

# AJUSTE DAS ESTIMATIVAS DE CHUVA OBTIDAS POR UM RADAR METEOROLÓGICO DOPPLER BANDA S NO ESTADO DO PARANÁ

*Cesar Beneti<sup>1</sup>; Ieda Pscheidt<sup>1</sup>; Leonardo Calvetti<sup>1</sup>*

**Resumo:** Estimativas de chuva obtidas através de radar meteorológico apresentam um enorme potencial para melhorar a qualidade das informações de precipitação uma vez que apresentam maior resolução temporal e espacial do que as estações de superfície. No entanto, como o radar mede a refletividade e não a quantidade de chuva em si, é preciso que esses dados sejam convertidos em valores de precipitação de maneira a reduzir ao máximo o erro nesta informação. Esta conversão tem sido realizada através da relação de Marshall-Palmer (MP). A fim de melhorar as estimativas de chuva para o período do verão no Estado do Paraná utilizamos neste trabalho a técnica Probability Matching Method (PMM). Comparando as estimativas obtidas através de MP e aquelas usando PMM com as informações de precipitação em superfície dadas pela rede de estações hidrometeorológicas, verificamos que a técnica PMM concorda muito mais com as observações do que MP. O erro médio entre as estimativas e as observações sofreu considerável redução assim como houve um aumento no coeficiente de correlação positivo entre os mesmos. Além do mais, é importante ressaltar que esta técnica também estimou a precipitação com mais precisão para eventos de chuva extremos no Estado.

**Abstract:** Rainfall estimates obtained from meteorological radars present higher spatial and temporal resolution than the observations obtained from a network of hydrometeorological surface stations. In this way radars are able to provide more powerful information about precipitation. However, since they measure reflectivity instead the amount of rainfall, it is necessary to convert one information into another with minimal error. This conversion has been performed by using the Marshall-Palmer (MP) relationship. In order to improve the rainfall estimates for the state of Parana during summer we have used the Probability Matching Method (PMM) in this study. Comparing the estimates obtained from MP and those from PMM with the surface stations we have found that the PMM technique agrees better with the observations than MP. While the mean error between estimates and surface data has been reduced, the correlation coefficient has increased. Besides, the PMM technique also estimates rainfall more precisely than MP for extreme precipitation events over the state.

**Palavras-Chave:** estimativas de chuva por radar, melhorias na relação refletividade-chuva.

## 1. INTRODUÇÃO

Radares meteorológicos possuem um enorme potencial para melhorar a qualidade das medidas de chuva sobre uma determinada localidade. Eles apresentam maior resolução temporal e espacial quando comparados com redes de estações hidrometeorológicas, por exemplo, que fornecem apenas

---

<sup>1</sup>: Instituto Tecnológico Simepar, Curitiba, Paraná. Fone: 41 3320 2000.

E-mails: [beneti@simepar.br](mailto:beneti@simepar.br), [ieda@simepar.br](mailto:ieda@simepar.br), [leonardo@simepar.br](mailto:leonardo@simepar.br)

registros de chuva pontuais sobre uma determinada área. Esse potencial favorece conseqüentemente muitos setores da sociedade que fazem uso de tais informações, como por exemplo, os setores elétrico e de produção agrícola. No entanto como as informações provenientes do radar são medidas de refletividade ( $Z$ ) e não de chuva ( $R$ ) em si, estas precisam ser transformadas em quantidades de precipitação e para isso utilizam-se relações de refletividade-chuva do tipo  $Z=aR^b$ . Os parâmetros  $a$  e  $b$  podem variar de localidade para localidade, para distintos eventos de chuva assim como para distintas épocas do ano. Elas são determinadas baseadas na distribuição de gotas de chuva sobre uma determinada região ou evento de precipitação. Uma das mais conhecidas e utilizadas, no entanto, é a relação de Marshall-Palmer (MP) dada por  $Z=200R^{1.6}$ , onde os parâmetros  $a$  e  $b$  foram determinados baseados na distribuição de gotas de chuva estratiforme. Esta relação, todavia, quando utilizada para eventos convectivos de precipitação apresenta desempenho relativamente baixo.

Neste estudo propomos utilizar a técnica Probability Matching Method (PMM), inicialmente sugerida por Rosenfeld et. al., (1994), para o ajuste e melhoria das estimativas de chuva por radar para o Estado do Paraná. Melhorias nas estimativas de chuva também irão proporcionar melhorias nas previsões hidrológicas, informações estas que são também de grande importância para o setor de geração de energia hidroelétrica no Estado. A princípio propomos aplicar e validar a eficácia desta técnica para o período do verão por ser o mais chuvoso durante o ano no Estado e com grande parte dos eventos de precipitação sendo provenientes de sistemas convectivos de mesoescala.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A fim de desenvolver este estudo foram utilizados dados de chuva provenientes de estações hidrometeorológicas automáticas assim como dados de refletividade obtidos do radar Doppler banda S operados pelo Instituto Tecnológico Simepar.

