



PRPG | Pré-Reitoria de Pós-Graduação  
PIBIC/CNPq/UFCA-2009

## Ajuste da equação de radar de tempo para um evento de precipitação a partir da formulação de um problema inverso.

Laryssa Galdino Tertuliano<sup>1</sup> Rômulo da Silveira Paz<sup>2</sup> Fabíola de Souza Silva<sup>3</sup>

### RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de determinar um novo parâmetro para equação de radar, a atual equação é baseada nos parâmetros de Marshall-Palmer e serve para determinar a quantidade de chuva baseado em dados medidos pelo radar. Porém, quando essa quantidade de chuva foi comparada, com a medição do pluviômetro, notou-se uma disparidade entre as medidas e por isso entendeu-se a necessidade de ajustar a equação de radar a um novo parâmetro, que contemplasse um resultado mais próximo com a real quantidade de chuva. O novo parâmetro foi determinado através de um processo inverso muito simples, usando dados de uma precipitação ocorrida em 2001, para nos garantir a eficácia do novo parâmetro. Verificou-se que houve diminuição da diferença entre as curvas que representavam a quantidade de precipitação calculada pelo radar e a medida pelo pluviômetro, ou seja, a disparidade foi reduzida de modo satisfatório. Verificou-se ainda que o modelo proposto por Paz ajustou-se bem aos dados de eventos de precipitação de janeiro de 2001, podendo também ser usado para quaisquer outros dados de precipitação.

**Palavras-chave:** refletividade, parâmetros, radar meteorológico

### ABSTRACT

This work aimed to determine a new parameter for the radar equation, the current equation is based on the parameters of Marshall-Palmer and serves to determine the amount of rainfall based on data measured by radar. However, when this amount of rainfall was compared with the measurement of ombrometer, it was noted a disparity between the measures and therefore was understood the need to adjust the radar equation for a new parameter that includes a result closer to the real amount of rain. The new parameter was determined through a very simple reverse process, using data from a precipitation occurred in 2001, to ensure the effectiveness of the new parameter. It was found that there was a decrease of the difference between the curves representing the amount of rainfall measured by radar and by ombrometer measure, ie the gap was reduced from satisfactory mode. It was also found that the model proposed by Paz fitted well to data of events of precipitation January 2001, may also be used for any other data of precipitation.

**Keywords:** reflectivity, rainfall rate, meteorological radar

### INTRODUÇÃO

O dado do Radar meteorológico é usado para detectar a presença de chuva e para estimar sua intensidade a partir do eco recebido. Os distintos modelos e formas de apresentação auxiliam os meteorologistas a identificar situações de tempo particulares devido a capacidade de estimação da intensidade de precipitação sobre extensas áreas. O Radar desempenha, assim, um importante papel no monitoramento das situações de tempo que podem resultar em sérias conseqüências devido às precipitações severas. O radar tem habilidade para detectar relâmpagos a uma distância de 100Km e indicar a

<sup>1</sup> [galdino.met@gmail.com](mailto:galdino.met@gmail.com)

<sup>2</sup> [romulo@dca.ufcg.edu.br](mailto:romulo@dca.ufcg.edu.br)

<sup>3</sup> [fabiola.ssilva@hotmail.com](mailto:fabiola.ssilva@hotmail.com)

possibilidade de tempestade que represente risco a 250Km ou mais limitado principalmente pela curvatura da Terra.

Vários valores empíricos para os coeficientes  $a$  e  $b$ , da relação Z-R, isto é, a medida do radar e os valores de taxa de precipitação, tem sido propostos. O radar do IPMet usa os valores determinados por Marshall-Palmer (1948),  $a=200$ ,  $b=1,6$ , para chuva estratiforme. Calheiros and Zawadzki(1987), usaram um método de soma de probabilidades para ajustar a relação Z-R do conjunto de dados coletados pelo radar de Bauru (banda C) em chuva convectiva. Eles apresentaram diferentes valores para os parâmetros  $a$ ,  $b$ , dependendo da posição do radar e da localização da precipitação. Aspectos micro físicos relacionados a Z foram discutidos por Steiner ET AL (2004) a partir do uso de métodos inversos. Eles definiram três condições micro físicas para a distribuição do tamanho das gotículas. A primeira condição define que toda variabilidade da distribuição é controlada pela variação do número de concentração. A segunda, o controle é influenciado por ambas condições. Eles concluíram que mesmo usando técnicas matemática e estatística modernas, como a análise inversa, incertezas da medida serão sempre influenciadas pelas limitações no que concerne a comparação da medida do radar e a medida do pluviômetro.

