radar has errors that are sensitive to the calibrations and physics involved in natural systems. The objective of this study was to analyze the performance in the estimation of precipitation by the Meteorological Radar of the West (MRW) of Santa Catarina at different time scales. In the period from October 6, 2017 to January 31, 2018, accumulated precipitation data (> 1 mm) were compared in 10 minutes, 60 minutes and 24 hours for nine rainfall stations with those estimated by radar. The MRW estimation of precipitation was performed using the correlation coefficient, the Mean Error, the Standard Error of Estimation, the Concordance and Confidence Indexes, and the Nash-Sutcliffe Efficiency. For the accumulated in 24 hours and 60 minutes the radar tends to overestimate the average precipitation of 5.82 mm and 1.62 mm, with a performance considered 'very good' and 'medium', respectively. For the 10 minute rainfall the results were diverse and with 'poor' performance. As the radar performance tends to decrease the lower the time scale of precipitation estimation the MRW calibration becomes necessary.

Keywords: calibration, remote sensing, hidrological station.

Introdução

A região sul do Brasil apresenta um regime de precipitação bem distribuído durante todos os meses do ano, independente da estação, tendo maior concentração no verão, visto a maior frequência de chuvas frontais (Torres e Machado, 2011).

A circulação atmosférica característica em baixos níveis (850 hPa) destaca-se na região a

presença do Jato de Baixos Níveis (JBN). É frequentemente observado nos escoamentos de norte e noroeste, sendo o principal responsável pelo transporte de umidade proveniente da Amazônia para o sul do Brasil. Na média e alta atmosfera, a advecção é realizada principalmente pelo Jato Subtropical de Altos Níveis (JSA) e pela presença da circulação anticiclônica, Alta da Bolívia (AB).

Esses sistemas, tanto na estação quente como na de transição, primavera, são os principais responsáveis pelos regimes pluviométricos da região (Grimm, 2009).

No verão e nas estações de transição (outubro a abril), são comumente formados os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), aglomerados de espessas nuvens frias, com forma aproximadamente circular e tempo de vida de no mínimo seis horas, sendo característica a ocorrência de precipitação acumulada elevada. O período que predomina o regime é conhecido como monção de verão e ocorre entre dezembro a março. Na região oeste de Santa Catarina, o regime é trimodal com máximos no início da primavera, verão e outono e muito influenciada pelos CCM's, sendo uma das regiões com maior ocorrência de fortes tempestades (Zipser et al., 2006).

As redes de estações hidrometeorológicas no estado de Santa Catarina, apesar do esforço das principais instituições responsáveis, ainda são muito distantes entre si, principalmente no oeste do Estado. Em agosto de 2017, foi inaugurado no município de Chapecó, o Radar Meteorológico do Oeste (RMO) para auxiliar no monitoramento dos sistemas precipitantes, como também, melhorar a resolução espaço-temporal das estimativas de chuva e previsão de tempestades, numa região que ocupa a segunda posição no ranking mundial de incidência de tornados (Beck e Verzenhassi, 2008).

O RMO é do tipo banda S, isto é, com comprimento de onda na faixa de 10 cm. Sua operacionalização gera mapas de precipitação, com resolução espacial de 2 km x 2 km, a cada 328 segundos. O RMO opera em duas varreduras, quando em modo de vigilância ('sem alvos', 'associados às tempestades' e 'próximos') com área circular de 400 km de raio; quando em operação com alvos próximos, sua abrangência diminui a 240 km de raio para melhor qualidade dos dados.

Apesar de já comprovada eficiência, o RMO apresenta erros que são sensíveis às calibrações e às físicas envolvidas nos sistemas naturais. Esses sistemas são associados às variações da microfísica de nuvens, distribuição variável do formato de gotas de chuva, ganho da antena, camadas de derretimento das nuvens. Tais fatores podem alterar a relação entre a estimativa de precipitação por radar e a medição *in situ* dos pluviômetros (Austin, 1987).