Os dados de chuva estavam na resolução temporal de 15 e 60 minutos, com um total de 22 estações hidrológicas e 26 estações meteorológicas sendo utilizadas para este trabalho. Estes dados passaram por um controle de qualidade automático que é baseado no Oklahoma Mesonet Quality Control desenvolvido por Brock & Fredrickson (1993). Apesar desta varredura automática os dados ainda foram submetidos a um controle manual e aqueles considerados suspeitos foram substituídos por dados faltantes e conseqüentemente não utilizados no estudo.

As refletividades obtidas do radar meteorológico são provenientes dos campos de CAPPI 3 km. Este é um radar de polarização linear horizontal e possui um range máximo de 400 km, no entanto

utilizamos aqui a área coberta pelo range de 200 km. A resolução espacial é de 4 km<sup>2</sup> enquanto que a temporal é de 5 e 10 minutos.

Utilizando a técnica denominada Probability Matching Method (PMM) serão primeiramente obtidos fatores de conversão entre as estimativas de chuva por radar e os registros de precipitação nas estações de superfície. Em segundo momento avaliaremos o desempenho desta técnica aplicando os fatores de conversão aos dados de radar e comparando os dados ajustados a outras estações de superfície, que não foram usadas no primeiro momento. Denominaremos este segundo conjunto de estações hidrometeorológicas de “novas estações”.

A fim de determinar os fatores de conversão para o ajuste das estimativas por radar utilizamos dados de chuva de 24 estações de superfície (meteorológicas e hidrológicas) que são mostradas pela figura 1 abaixo. Dados horários desde 00Z 01 de dezembro de 2008 até 23Z 28 de fevereiro de 2009 destas estações foram usados. Os dados de chuva que estivessem na resolução temporal de 15 minutos tiveram então estas quantias acumuladas em uma hora de modo que todas as informações estivessem na mesma resolução temporal. Dados duvidosos ou aqueles que apresentaram valor inferior a 0.2mm/h foram simplesmente substituídos por código de dados faltantes e desconsiderados no estudo.

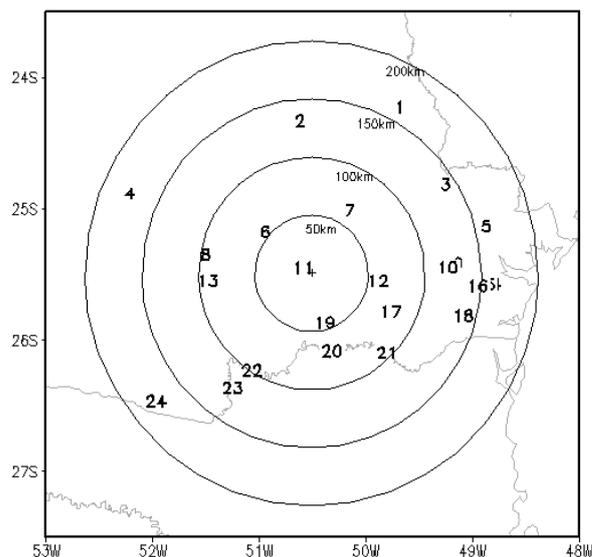


Figura 1 – Localização das estações meteorológicas e hidrológicas dentro do range de 200 km do radar meteorológico Doppler banda S. Os números são apenas usados para identificação das estações, enquanto que os círculos apresentam as distâncias respectivas de 50 km, 100 km, 150 km e 200 km do radar.

Os dados de refletividade do radar foram convertidos para quantidades de precipitação usando a relação de Marshall-Palmer (MP) e consecutivamente tiveram essas quantias também acumuladas em uma hora. Foram utilizadas somente as informações do radar que estivessem no pixel exatamente acima das estações de superfície e não toda a matriz de CAPPI 3 km. Desta forma para cada estação em superfície havia um valor correspondente de chuva obtido do radar via MP.

Todas as informações horárias do período do verão para as 24 estações de superfície foram agrupadas num único vetor e os correspondentes dados de radar em um segundo vetor. Estes dois conjuntos de dados de chuva em mm/h foram então expressos em unidades dBR (radar) e dBG (estações), respectivamente, como em Collier et. al., (2010). Com estas informações pode-se obter a frequência acumulada dos dados conforme indicado na figura 2.

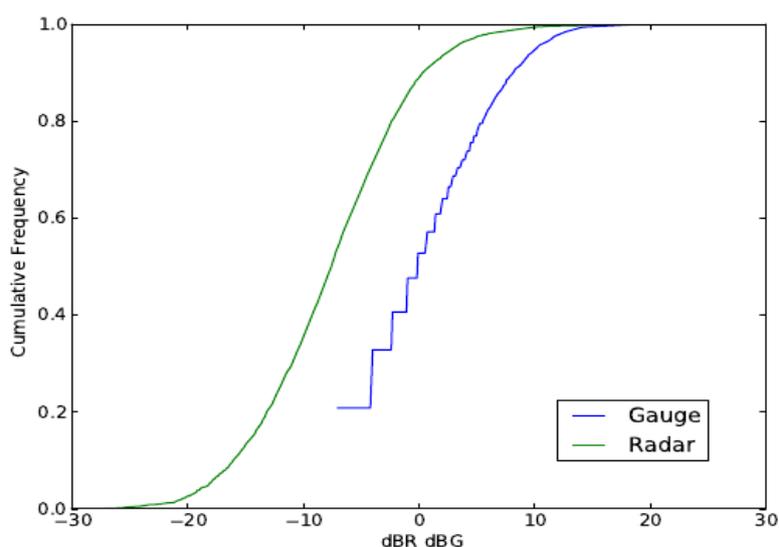


Figura 2 – Frequência acumulada dos dados horários de chuva (em unidades dB) das estações de superfície (azul) e do radar (verde) no período de dez/2008 até fev/2009.

