

Estimativa de precipitação utilizando radar meteorológico banda S na Amazônia Oriental

Daniele Santos Nogueira ¹
Marcio Nirlando Gomes Lopes ¹
Alen Costa Vieira ¹
Rennon Gabriel Gomes de Oliveira ¹
Nilzele de Vilhena Gomes Jesus ¹

¹ Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia – CENSIPAM
Centro Regional de Belém
Av. Júlio César, 7060 - 13416-000 - Belém - PA, Brasil
daniele.nogueira@sipam.gov.br
marcio.lopes@sipam.gov.br
alen.vieira@sipam.gov.br
rennon.oliveira@sipam.gov.br
nilzele.jesus@sipam.gov.br

Abstract. More accurate estimates of precipitation using radar data are essential for the use in hydrological models and for the efficiency in the emission of weather alerts based upon nowcasting. Meteorological S-band radar data have been used to estimate precipitation in selected points of the radar area, corresponding to the locations of rain gauges, installed in the automatic meteorological stations of Cametá, Tomé-Açu and Soure,. This study has been developed for the period of July of 2014, which is climatologically considered a month of transition between the wet season and the dry season of the Eastern Amazon region. The comparison between radar data and rain gauge data has been carried out in order to verify the suitability of Marshall-Palmer (MP) Z-R relationship for this region and to calibrate a new Z-R relationship for this radar, considering the ones performed in previous studies, such as the one for tropical rain, for convective precipitation and for rain from a thunderstorm. It was possible to verify that the MP Z-R relationship underestimated the rain for this period. In addition, the convective Z-R relationship, which has been tested for these data, seemed to be the most suitable for this region in this time of the year.

Palavras-chave: Z-R relationship, radar calibration, nowcasting, hydrological models, relação Z-R, calibração de radar, modelos hidrológicos, previsão meteorológica de curto prazo.

1. Introdução

Nos últimos 70 anos, o radar meteorológico se tornou uma ferramenta importante e bastante utilizada para o monitoramento de tempestades e a previsão de tempo de curto e curtíssimo prazo (*nowcasting*). Muitos estudos passaram a relacionar a refletividade medida pelo radar com a distribuição de tamanho de gotas (Marshall et al., 1947). Através de algumas considerações físicas e artifícios matemáticos, chegou-se à relação Z-R, que associa a refletividade com a taxa de precipitação (em mm/h). Uma das relações Z-R mais utilizada nos dias de hoje foi obtida por Marshall e Palmer (Marshall e Palmer, 1948).

Embora o radar meteorológico seja uma ferramenta fundamental para o monitoramento de tempestades e seus dados possuam diversas aplicações, existem algumas fontes de erro para as estimativas de precipitação por radar, tais como a propagação anômala do feixe, diferenças de amostragem entre o radar e o pluviômetro e variações nas relações Z-R (Wilson e Brandes, 1979). No que diz respeito às relações Z-R, é válido frisar que as nuvens apresentam variados tipos de hidrometeoros e tamanhos de gotas distintos, os quais interagem diferentemente com a radiação.

Apesar destas limitações, o radar permite o mapeamento da distribuição espacial da precipitação sobre grandes áreas. Por questões de fisiografia e logística, a instalação de pluviômetros torna-se difícil em algumas regiões. Além disso, o radar apresenta o

deslocamento e a intensificação ou dissipação de sistemas atmosféricos, o que o torna uma ferramenta muito útil para a previsão de tempestades severas e de enchentes de rios.

Uma maneira de realizar a calibração das estimativas de chuva do radar é efetuar a comparação com dados de superfície, medidos por pluviômetros, que é a proposta deste trabalho utilizando dados de um radar situado na Amazônia Oriental.

Na Amazônia, a precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para a definição de estações distintas ao longo do ano. Conhecer mais acuradamente a distribuição espacial deste campo sobre a região será de fundamental importância para melhorar a calibração de modelos numéricos de previsão de tempo e a eficiência na emissão de alertas meteorológicos, bem como para a aplicação em modelos hidrológicos de chuva-vazão.

2. Dados e Metodologia

Neste trabalho, foram utilizados dados do radar meteorológico banda S localizado em Belém-PA (latitude: 1,4067°S; longitude: 48,4618°W) e dos pluviômetros instalados nas estações meteorológicas automáticas de superfície do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) situadas nos municípios de Cametá (latitude: 2,2396°S; longitude: 49,4998°W), Soure (latitude: 0,7278°S; longitude: 48,5157°W) e Tomé-Açu (latitude: 2,5926°S; longitude: 48,3605°W). A área de varredura operacional do radar, que possui alcance radial de 240 km, pode ser observada na Figura 1, que também apresenta a localização de algumas estações meteorológicas automáticas na área de cobertura do radar.