Fiser (2004), usando dados de radar coletados durante um ano a cidade de Praga, República Tcheca, tentou melhorar a relação Z-R usando a lei de potência e polinômio de segunda ordem. Ele concluiu que, embora sem chegar a um melhor desempenho da equação do radar de tempo, o uso de técnica de comparação da distribuição do tamanho da gotícula com a chuva coletada conduz a uma melhor estimativa da precipitação. Paz ET AL (2008) utilizou dados do radar de Bauru, referentes aos meses de janeiro e fevereiro de 1994 a 2004, para identificar os parâmetros da equação do radar de tempo a partir de um problema inverso. Neste trabalho, a mesma metodologia é seguida, porém limitado a um evento de precipitação, buscando um melhor ajuste da relação Z-R, em relação a praticada no centro de operação do Instituto de Pesquisas Meteorológicas, IPMet/UNESP. Assim, é efetuado como um problema inverso de Identificação de parâmetros. Primeiro, um problema direto relacionando o retorno do radar a taxa de precipitação medida no pluviômetro, localizado na cidade de Botucatu, a 95Km da posição do radar, é apresentando. Segundo, o algoritmo inverso de Levenberg Marquardt, disponível em bibliotecas computacionais (Press ET AL., 1992), usado para identificar parâmetros, é descrito e sua aplicação, discutida. Terceiro, uma análise de sensibilidade aos parâmetros, seguindo, Beck and Arnold (1977), para testar a influência dos parâmetros sobre a precipitação calculada pelo modelo. A análise da sensibilidade permite estabelecer as condições de aplicação do método. Finalmente, uma avaliação do método é apresentada, através o uso de dados de precipitação e medidas da refletividade para recuperar os valores dos parâmetros.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo vinculou-se a análise de um evento de precipitação ocorrido no mês de janeiro de 2001. Os dados usados neste trabalho foram coletados pelo radar *Doppler* localizado na cidade de Bauru (Altitude 620m, Latitude 22°35'S, Longitude 49°03' W). Este meteorológicas) e faz parte de uma rede de dois radares Doppler, sendo operado continuamente com varreduras de 7,5 a 15 minutos, ocorrendo precipitação, com um alcance de 240Km, compreendendo 11 PPIs entre 0,3° e 34,9° de elevação. A largura do raio é de 2° e a resolução de 1Km<sup>2</sup> de 1° azimute.



Figura 1 – Mapa do estado de São Paulo, mostrando as principais cidades e localização do radar.

A técnica de Levenberg-Marquardt é um padrão virtual em otimização não linear, que efetua de forma eficiente os métodos do gradiente conjugado e gradiente descendente para problemas de tamanho médio. É um pseudométodo de segunda ordem, ou seja, ele trabalha apenas com funções de avaliação e informação do gradiente, mas estima a matriz de Hessian usando a soma de outros produtos do gradiente. Para a função de mérito  $\chi^2$

$$\chi^2(\beta) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{y_i - \eta_i(\gamma, \beta)}{\delta_i} \right]^2$$

onde,  $y_i$  é um valor experimental da variável  $\gamma$ ,  $\delta_{ij}$  corresponde ao desvio padrão,  $\eta_i(\gamma, \beta)$  valores da variável calculada pelo modelo teórico e  $\beta = (\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_m)$  os parâmetros conhecidos do modelo. Press ET AL (1992).

Esse processo é repetido até a convergência. Os dois métodos acima descritos têm problemas, (1) o método do maior passo descendente não tem uma boa forma de determinar o comprimento do passo. (2) o método de Newton é baseado na solução de um sistema linear. Para ser invertida a matriz tem que ser singular. (3) Além disso, o início é próximo ao mínimo. O método de Newton às vezes conduz a oscilações divergentes que podem sair de qualquer resposta. Isto é, ele super dimensiona o “chute” e, então, efetua a sobre-compensação.

A formulação inversa é dada pela relação

$$R_i = f(Z_i, a, b) \tag{2}$$

O ajuste da função de mérito  $S^2$  pode ser escrito para a precipitação na forma

$$S^2(\beta) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{R_{\text{modelo}} - R_{\text{medido}}}{\delta_i} \right]^2$$

Os dados obtidos foram submetidos a uma análise de consistência baseado nos critérios convencionais dentro das normas práticas da meteorologia operacional. O processo de identificação requer uma preliminar análise da sensibilidade da variável estimada pelo modelo em função dos parâmetros objeto da identificação. O coeficiente de sensibilidade reduzido é então calculado e graficamente apresentado para possibilitar a satisfatória aplicação do método.