Quando comparadas as estimativas de precipitação por radar e o mensurado nos pluviômetros, valores de correlação acima de 0,70 sugerem uma boa eficiência, como o obtido por Brandes et al. (1999) que correlacionaram as medidas de precipitação oriundas de tempestades

nos estados americanos do Colorado e Kansas. Os valores associados variaram entre 0,77 e 0,95. Os resultados com menores valores de correlação (na faixa de 0,70) foram atribuídos às tempestades isoladas, presença de granizo e às precipitações que aumentaram bruscamente de intensidade em um curto espaço de tempo.

Diante do exposto, o objetivo neste estudo foi de analisar o desempenho na estimativa de precipitação pelo Radar Meteorológico do Oeste (RMO) em diferentes escalas de tempo.

Material e métodos

Por ser um radar de dupla polarização, o RMO é capaz de caracterizar com mais eficiência os hidrometeoros. Assim, os dados, em ASCII, utilizados nesse trabalho foram referentes a precipitação acumulada de 10 minutos, 60 minutos e 24 horas, embutido na tarefa de varredura do radar para produto de estimativa de intensidade de precipitação em superfície por dupla-polarização (DPSRI), ou seja, foi utilizado o produto da integral no tempo da estimativa de precipitação, que já se demonstrou eficaz em relação à varredura de polarização simples (Vucinic e Nadj, 2014).

Os valores foram obtidos através de *script* em linguagem *python* desenvolvido para esse estudo. Foram analisados 240 dados de volumes gerados para cada um dos dias em análise no período de 6 outubro de 2017 à 31 de janeiro de 2018, sendo desconsiderados os dias com ausência de dados dos pluviômetros e, ou, do radar, devido a sua manutenção. Os dados em ASCII são em formatos de matriz (800 x 800), cada elemento da matriz representa um pixel do mapa com respectiva latitude e longitude.

Os dados instrumentais de precipitação foram obtidos de nove estações do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), localizadas na área de abrangência do RMO, que geram dados de acumulados a cada 10 minutos. A Tabela 1 apresenta o código, coordenadas geográficas, altitude, distância em linha reta do radar e município onde estão localizadas as estações pluviométricas. Enquanto na Figura 1 tem-se o relevo e a distribuição espacial das estações e a localização do radar no oeste de Santa Catarina.

Para a análise comparativa da precipitação, foram utilizados somente valores de pares (pluviômetro/radar) que apresentaram valores maiores ou iguais a 1 mm de chuva e se quantificados em mais de 10 comparações (Goudenhoofdt e Delobbe, 2009).

Na Tabela 2 tem-se o número de registros de dados de precipitação analisados nas diferentes

escalas de tempo propostas para cada um dos municípios.

Tabela 1. Coordenadas geográficas, altitude, código, distância (km) em linha reta até o radar e município onde estão localizadas as estações pertencentes ao CEMADEN e utilizadas neste estudo.

Código	Município e abreviatura	Lat.(°)	Long.(°)	Altitude(m)	Distância(km)
420500101	Dionísio Cerqueira (DC)	-26,26	-53,64	820	137,6
420550602	Fraiburgo (FRA)	-27,05	-50,93	1089	166,6
420840101	Itapiranga (ITA)	-27,17	-53,71	181	107,7
421100901	Mondaí (MON)	-27,10	-53,40	220	76,9
421420102	Quilombo (QUI)	-26,68	-52,77	522	48,1
421950701	Xanxerê (XAN)	-26,84	-52,41	800	35,1
421720401	São Miguel do Oeste (SMO)	-26,74	-53,53	605	98,4
421210601	Palmitos (PAL)	-27,07	-53,16	391	53,6
421050601	Maravilha (MAR)	-26,76	-53,17	575	66,5

Figura 1. Localização do radar meteorológico do oeste e dos municípios com as estações pluviométricas no oeste de Santa Catarina com seu respectivo relevo.

Tabela 2. Número de registros de dados de precipitação (> 1 mm) utilizados no estudo para cada um dos municípios.