Das estações meteorológicas em operação na área da varredura do radar, as estações de Cametá, Soure e Tomé-Açu foram selecionadas pelo fato de, para aquelas coordenadas, haver dados de refletividade do radar nos níveis verticais de interesse. Verificou-se que as demais estações não apresentaram dados nesses CAPPI (*Constant Altitude Plan Position Indicator*), provavelmente em função da presença de obstáculos que inibem ou dificultam a propagação do feixe de radiação do radar.

Para este estudo, foi selecionado o período do mês de julho de 2014. Este mês é climatologicamente considerado como um mês de transição entre as estações chuvosa e menos chuvosa da região.



Figura 1 – Área (amarelo) da varredura operacional do radar de Belém (PA), com alcance radial de 240 km. Os pontos verdes indicam a localização das estações meteorológicas automáticas de superfície do INMET. O ponto vermelho representa o radar de Belém.

Com o intuito de evitar a superestimativa de precipitação com os dados de refletividade próximos à banda brilhante, ou seja, nas imediações do nível de congelamento (Austin e

Bemis, 1950) e de impedir o elevado retorno da energia do radar por ocorrências de granizo, optou-se por realizar as análises nos CAPPI de 2,2 km, 2,7 km e 3,2 km. No entanto, na área do município de Cametá, não houve dados de refletividade a 2,2 km de altura.

Para efetuar a comparação dos dados de precipitação registrados à superfície, no pluviômetro, com a chuva estimada pelo radar, foram extraídos os pontos de grade referentes às coordenadas das estações da matriz de dados do radar gerada através do *software* TITAN (*Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting*; Dixon e Wiener, 1993). Foram utilizados nove pontos de grade para cada estação, formando uma matriz, que possui como ponto central aquele associado à localização da estação, conforme indica a Figura 2.

A relação Z-R padrão, configurada e utilizada pelo *software*, é a de Marshall-Palmer (Marshall-Palmer, 1948), que utiliza os valores de 200 e 1,6, como seus coeficientes *a* e *b* da relação, respectivamente ($Z = 200 R^{1.6}$). A taxa de precipitação, em mm/h, é calculada a cada varredura, que ocorre a cada 12 minutos. Em seguida, o valor de precipitação acumulado na varredura, em mm, é inferido, considerando o tempo de duração do volume varrido pelo radar, o que varia para cada dado, de acordo com a quantidade de alvos (nebulosidade) presentes na varredura.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Figura 2 – Matriz de dados do radar com nove pontos de grade, sendo o ponto central referente às coordenadas da estação meteorológica escolhida.

Os dados de radar e pluviômetros foram comparados através do método de regressão linear, em que o coeficiente angular foi utilizado para analisar o desempenho das estimativas de precipitação do radar, averiguando se houve subestimação ou superestimação dos totais horários de chuva ao longo do mês. Também se verificou qual CAPPI seria o mais adequado para empreender tais análises comparativas na região Amazônica.

Estimativas de precipitação baseadas em outras relações Z-R foram realizadas e comparadas. Foram três as relações Z-R escolhidas: para a região tropical (Rosenfeld et al., 1993), para a chuva convectiva (utilizada pelo WSR-88D) e para chuva de tempestades (Joss et al., 1970), conforme indicado na Tabela 1. A comparação entre o desempenho das relações Z-R também utilizou o método de regressão linear.

Tabela 1 – Relações Z-R utilizadas para análise comparativa com a relação Z-R de Marshall-Palmer.

Tipo de precipitação	Relação Z-R	Referência
Chuva tropical	$Z = 250 R^{1.2}$	Rosenfeld et al., 1993
Convectiva	$Z = 300 R^{1.4}$	WSR-88D
Chuva de tempestades	$Z = 500 R^{1.5}$	Joss et al., 1970

3. Resultados e Discussões

As relações entre os dados de chuva estimada pelo radar e os medidos por pluviômetro nos três CAPPI (2,2 km, 2,7 km e 3,2 km) foram bastante similares, não apresentando, portanto, diferenças significativas entre estes níveis.

Com coeficiente angular maior do que 1, foi possível notar que, em todos os nove pontos de grade de cada estação analisada, as estimativas de precipitação por radar estão subestimando a chuva registrada em superfície durante o mês de julho de 2014, conforme mostram as Figuras 3 e 4 para a estação de Cameté.