A formulação direta do problema é representando pela equação empírica (4), que relaciona o sinal do radar a taxa de precipitação, como segue:

$$Z = aR^b \tag{4}$$

Onde Z (dBZ) é a refletividade medida pelo radar e R é a correspondente taxa de precipitação (mm/h) medida pelo pluviômetro.

Um código de linguagem FORTRAN foi desenvolvido para calcular o coeficiente de sensibilidade. A Figura 2 mostra menores valores de sensibilidade à baixa frequência. O coeficiente de sensibilidade, definido pela derivada parcial em relação aos parâmetros a e b, aqui representados  $\beta_i, i = 1,2,3,..k$ , (5) significa a resposta do modelo teórico para calcular a taxa de precipitação (R), devido a uma finita variação dos parâmetros.

$$\chi_i \beta_i = \partial R(\beta_i) / \partial \beta_i \tag{5}$$

$\beta$  é um vetor de n componentes,  $\chi_i$  indica a variação de R quando  $\beta_i$  experimenta uma variação infinitesimal. O coeficiente de sensibilidade depende do valores de cada parâmetro. A comparação de valores diferentes de  $\chi_i$  deve ser efetuada a partir do coeficiente adimensional. Definido como:

$$\chi_i(\beta_i) = \beta_i \chi_i(\beta_i) = \partial R(\beta_i) / (\partial \beta_i / \beta_i) \tag{6}$$

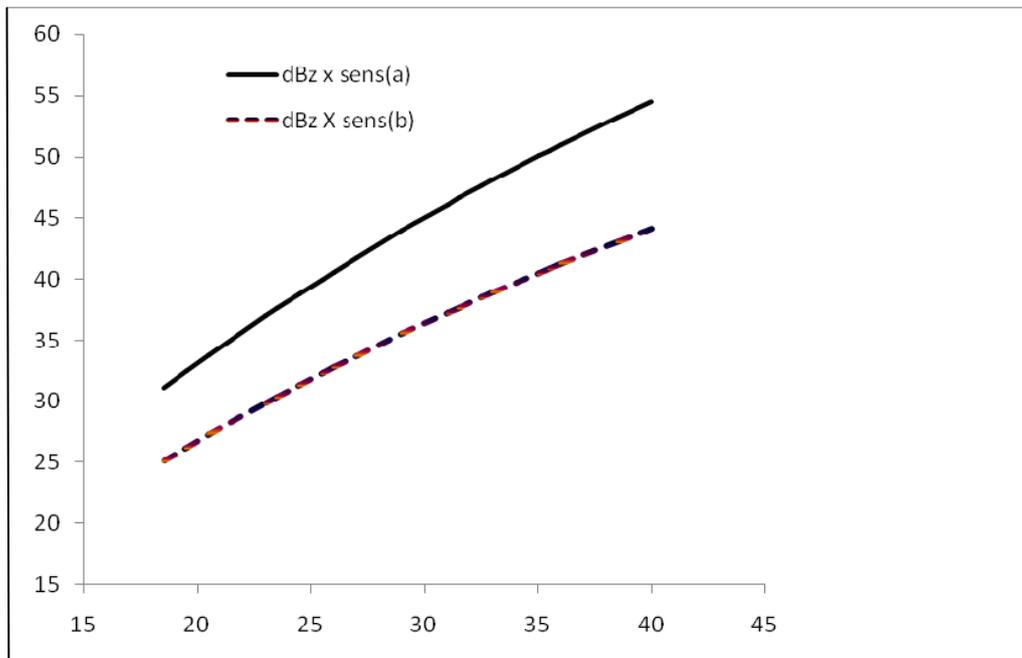


Figura 2 – Coeficientes de sensibilidade aos parâmetros a, b



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura-3 mostra os valores observados da taxa de precipitação medida pelo pluviômetro, que se encontra próximo ao radar doppler, no entanto o pluviômetro mede a quantidade de chuva em um ponto fixo enquanto que o radar mede para um área maior, por isso compreende-se que uma certa diferença entre a quantidade da mesma chuva medida pelo pluviômetro e a medida pelo radar é aceitável, visto que radar e pluviômetro têm especificidades distintas.

O gráfico mostra ainda os valores modelados antes e após a identificação dos parâmetros, antes com o parâmetro proposto por Marshall-Palmer. Nota-se que o ajuste simultâneo dos parâmetros oferece uma melhor resposta para o ajuste da equação de tempo do radar em relação aos resultados obtidos a partir da equação do radar com os parâmetros de Marshal-Palmer. Fica entendido que como Paz ET AL, outros pesquisadores ou até os mesmos, podem encontrar outros ajustes que evidenciem cada vez mais a eficiência do método inverso. Afinal o objetivo é que as previsões propostas pelo radar se aproximem o máximo possível da real quantidade de chuva que o pluviômetro capta.