Municípios	Nº dados de precipitação
Dionísio Cerqueira	47
Fraiburgo	77
Itapiranga	130
Mondaí	127
Quilombo	140
Xanxerê	127
São Miguel do Oeste	116
Palmitos	117
Maravilha	149

A avaliação da estimativa de precipitação pelo RMO foi realizada por meio do coeficiente de correlação (r), o Erro Médio (EM), o Erro Padrão de Estimativa (EPE), os Índices de Concordância (d) e de Confiança (c) e pela Eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE).

O Índice de Concordância (d) (Wilmott, 1981), descrito pela Equação 1, varia de 0 a 1 e

representa o quanto os valores de precipitação estimados pelo radar se ajustam aos valores obtidos pelos pluviômetros, sendo que, valores iguais a 1, indicam uma concordância perfeita.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|Y_i - \bar{Y}| + |X_i - \bar{X}|)} \right] \quad (1)$$

onde X_i = valores de precipitação estimados pelo radar, $\bar{X}$ = média dos valores de precipitação estimada pelo radar, Y_i = valores registrados pelos pluviômetros, e N = número de dados de precipitação.

Analogamente, para a análise de confiabilidade de precipitação estimada pelo radar,

considerou-se o Índice de Confiança (c), proposto por (Camargo e Sentelhas, 1997) conforme Equação 2. O critério adotado para interpretar os valores de c , consta na Tabela 3.

$$c = r \cdot d \quad (2)$$

Tabela 3. Critério de interpretação do índice de confiança. Fonte: (Camargo e Sentelhas, 1997)

Índice de confiança (c)	Desempenho
$>0,86$	Ótimo
$0,76$ a $0,85$	Muito Bom
$0,66$ a $0,75$	Bom
$0,61$ a $0,65$	Mediano
$0,51$ a $0,60$	Sofrível
$0,41$ a $0,50$	Mau
$\leq 0,40$	Péssimo

O Erro Padrão de Estimativa (EPE), pode ser calculado utilizando a Equação 3:

$$EPE = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{N-1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Já o Erro Médio (EM), representa a diferença média de precipitação estimada pelo radar e os valores registrados pelos pluviômetros. O EM indica a possível tendência dos dados do radar em superestimar ($EM > 0$) ou subestimar ($EM < 0$) os dados de precipitação, sendo calculado conforme Equação 4:

$$EM = \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i) \quad (4)$$

Com a finalidade de determinar a eficiência do modelo instaurado no RMO, a equação de Nash-Sutcliffe é baseada na análise da soma quadrada absoluta do estimado pelo radar com o medido pelo pluviômetro, dividida pela variância do observado no respectivo período (Equação 5).

$$NSE = \frac{\sum (Y_i - X_i)^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \quad (5)$$

Esse método tem a mesma finalidade da relação R^2 do método de regressão linear, porém aplicada diretamente ao dado e modelo de previsão (radar) originais. O resultado pode variar de $-\infty$ a 1. Sendo valores negativos indicativo de quanto o medido

(pluviômetro) é um melhor previsor que o estimado pelo radar e, relação contrária para valores positivos até 1.

Resultados e discussão

As análises estatísticas quanto ao desempenho de estimativa do RMO para as precipitações acumuladas em 24 horas mostram que em média o radar tende a uma superestimativa de 5,82 mm, com os maiores valores nos municípios do extremo oeste do Estado, sendo Dionísio Cerqueira (15,97 mm), São Miguel do Oeste (10,05 mm) e Itapiranga (9,77 mm) (Tabela 4). As menores dispersões foram nos únicos municípios que tiveram tendência de subestimativa (Xanxerê e Maravilha).

Pelo índice de Nash-Sutcliffe destaca-se os valores obtidos para Dionísio Cerqueira e Itapiranga como pontos negativos ao uso do modelo e como ponto positivo à previsão de estimativa pelo radar para a região de Quilombo com um índice perfeito de previsão. Enquanto os valores de r indicam em média e para sete localidades uma “forte correlação” (0,70 a 0,90) de acordo com a classificação proposta por Mukaka (2012), entre a precipitação estimada pelo radar com os medidos pelos pluviômetros. Apesar de o radar ter tido um desempenho “muito bom” ($c = 0,79$) na região de Quilombo, predominantemente as estimativas de precipitação do RMO tiveram um desempenho de “mediano” a “bom” (Tabela 4).