No caso das estações de Tomé-Açu e Soure, estas subestimativas da chuva foram muito mais elevadas, apresentando coeficiente angular acima de 7 para muitos pontos de grade, para a estação de Tomé-Açu (Figura 5), e acima de 45 para a estação de Soure (não apresentado aqui), o que parece indicar que algum tipo de obstrução ou propagação anômala deve ter comprometido os dados. Tais problemas serão investigados futuramente.

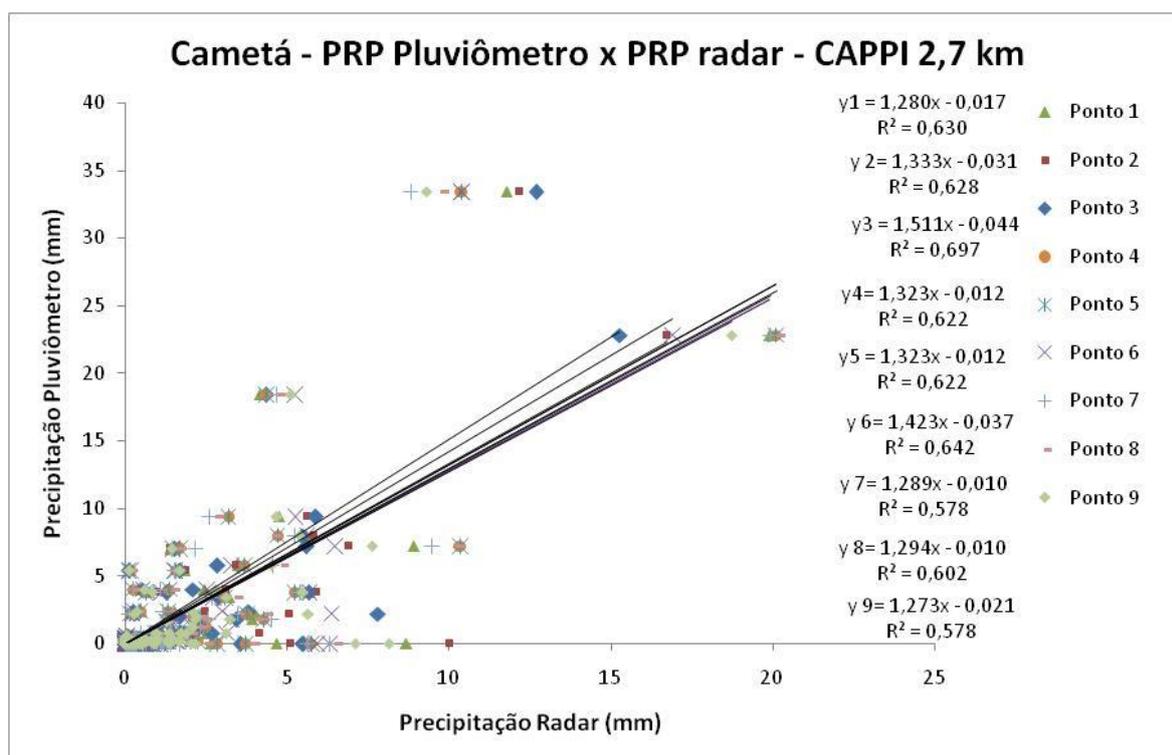


Figura 3 – Comparação entre os dados de precipitação medidos pelo pluviômetro e as estimativas de chuva por radar para os nove pontos de grade referentes à estação de Cameté, no CAPPI de 2,7 km.

Considerando o baixo desempenho das estimativas de chuva nas estações de Tomé-Açu e Soure, optou-se por testar outras relações Z-R utilizadas com sucesso em trabalhos anteriores somente para a estação de Cameté.

As relações Z-R para precipitação tropical, proposta por Rosenfeld et al. (1993), para chuva convectiva, utilizada pelos radares WSR-88D, nos Estados Unidos, e para chuva de tempestades, apresentada por Joss et al. (1970) foram aplicadas aos dados de refletividade do radar. As estimativas de chuva obtidas a partir destas relações foram, então, comparadas aos dados de pluviômetro. A relação Z-R de Marshall-Palmer também foi acrescentada no gráfico para efeito de comparação de seu desempenho com as demais relações.