Uma vez que a distribuição de chuva independe do método ou instrumento usado para medi-la, as curvas de frequência acumulada da figura 2 para as estações de superfície e para o radar devem coincidir. Desta maneira podemos obter um fator com o qual seja possível obter a correção entre estas duas curvas e consecutivamente ajustar as estimativas de chuva por radar.

Após a obtenção deste fator de correção, a técnica foi avaliada utilizando-se as “novas estações” hidrometeorológicas. Abaixo a figura 3 mostra o primeiro conjunto de estações anteriormente utilizadas e as “novas estações” que serão usadas no processo de validação. Essas últimas estão enumeradas em ordem crescente de acordo com a localização das mesmas em relação ao radar. A mais próxima neste caso é a estação de número 1 enquanto que a de número 25 é a mais distante.

Optamos por essa identificação a fim de verificar se existem diferenças nos resultados com relação à maior ou menor distância do radar.

A fim de validar a técnica PMM, dados horários de chuva provenientes das “novas estações” de superfície foram usados dentro do mesmo período de 00Z 01 de dezembro de 2008 até 23Z 28 de fevereiro de 2009. Dados de refletividade obtidos de CAPPI 3 km do pixel exatamente acima das “novas estações” foram obtidos e convertidos para chuva em unidades de mm/h usando MP e por fim acumulados em uma hora. Estes mesmos dados foram então ajustados usando o fator de correção anteriormente determinado. Desta forma obtivemos dois conjuntos de estimativas de chuva, o primeiro usando MP e o segundo a técnica PMM.

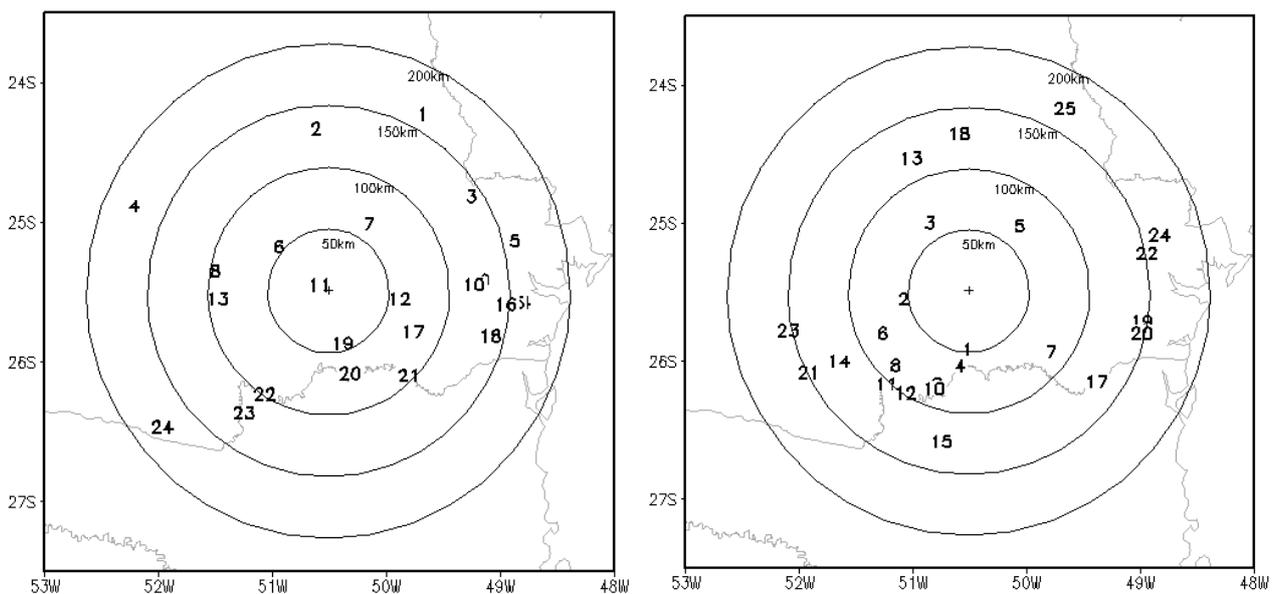


Figura 3 – Esquerda: estações usadas para obtenção das curvas de freqüência acumulada e fatores de correção. Direita: “novas estações” usadas para avaliação dos resultados e que não se encontram no primeiro conjunto de estações.