O resultado é considerado bom e aceitável pois utilizou-se de dados de um evento de precipitação já ocorrida e portanto, dados históricos comprovam que a com o ajuste de equação chegou-se mais próximo da quantidade de chuva que realmente precipitou.

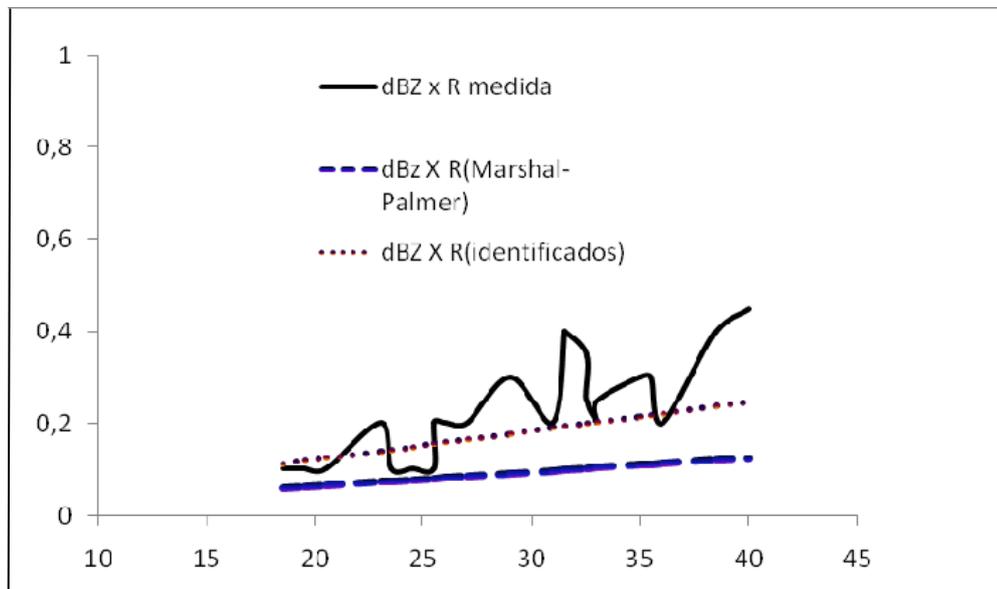


Figura 3 – Curva dos valores modelados da taxa de precipitação, R, com os parâmetros identificados, com os parâmetros de Marshal-Palmer e valores da taxa de precipitação medidos com o pluviômetro.

## CONCLUSÕES

Embora o aparente desvio entre os valores medidos e modelados, decorrentes da limitação do modelo bem como das incertezas da experimentação, os resultados se mostraram amplamente satisfatórios, atestando significativamente a eficácia da utilização da análise inversa para o propósito do trabalho. O ajuste simultâneo dos parâmetros resultou nos valores de  $a = 200$  e  $b = 0,81$ . Como já afirmado, levando-se em consideração que as medidas de taxa de precipitação por radar e pluviômetro apresentam diferentes características nas suas sistemáticas, pode se afirmar, pelo resultado que o mesmo foi bastante significativo, ensejando a expectativa de um melhor ajuste em face de esperada diminuição do erro produzido pela medida do radar.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALHEIROS, R. V.; ZAWADZKI, I., 1987: Reflectivity-rain rate relationships for radar hydrology in Brazil. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Boston, v. 26, p. 118-132.

BECK, J. V. ARNOLD, K. J., *Parameter estimation in engineering and sciences*, John Wiley and Sons, New York, 1977.

FISER, O., 2004: Z-R radar Reflectivity-Rain rate relationships derived from Czech distrometer data. In: *EUROPEAN CONFERENCE ON RADAR IN METEOROLOGY AND HYDROLOGY – ERAD*, 3., 2004, Visby. *Proceedings...* Visby: [s.n.], p. 233-236

MARSHALL, J. S.; PALMER, W. M. K., 1948: The distribution of raindrops with size. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 5, p. 165-166.

PRESS, W. H., TEUKLSKY, S. A., VETTERLING, E., and FLANNERY, P. B., (1992) *The art of scientific computing*, second edition, Cambridge University Press, New York.

STEINER, M.; SMITH, J. A.; UIJLENHOET, R., 2004: A microphysical interpretation of radar reflectivity-rain rate relationships. *Journal Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 61, p. 1114-1131.