Tabela 4. Avaliação da estimativa de precipitação acumulada em 24 horas pelo radar meteorológico do oeste para algumas localidades utilizadas no estudo.

	EM	EPE	NSE	Viés	c	d	r
Dionísio Cerqueira	15,97	24,68	-3,07	1,95	0,20	0,51	0,39
Fraiburgo	3,65	11,06	0,34	1,23	0,61	0,89	0,68
Itapiranga	9,77	21,15	-0,92	1,43	0,68	0,79	0,87
Mondaí	5,00	9,45	0,37	1,23	0,74	0,87	0,84
Quilombo	6,58	13,46	1,00	1,26	0,79	0,94	0,84
Xanxerê	-1,24	10,69	0,44	0,94	0,54	0,80	0,68
São Miguel do Oeste	10,05	18,12	0,09	1,55	0,73	0,85	0,86
Palmitos	5,22	11,05	0,24	1,31	0,65	0,83	0,78
Maravilha	-2,64	12,04	0,60	0,90	0,70	0,88	0,80
Média	5,82	14,63	-0,10	1,31	0,63	0,82	0,75

EM= erro médio; EPE= erro padrão de estimativa; NSE= Eficiência de Nash-Sutcliffe; c= índice de confiança; d= índice de concordância; r= coeficiente de correlação.

Os diagramas de dispersão 1:1, mostram as tendências de estimativa do RMO para diferentes quantidades de precipitação acumulada em 24 horas (Figura 2). Enquanto nas regiões de Dionísio Cerqueira (2a), Itapiranga (2c), Mondaí (2d), São Miguel do Oeste (2g) e Palmitos (2h) o radar tende a superestimar em qualquer quantia de precipitação, em Fraiburgo (2b), Quilombo (2e), Xanxerê (2f) e Maravilha (2i) a superestimativa tende a ocorrer apenas para acumulados relativamente menores de precipitação, sendo este limiar entre 20 e 50 mm. A Figura 2 também apresenta os coeficientes de ajuste da regressão linear que podem ser utilizados para calibração do RMO, principalmente nas áreas com menor desempenho. A análise da estimativa do RMO para precipitação acumulada em 60 minutos é

apresentada na Tabela 5, onde é unânime a tendência de superestimativa em todas as áreas analisadas, variando de 0,01 mm em Maravilha a 4,12 mm em Dionísio Cerqueira. Porém, as correlações entre a precipitação dos pluviômetros com o radar e o desempenho deste último estiveram em média bem abaixo ao analisado para o período de 24 horas, havendo uma “fraca” correlação com “péssimo” desempenho. Os gráficos 1:1 ratificam a “fraca” correlação, com os pontos bem dispersos em relação a reta, mas em comum no comparativo com a precipitação de 24 horas, a tendência de superestimar os menores registros de precipitação e subestimar os maiores (Figura 3).

Figura 2 . Gráficos de dispersão e retas linearizadas dos pares radar/pluviômetros para os sítios analisados em intervalo de 24 horas para Dionísio Cerqueira (2a), Fraiburgo (2b), Itapiranga (2c), Mondaí (2d), Quilombo (2e), Xanxerê (2f), São Miguel do Oeste (2g), Palmitos (2h), Maravilha (2i).

Tabela 5. Avaliação da estimativa de precipitação acumulada em 60 minutos pelo radar meteorológico do oeste para algumas localidades utilizadas no estudo.