Os dados de chuva das “novas estações” e do radar (MP e PMM) foram acumulados em 24 horas. A fim de verificar a eficácia desta técnica calculamos a média de chuva espacial obtida pelo radar usando MP e PMM, e por fim comparamos com a média espacial apresentada pelas estações. Para estes mesmos conjuntos de dados ainda calculamos o coeficiente de correlação (Corr), o valor esperado [estação/radar] (E) e o erro médio (ME):

$$\text{Corr} = \frac{\text{cov}(\text{rad}, \text{est})}{\sqrt{\text{var}(\text{rad}) \cdot \text{var}(\text{est})}} \quad (1)$$

$$E [\text{estação/radar}] = \frac{\sum [\frac{est_i}{rad_i}]}{N} \quad (2)$$

$$ME = \frac{1}{N} \sum_1^N (rad_i - est_i) \quad (3)$$

### 3. RESULTADOS

Para os meses de verão/2008-09 verificamos de modo geral que a técnica PMM melhorou as estimativas de chuva por radar para o Estado do Paraná. Nas tabelas 1 e 2 a seguir apresentamos os resultados de Corr, E e ME, além da média espacial de chuva. Os mesmos foram calculados usando as estimativas horárias obtidas por MP (e por PMM) assim como as observações horárias de chuva nas estações em superfície disponíveis durante todo o período de dezembro/2008 a fevereiro/2009. Comparando as tabelas 1 e 2 verificamos que a média espacial usando PMM está muito próxima daquela obtida em superfície e que o valor de E tornou-se bem próximo do valor ideal 1, além do aumento no coeficiente de correlação entre radar e estações e da diminuição no erro médio entre os mesmos.

Tabela 1. Índices para o período de verão/2008-09. Estimativas de chuva por radar usando MP.

Chuva média espacial (estações)	Chuva média espacial (radar)	E[estação/radar]	ME	CORR
12mm	2,6mm	8,4	-9,4mm	+0,59

Tabela 2. Índices para o período de verão/2008-09. Estimativas de chuva por radar usando PMM.

Chuva média espacial (estações)	Chuva média espacial (radar)	E[estação/radar]	ME	CORR
12mm	13mm	1,4	1mm	+0,65

Apresentaremos aqui dois dias em que houve registro de chuvas dentro do período de 24 horas sobre a área de cobertura de 200 km do radar. Estes dias representam bem os resultados encontrados de forma geral para o período do verão.

No dia 11 de janeiro de 2009 foram detectadas tempestades e descargas atmosféricas durante toda a madrugada sobre o Estado do Paraná. Após as 16 horas houve novamente registros de chuva

sobre a maioria das cidades. Neste mesmo dia na capital Curitiba os ventos apresentaram-se moderados durante toda a tarde. Pela figura 4 é possível verificar a situação sinótica sobre o Estado por volta das 5 horas da manhã.

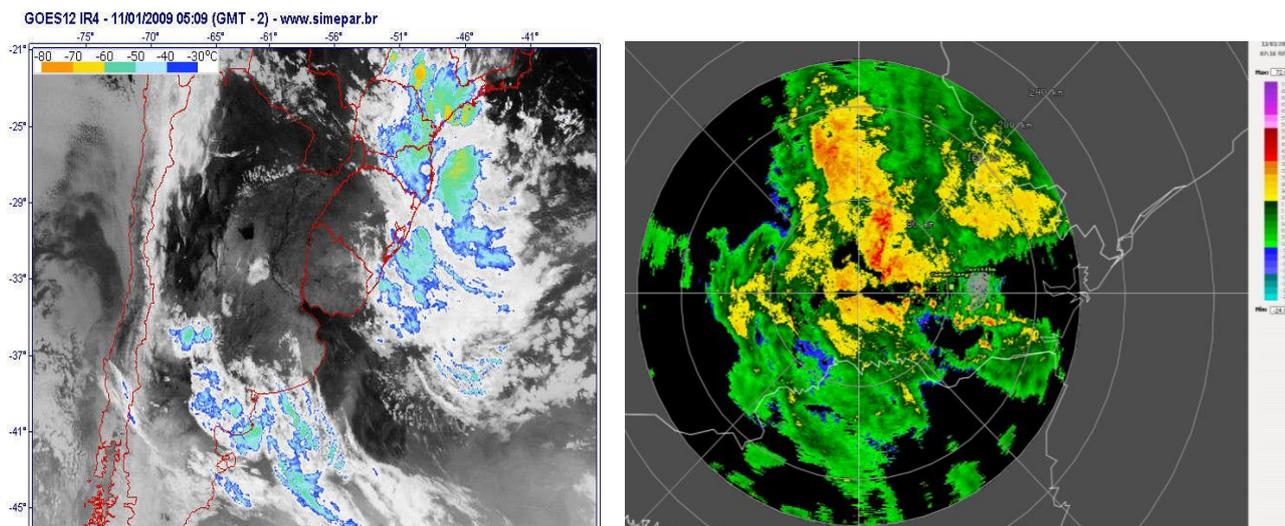


Figura 4 – Situação sinótica para o Estado do Paraná em torno das 5 horas da manhã do dia 11 de janeiro de 2009.