A relação Z-R convectiva foi a que melhor ajustou as estimativas de chuva por radar aos dados de pluviômetro, apresentando um coeficiente angular de 0,944, no ponto de grande número 3, a nordeste da estação. No entanto, para todos os pontos de grade e para todas as relações Z-R testadas, o coeficiente de correlação ficou abaixo do desejado, entre 0,6 e 0,7.

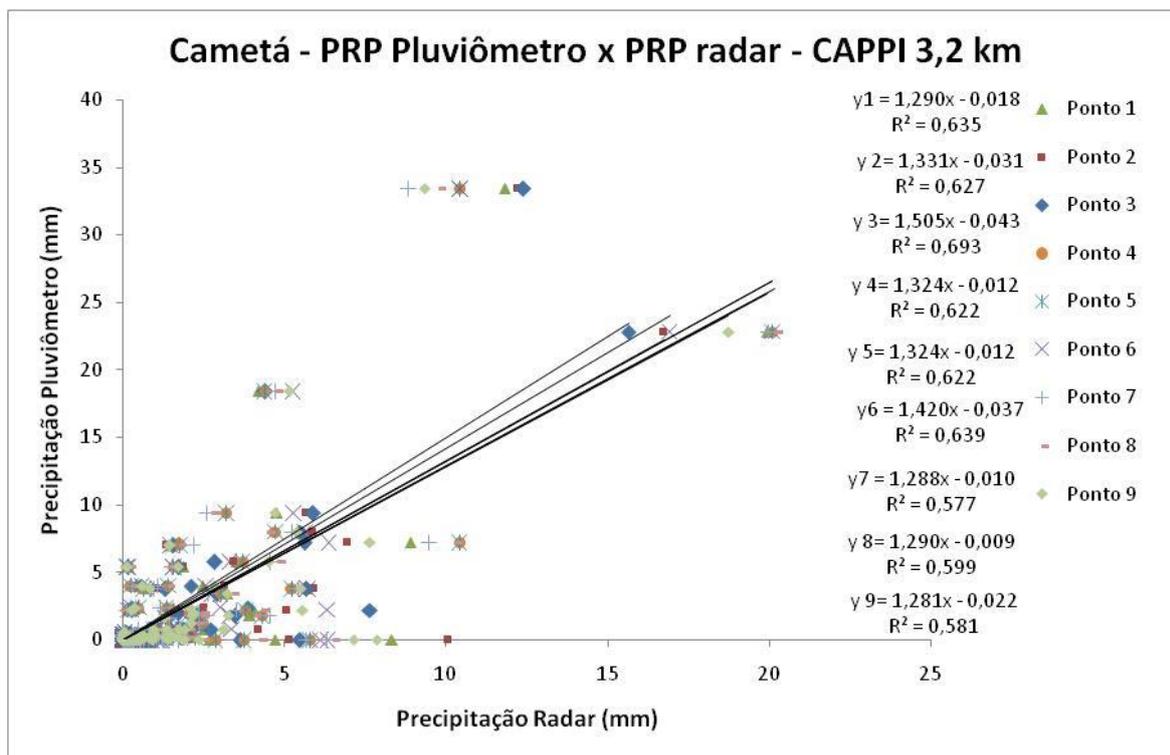


Figura 4 – Comparação entre os dados de precipitação medidos pelo pluviômetro e as estimativas de chuva por radar para os nove pontos de grade referentes à estação de Cameté, no CAPPI de 3,2 km.