	EM	EPE	NSE	Viés	c	d	r
Dionísio Cerqueira	4,12	8,54	-18,81	2,29	-0,01	0,20	-0,04
Fraiburgo	1,18	7,60	-0,36	1,17	0,15	0,58	0,26
Itapiranga	2,45	7,42	-0,88	1,41	0,14	0,50	0,28
Mondaí	1,67	5,91	-0,43	1,29	0,27	0,63	0,43
Quilombo	0,51	8,51	0,00	1,07	0,31	0,67	0,46
Xanxerê	0,08	3,41	0,56	1,02	0,64	0,85	0,75
São Miguel do Oeste	2,71	6,98	0,32	1,40	0,54	0,80	0,68
Palmitos	1,87	6,02	0,13	1,36	0,44	0,74	0,60
Maravilha	0,01	6,24	0,25	1,00	0,40	0,72	0,56
Média	1,62	6,74	-2,14	1,33	0,32	0,63	0,44

EM= erro médio; EPE= erro padrão de estimativa; NSE= Eficiência de Nash-Sutcliffe; c= índice de confiança; d= índice de concordância; r= coeficiente de correlação.

Figura 3. Gráficos de dispersão e retas linearizadas dos pares radar/pluviômetros para os sítios analisados em intervalo de 60 minutos para Dionísio Cerqueira (3a), Fraiburgo (3b), Itapiranga (3c), Mondaí (3d), Quilombo (3e), Xanxerê (3f), São Miguel do Oeste (3g), Palmitos (3h), Maravilha (3i).

Os resultados da análise de estimativa da precipitação estimada acumulada em 10 minutos foram relativamente mais diversificados. Provavelmente por este motivo, no geral o erro médio foi praticamente nulo, já que, ora em algumas áreas o radar tende a superestimar, ora a subestimar. O EPE elevado para uma precipitação

acumulada em 10 minutos é um indicio da correlação 'fraca' dentre as áreas analisadas, apesar de que chama a atenção às exceções encontradas para Dionísio Cerqueira e Xanxerê, com correlação de 0,81 e 0,99, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6. Avaliação da estimativa de precipitação acumulada em 10 minutos pelo radar meteorológico do oeste para algumas localidades utilizadas no estudo.

	EM	EPE	NSE	Viés	c	d	r
Dionísio Cerqueira	1,32	1,87	-21,50	2,02	0,34	0,42	0,81
Fraiburgo	-0,92	4,60	-0,40	0,76	-0,07	0,23	-0,32
Itapiranga	0,41	2,37	-0,46	1,17	0,06	0,45	0,13
Mondaí	-0,46	2,41	0,02	0,83	0,17	0,53	0,32
Quilombo	-0,47	5,54	-0,72	0,88	-0,02	0,24	-0,07
Xanxerê	-0,36	2,31	0,22	0,87	0,67	0,67	0,99
São Miguel do Oeste	0,12	3,31	0,11	1,04	0,24	0,60	0,40
Palmitos	0,67	3,60	0,06	1,24	0,26	0,59	0,43
Maravilha	-0,19	3,50	-0,11	0,95	0,21	0,60	0,36
Média	0,02	3,28	-2,53	1,08	0,21	0,48	0,34

EM= erro médio; EPE= erro padrão de estimativa; NSE= Eficiência de Nash-Sutcliffe; c= índice de confiança; d= índice de concordância; r= coeficiente de correlação.

O índice de Nash-Sutcliffe apresentou a menor média dentre os três intervalos de precipitação analisados, com valor em média de -

2,53, que indicaria a melhor eficiência de uso dos pluviômetros para o curto intervalo de tempo. Porém, ressalta-se que este valor foi deveras

influenciado pelo NSE de Dionísio Cerqueira (-21,50), já que, os demais valores ficaram próximos a zero e, ora positivo, ora negativo. A razão entre os valores estimados e observados foram praticamente equivalentes, onde com o Viés médio de 1,08, o radar teve tendência de levemente superestimar os valores medidos nos pluviômetros. Salvo o desempenho da precipitação estimada na área de Xanxerê que foi considerado ‘bom’ ($c = 0,67$), para as demais localidades o RMO teve um ‘péssimo’ desempenho’ na estimativa da precipitação acumulada em 10 minutos.

Os gráficos 1:1 seguem um comportamento semelhante ao observado na análise feita para a precipitação de 60 minutos, isto é, grande dispersão dos dados e uma tendência predominantemente de superestimativa para baixos acumulados de precipitação e de subestimativa para os maiores, salvo na área de Dionísio Cerqueira onde o radar foi unânime em superestimar os acumulados de 10 minutos (Figura 4).