Para esta data verificamos a partir dos dados horários que a precipitação média espacial estimada pelo radar usando PMM está muito próxima daquela apresentada pelas estações de superfície (tabela 3). Os demais índices (Corr, E, ME) também melhoraram consideravelmente com a técnica PMM em relação às estimativas usando MP. O valor esperado  $E=1.4$  encontra-se bem próximo do valor ideal 1, enquanto que usando MP o mesmo foi de 8. Além disso, o erro médio (ME) também diminuiu consideravelmente em relação ao MP. Abaixo a figura 5 mostra ainda os campos de precipitação para as 07Z usando MP e PMM, respectivamente, assim como os valores de chuva registrados nas estações de superfície. Houve maior concordância entre as observações e as estimativas para a técnica PMM.

Tabela 3. Índices para estimativas de chuva por radar usando MP e PMM para o dia 11.01.2009.

	Chuva média espacial (estações)	Chuva média espacial (radar)	E[estação/radar]	ME	CORR
MP	1,95mm	0,38mm	8	-1,56mm	+0,5
PMM	1,95mm	2,2mm	1,4	0,29mm	+0,51

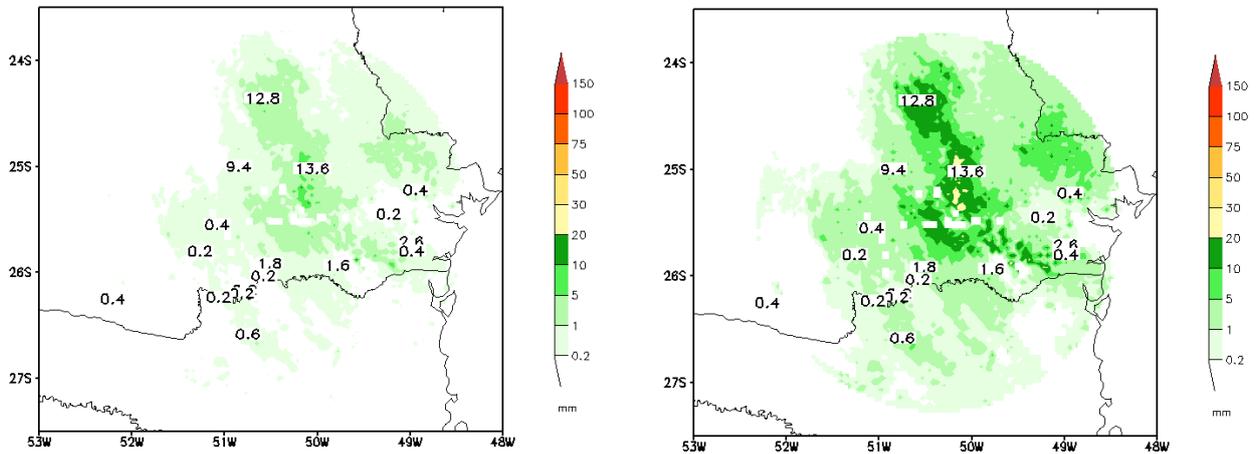
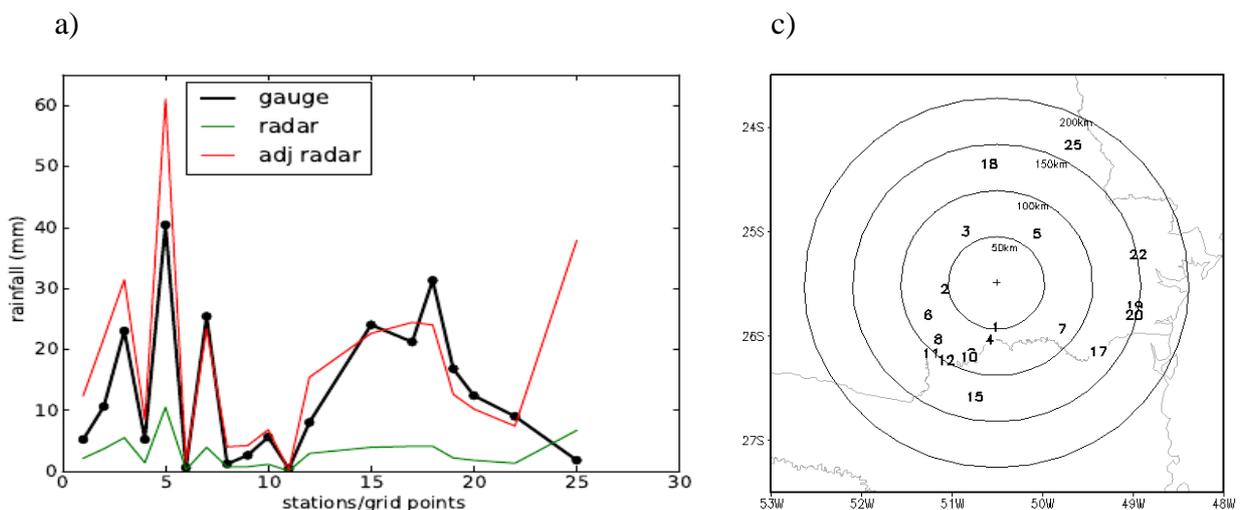


Figura 5 – Esquerda: estimativa de chuva por radar usando MP para as 07Z do dia 11 de janeiro de 2009. Direita: estimativa de chuva por radar usando PMM para a mesma data. Os valores em preto mostram os registros de chuva nas estações de superfície.