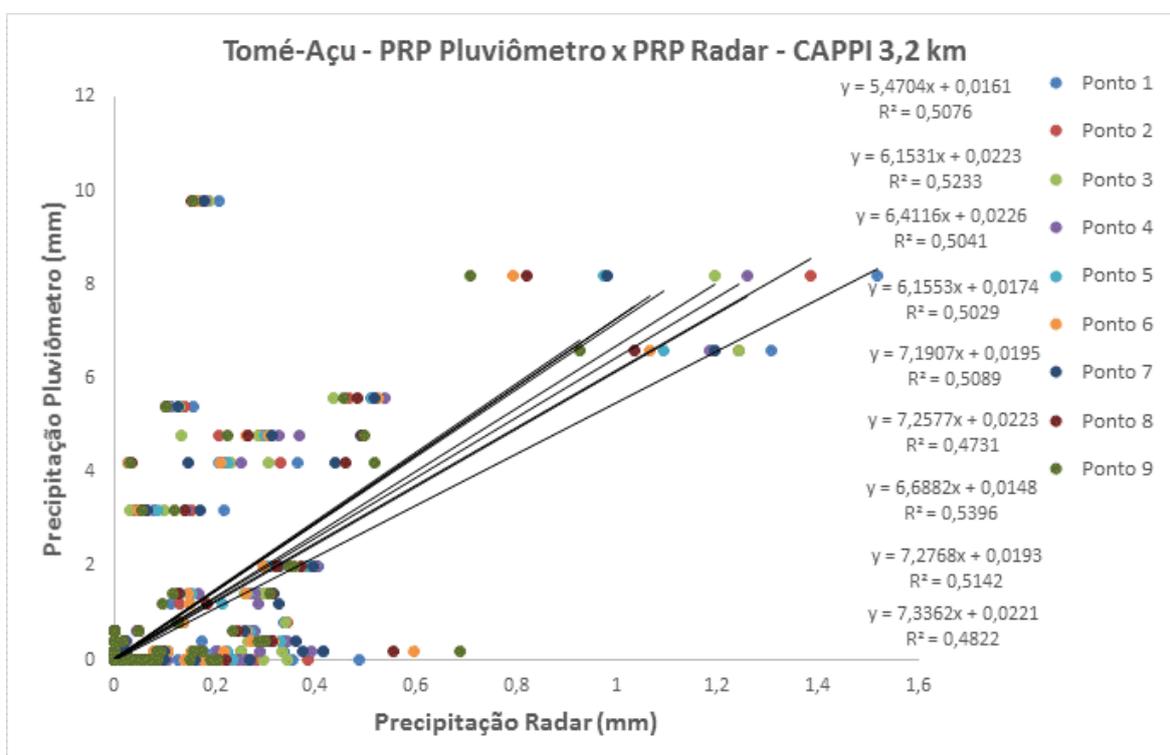


Figura 5 – Comparação entre os dados de precipitação medidos pelo pluviômetro e as estimativas de chuva por radar para os nove pontos de grade referentes à estação de Tomé-Açu, no CAPPI de 3,2 km.