Figura 4. Gráficos de dispersão e retas linearizadas dos pares radar/pluviômetros para os sítios analisados em intervalo de 10 minutos para Dionísio Cerqueira (4a), Fraiburgo (4b), Itapiranga (4c), Mondaiá (4d), Quilombo (4e), Xanxerê (4f), São Miguel do Oeste (4g), Palmitos (4h), Maravilha (4i).

Apesar das calibrações físicas do radar, nas onze elevações de varredura, como a PRF (do inglês, Frequência de Repetição de Pulso) que dará quantos pulsos são emitidos por segundo, velocidade da antena, em graus por segundo, dentre outras características, nota-se que o RMO ainda necessita de calibrações para melhores estimativas, principalmente, numa menor escala temporal. Como atentaram Farias e Pereira Filho. (2013), a previsão de chuva a curtíssimo prazo é de suma importância principalmente em áreas muito habitadas, auxiliando na redução das fatalidades causadas por tornados, tempestades e enchentes repentinas.

Há diferentes formas de calibração, como os coeficientes oriundos da equação de regressão, que

podem ser usados preferencialmente se houver uma correlação elevada entre as variáveis. Como não foi o caso para a avaliação da precipitação estimada a 60 e 10 minutos, foi refeito a análise estatística nos dados, porém, ajustando as estimativas de precipitação pelo radar com base no erro médio (EM) e Viés, obtidos para a área de Dionísio Cerqueira, por ter tido o pior desempenho.

Feito o ajuste, os resultados do EM ficaram nulos e do Viés próximo ou iguais a um (Tabela 7). A correlação também não foi alterada, pois mesmo com a mudança nos valores estimados pelo radar, a sincronia entre os pares das variáveis não é alterado. Assim, foi perceptível a redução de Erro Padrão de Estimativa em torno de 22%. Para o índice de Eficiência de Nash-Sutcliffe, uma

melhora estimada de em média 76%. Enquanto que o Viés apresentou um melhor desempenho com cerca de 53%. Para o índice de confiança, houve uma estimativa média de melhora em 50%. Porém, apesar destas melhoras na estimativa, ainda assim,

o desempenho ficou aquém do esperado para um local onde as estimativas não foram satisfatórias.

Tabela 7. Desempenho estatístico da chuva acumulada pelo radar em 10 e 60 minutos e 24 horas, após a calibração para Dionísio Cerqueira.

	EPE	NSE	c	d
10 minutos	1,26	-9,21	0,46	0,81
60 minutos	7,43	-2,85	-0,02	0,50
24 horas	19,76	-0,45	0,89	0,70

EPE= erro padrão de estimativa; NSE= Eficiência de Nash-Sutcliffe; c= índice de confiança; d= índice de concordância.

Alterações na quantidade de elevações efetuadas pelo radar, tal qual *sampling* e velocidade da antena podem resultar em alterações para melhor desempenho e economia de energia. Há também de se levar em conta que a referência para o estudo foram os dados dos pluviômetros, tomando-os como em perfeita funcionalidade. Porém quando os índices estatísticos se destacam, em muito, quanto ao desempenho em relação aos outros, pode-se ter que analisar o estado de funcionamento do mesmo. Pereira Filho e Crawford (1995) chamaram a atenção que apesar dos erros de medição do radar e dos pluviômetros não serem conhecidos, as estimativas de precipitação pelo radar e as medidas pelos pluviômetros podem ser combinadas para diminuir erros.

Diante dos diferentes resultados obtidos entre os locais avaliados na área de abrangência do radar, a distância e a topografia entre o local de estimativa e a localização do radar, provavelmente são fatores influentes.