Analisando os totais acumulados de chuva para o dia todo nas estações de superfície e nos pixels exatamente acima dos mesmos vemos que para a grande maioria das estações as estimativas de radar ajustadas concordam muito bem com os valores registrados na superfície (figura 6a). Para as estações 1 a 5 (localização na figura 6c) as estimativas ajustadas (em vermelho na figura 6a) superestimaram um pouco a precipitação, assim como para a estação 25, que é a mais distante do radar. Para as demais, no entanto, houve boa concordância entre estimativas e observações. O gráfico da figura 6b confirma estes resultados, onde os valores de E para os dados ajustados (em vermelho) estão muito próximos do valor ideal 1. O mesmo não é verificado para os dados usando MP (em verde) que apresentam de maneira geral valores muito superiores para todas as estações.



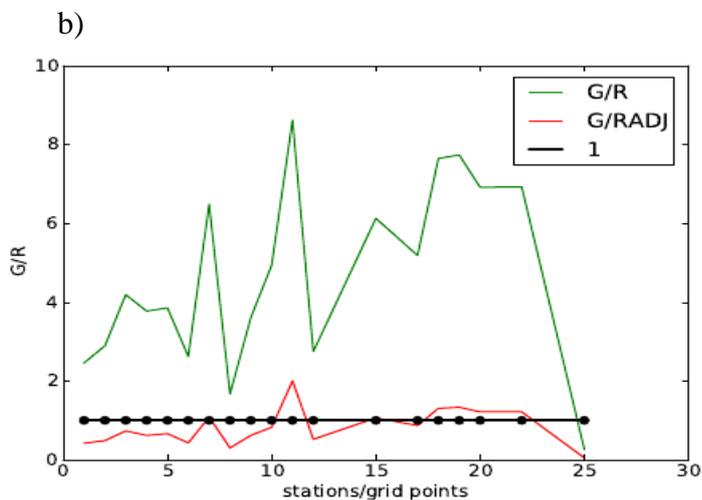


Figura 6 – a) Chuva diária em mm para o dia 11 de janeiro de 2009. Em preto a chuva obtida pelas estações que estão representadas no eixo x e sua localização mostrada na figura c. Em verde as estimativas por radar usando MP e em vermelho as estimativas usando PMM. b) Em verde o valor esperado [estação/radar] para estimativas usando MP e em vermelho o mesmo índice para estimativas de radar usando PMM. c) Localização das estações que captaram chuva  $\geq 0.2\text{mm/h}$  para o dia acima mencionado.

O segundo caso que será apresentado aqui é do dia 11 de fevereiro de 2009, quando havia sobre o extremo sul do Brasil uma frente fria que avançava em direção ao Estado do Paraná e que alcançou o mesmo no final da tarde. Chuvas foram registradas em grande parte do Estado já durante todo o dia. A imagem na figura 7 mostra a localização do sistema frontal logo no início da madrugada. Os índices calculados para este dia assim como os campos de precipitação para as 19Z são apresentados pela tabela 4 e figura 8, respectivamente.

Pela tabela 4 vemos que as médias espaciais de chuva do radar ajustado e das estações apresentam valores muito próximos entre si, enquanto que o oposto é verificado para MP. Vale ainda ressaltar que o valor de E também diminuiu de 16 para 2.6 quando os dados foram ajustados pelo fator de correção. Os campos de chuva das 19Z também reforçam o fato de que PMM tem melhorado as estimativas por radar para o Estado durante o verão.

Analisando os acumulados diários para cada estação de superfície e para cada correspondente pixel imediatamente acima verificamos (figura 9a e 9c) que as estimativas de radar usando PMM melhoraram em relação ao MP, mas superestimam um pouco a chuva para as estações mais próximas do radar, enquanto que os melhores resultados aparecem para as localidades mais distantes. Entre as estações 20 e 25 ocorreram as melhores concordâncias entre radar e superfície.

No entanto, de maneira geral as estimativas ajustadas se tornaram muito melhores do que aquelas obtidas por MP. Isto pode ser visto pelo gráfico da figura 9b, onde a curva vermelha (PMM) está muito próxima da curva ideal 1 (preta), enquanto que a verde (MP) apresenta valores muito maiores de E.