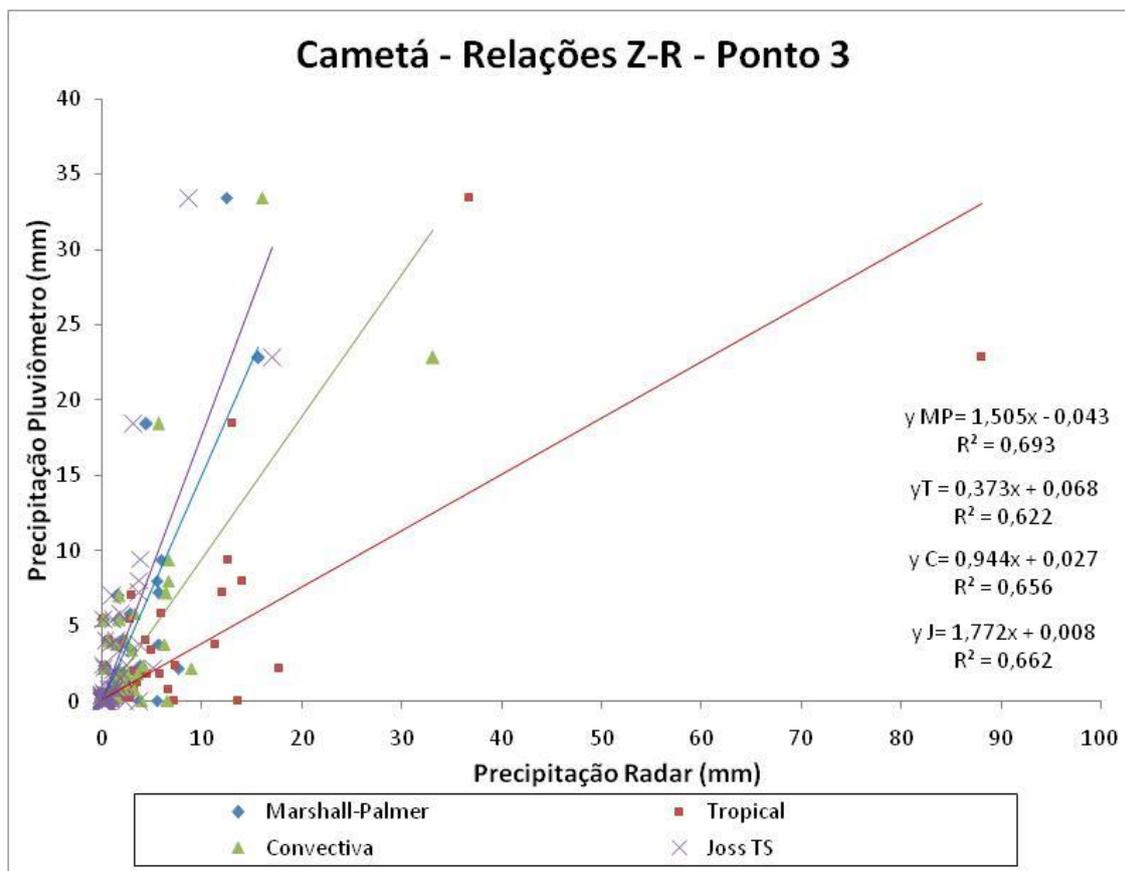


Figura 6 – Comparação entre os dados de precipitação medidos pelo pluviômetro e as estimativas de chuva por radar para os nove pontos de grade, no CAPPI de 3,2 km.

Por outro lado, a relação para chuva em regiões tropicais, que é muito utilizada nas áreas costeiras dos EUA para monitorar tempestades tropicais e eventos de chuva associados a processos quentes (Vieux, 2004), se mostrou ineficiente para a região neste período de transição. A relação tropical apresentou coeficiente angular de 0,373, o que indica a superestimativa de chuva do radar.

Vale ressaltar que as nuvens consistem, muitas vezes, de diferentes tipos de hidrometeoros e apresentam gotas de tamanhos e formatos distintos, o que faz com que a interação entre estas partículas e a energia do radar ocorra de maneira diferenciada.

Além disso, modificações nas características da nuvem, resultantes da ação de correntes de ar ascendente e descendente, dos processos microfísicos que alteram a distribuição de gotas, como coalescência, quebra e evaporação de gotas, entre outros, são capazes de tornar as estimativas de chuva com dados de radar, que detectam os hidrometeoros antes de estes alcançarem a superfície, superestimadas em relação ao que é, de fato, registrado no pluviômetro.

4. Conclusões

Estimativas de precipitação baseadas em dados de radar meteorológico banda-S localizado em Belém (PA), na Amazônia Oriental, e na relação Z-R de Marshall-Palmer, foram comparadas às medidas de pluviômetros de três estações meteorológicas situadas na área de varredura do radar. Foi possível notar que, de maneira geral, as estimativas de chuva subestimaram a precipitação efetivamente registrada pelos pluviômetros.

Outras relações Z-R, como a de precipitação tropical, de chuva convectiva e de chuva de tempestades, foram testadas para uma das estações, sendo a relação Z-R convectiva aquela

que mais se ajustou aos dados de pluviômetros, apresentando um coeficiente angular de 0,944.

Para propor uma nova relação Z-R, mais específica para a região, faz-se necessário realizar campanhas por períodos mais longos com pluviômetros alinhados em um determinado azimute, medindo precipitação a uma frequência mais alta, preferencialmente com registros a intervalos compatíveis com as varreduras do radar.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM) pela infraestrutura e pela disponibilização dos dados necessários à realização deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- Austin, P.M.; Bemis, A.C. A quantitative study of the “bright band” in radar precipitation echoes. **Journal of Meteorology**, v.7, p. 145-151, 1950.
- Dixon, M; Wiener, G. TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting – a radar-based methodology. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 10, n. 6, p. 785-797, 1993.
- Joss, J.; Schran, K.; Thoms, J.C.; Waldvogel, A. On the quantitative determination of precipitation by radar. **Wissenschaftliche Mitteilung**, n. 63, Eidgenossischen Kommission Zum Studium der Hagelbildung und der Hergelsher, 1970.
- Marshall, J.S.; Langille, R.C.; Palmer, W.McK. Measurement of rainfall by radar. **Journal of Meteorology**, v. 4, p. 186-192, 1947.
- Marshall, J.S.; Palmer, W.McK. The distribution of raindrops with size. **Journal of Meteorology**, Shorter Contributions, v. 5, p. 165-166, 1948.
- Rosenfeld, D.; Wolff, D.B.; Atlas, D. General probability-matched relations between radar reflectivity and rain rate. **Journal of Applied Meteorology**, v. 32, p. 50-72, 1993.
- Vieux, B.E. Distributed hydrologic modeling using GIS. New York: Springer, 2004. 289 p.
- Wilson, J.W.; Brandes, E.A. Radar measurement of rainfall – a summary. **Bulletin American Meteorological Society**, v. 60, n. 9, p. 1048- 1058, 1979.