Para melhor compreensão no desempenho do RMO, sugere-se caracterizar as precipitações consoantes aos sistemas meteorológicos atuantes na região, de forma semelhante ao apontado por Pereira Filho et al. (1999) em que os erros de radar variaram de acordo com o tipo de sistema precipitante, sua estrutura e grau de organização. Desta forma, categorizar as relações Z-R, como também análise de expansão da rede de pluviômetros dada a abrangência, as variações de elevações de terreno da área de estudo e a escassez de objetos de monitoramento *in loco*. Visando avaliar as previsões de precipitação a curtíssimo prazo com o radar meteorológico da Grande São Paulo para diferentes sistemas precipitantes, Farias e Pereira Filho (2013) mostraram que os eventos estratiformes apresentaram a maior correlação, decorrentes do grau de organização dos sistemas e do ciclo de

vida dos mesmos. Acrescentam que os sistemas convectivos que apresentam maiores incertezas, a previsão mais acurada foi obtida para intervalos de tempo acima de 30 minutos e entre 60 e 90 minutos, para os casos de convecção mais organizada.

Conclusões

Quanto menor o período de intervalo estimado de precipitação, menor tende a ser o desempenho do radar.

Para os valores acumulados de 24 horas e 60 minutos, o radar tende a superestimar a precipitação, principalmente para menores quantidades.

Os baixos desempenhos na precipitação estimada para intervalos de tempo menores atestam a necessidade de calibração do radar meteorológico do oeste.

Agradecimentos

Agradecemos ao CEMADEN e a Defesa Civil do Estado de Santa Catarina pela disponibilidade dos dados de precipitação e de radar, respectivamente.

Referências

- Austin, P.M., 1987. Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall. *Monthly Weather Review* 115, 1053-1070.
- Beck, A.T., Verzenhassi, C.C., 2008. Risk optimization of a steel frame communications tower subject to tornado winds. *Latin American Journal of Solids and Structures* 5, 187-203.
- Brandes, E.A., Vivekanandan, J., Wilson, J.W., 1999. A comparison of radar reflectivity estimates of rainfall from collocated radars. *Journal of Atmospheric and*

- Oceanic Technology 16, 1264-1272.
- Camargo, A.P., Sentelhas, P.C., 1997. Performance evaluation of different potential evapotranspiration estimating methods in the State of São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 5, 89-97.
- Farias, J.F. da S., Pereira Filho, A.J., 2013. Previsão de chuva a curtíssimo prazo na área de abrangência do radar meteorológico de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia* 28, 199-209.
- Goudenhoofd, E., Delobbe, L., 2009. Evaluation of radar-gauge merging methods for quantitative precipitation estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 195-203.
- Grimm, A.M. 2009. Clima da região Sul do Brasil. In: Cavalcanti, I.F. de A., et al. (Org). *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 259-275.
- Mukaka, M.M., 2012. Statistics Corner: A guide to appropriate use of correlation in medical research. *Malawian Medical Journal* 24, 69-71.
- Pereira Filho, A.J.; Crawford, K.C., 1995. Integrating WSR-88D estimates and Oklahoma Mesonet measurements of rainfall accumulations: a statistical approach. In: International Conference on Radar Meteorology, 27, Vail, Colorado. *Anais...* Boston: AMS, 240-242.
- Pereira Filho, A.J., Crawford, K.C., Stensrud, D.J., 1999. Mesoscale precipitation fields: part II: hydrometeor logic modeling. *Journal of Applied Meteorology* 38, 101-125.
- Torres, F.T.P., Machado, P.J. de O. Introdução à climatologia. São Paulo: Cengage Learning, 256p. 2011.
- Vucinic, Z., Nadj, J., 2014. Comparison of polarimetric techniques for precipitation estimation in Serbia. In: European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, 8, 2014, Garmisch-Partenkirchen, Alemanha. *Anais...* Garmisch-Partenkirchen: DWD-DLR, 1-6.
- Willmott, C.J., 1981. On the validation of models. *Physical Geography* 2, 184-194.
- Zipser, E.J., Cecil, D.J., Liu, C., Nesbitt, S.W.; Yorty, D.P., 2006. Where are the most: Intense thunderstorm on Earth? *Bulletin of American Meteorological Society* 87, 1057-1071.