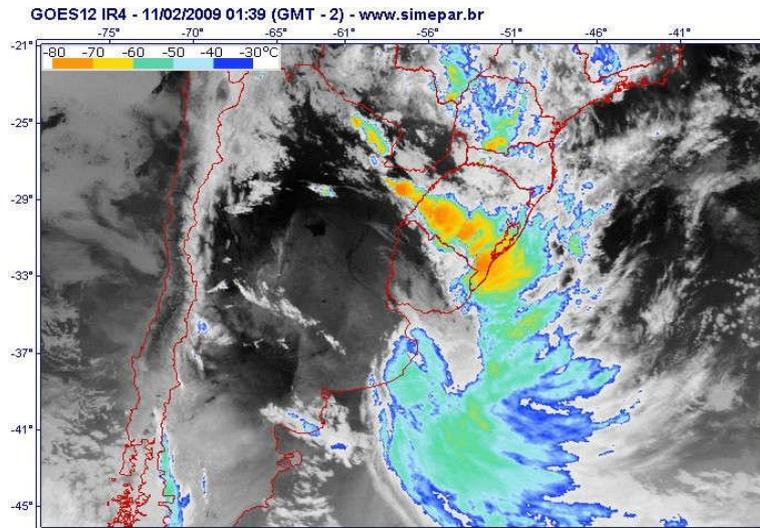


Figura 7 – Situação sinótica para o Estado do Paraná em torno de 01h39min do dia 11 de fevereiro de 2009.

Tabela 4. Índices para estimativas de chuva por radar usando MP e PMM para o dia 11.02.2009.

	Chuva média espacial (estações)	Chuva média espacial (radar)	E[estação/radar]	ME	CORR
MP	2,4mm	0,65mm	16	-1,78mm	+0,3
PMM	2,4mm	3,5mm	2,6	1,1mm	+0,3

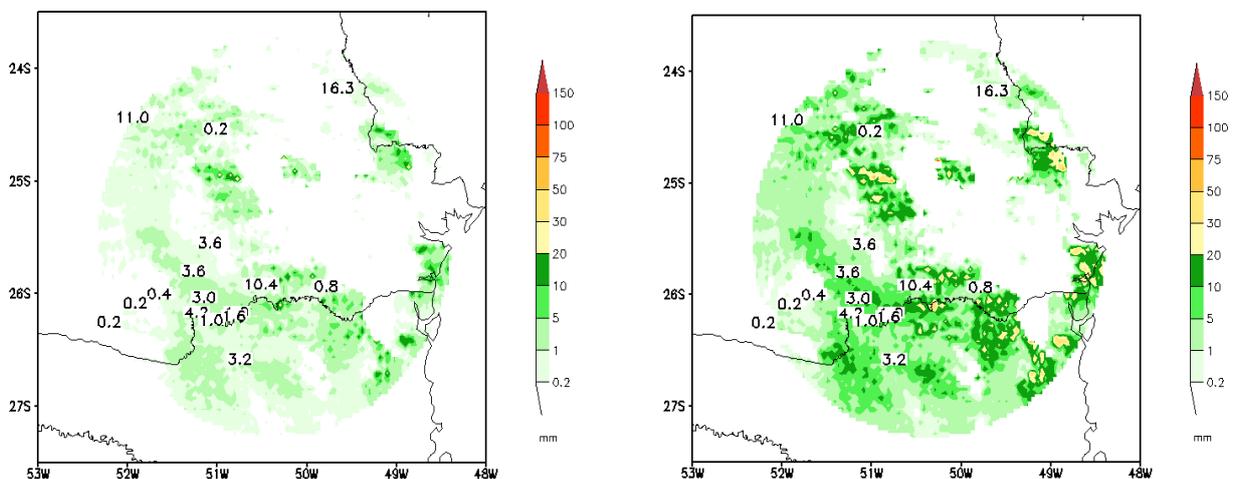


Figura 8 – Esquerda: estimativa de chuva por radar usando MP para as 19Z do dia 11 de fevereiro de 2009. Direita: estimativa de chuva por radar usando PMM para a mesma data. Os valores em preto mostram os registros de chuva nas estações de superfície.

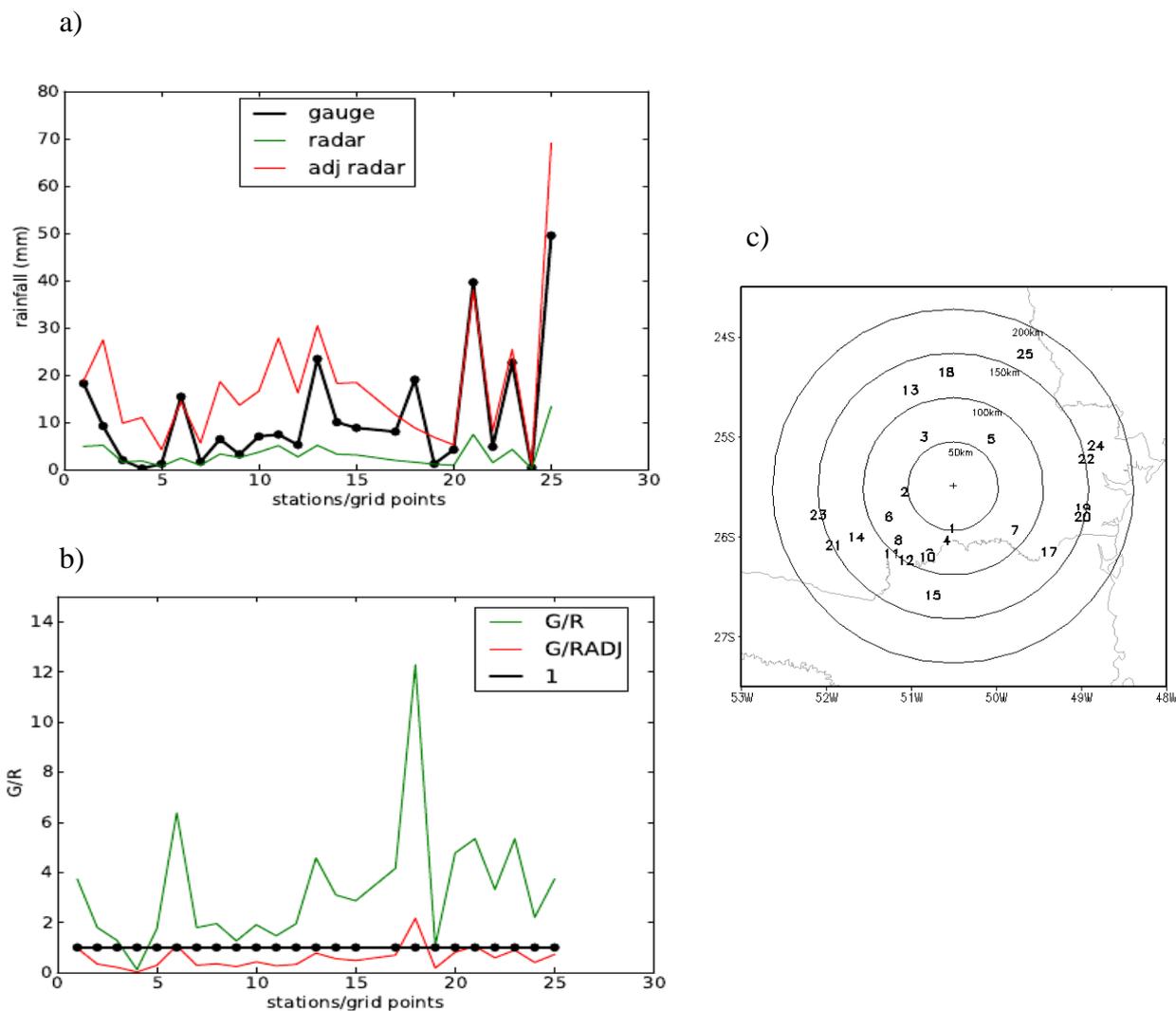


Figura 9 – a) Chuva diária em mm para o dia 11 de fevereiro de 2009. Em preto a chuva obtida pelas estações que estão representadas no eixo x e sua localização mostrada na figura c. Em verde as estimativas por radar usando MP e em vermelho as estimativas usando PMM. b) Em verde o valor esperado [estação/radar] para estimativas usando MP e em vermelho o mesmo índice para estimativas de radar usando PMM. c) Localização das estações que captaram chuva  $\geq 0.2$  mm/h para o dia acima mencionado.

#### 4. CONCLUSÕES E DISCUSSÕES FINAIS

Nós reconhecemos que o período de dados utilizado neste estudo é bastante reduzido, no entanto suficiente para mostrar que a técnica PMM melhora consideravelmente as estimativas de chuva por radar para o Estado do Paraná durante o verão, quando as chuvas são frequentemente causadas por sistemas convectivos de mesoescala.

De maneira geral as estimativas ajustadas concordam bem mais com os registros de chuva feitos pelas estações de superfície do que as estimativas obtidas usando MP. O valor esperado de [estação/radar] apresentou para todos os eventos de chuva e para todas as localidades analisadas valores muito próximos do valor ideal 1, enquanto o mesmo não se verificou usando MP. No entanto também verificamos para alguns dias específicos que em localidades muito distantes do radar nem sempre houve boa concordância entre as estimativas ajustadas e os dados observados. Por outro lado, é importante salientar que durante os eventos de chuva mais extremos sobre o Estado a técnica PMM apresentou bom desempenho para a área analisada no range de 200 km do radar.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brock, F.V.; Fredrickson, S. (1993). “*Oklahoma mesonet data quality assurance.*” Preprints, Eighth Symp. on Meteorological Observations and Instruments, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 311-316.

Collier, C.G.; Larke, P.R.; May, B.R. (1993). “*A weather radar correction procedure for real-time estimation of surface rainfall.*” Quart. J.R. Met. Soc., 109, 589-608.

Collier, C.G.; Hawnt, R.; Powell, J. (2010). “*Real-time adjustment of radar data for water management systems using a PDF technique: The city RainNet Project.*” The sixth European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology.

Krajewski, W. F., Villarini, G. and Smith, J. A. (2010). “*Radar-rainfall uncertainties. Where are we after thirty years of effort?*” *Bull. Am. Met. Soc.*, **91**, 87-94.

Rosenfeld, D.; Atlas, D.; Wolff, D.B.; Amitai, E. (1994). “*The window probability matching method for rainfall measurement with radar.*” *J. Appl. Met.*, 33, 93-111.