

# QUANTIFICAÇÃO DA CHUVA COM DADOS DE RADAR METEOROLÓGICO EM ÁREAS CULTIVADAS, ATRAVÉS DE TRÊS RELAÇÕES Z-R

ZILDENE PEDROSA O. EMÍDIO<sup>1</sup>, ROBERTO V. CALHEIROS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Meteorologista, Ph.D., Instituto de Pesquisas Meteorológicas - IPMet, UNESP/Bauru – SP, e-mail: [pedrosa@ipmet.unesp.br](mailto:pedrosa@ipmet.unesp.br)

<sup>2</sup>Engenheiro Eletrônico, Ph.D. Instituto de Pesquisas Meteorológicas - IPMet, UNESP/Bauru – SP

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG

**RESUMO:** Através da aplicação de três relações Z-R foi feita a quantificação da chuva média medida por radar meteorológico no período de 21/outubro/2004 a 29/abril/2005, em duas áreas das regiões de Assis/SP e Piracicaba/SP, com cultivo predominante da cultura da cana de açúcar. Os resultados obtidos foram comparados aos da chuva média medida por pluviômetros através da utilização do método de Thiessen. A equação proposta por Calheiros ( $Z = 32 R^{1,65}$ ) mostrou-se como a mais adequada para a representação do campo espacial de chuva por radar nas duas áreas de estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** radar meteorológico, relação Z-R, chuva.

## METEOROLOGICAL RADAR RAIN QUANTIFICATION ON CULTIVATED AREAS USING THREE Z-R RELATIONSHIPS

**ABSTRACT:** By means of three Z-R relationships application, it was carried out the quantification of mean rainfall measured with meteorological radar in the period from 21/October/2004 to 29/April/2005, over two areas in the Assis/SP and Piracicaba/SP regions, where prevail sugar cane crops production. Results were compared with those obtained with a reference rain gage network through the utilization of the Thiessen method. The relationship proposed by Calheiros ( $Z = 32 R^{1,65}$ ) resulted the most adequate in representing the spatial rain field, for both studied areas.

**KEYWORDS:** Weather radar, Z-R relation, rainfall.

**INTRODUÇÃO:** A importância da aplicação da tecnologia de radar meteorológico para medição da precipitação atmosférica consiste, principalmente, no refinamento dado às informações da chuva ocorrida em uma área, onde as medidas são feitas com alta resolução espacial e temporal e em tempo real. Através do radar meteorológico é possível quantificar a precipitação de forma quase contínua, tanto no tempo (por exemplo, a cada 5 minutos) quanto no espaço (por exemplo, a cada 500 metros) (PESSOA, 2000).

No processo de medida de chuva pelo radar, a partir do espectro de gotas em sistemas de precipitação, tem-se adotado uma relação empírica entre o fator de refletividade do radar (Z) e a intensidade (ou taxa) de precipitação (R). Esta relação é expressa pela seguinte equação:

$$Z = aR^b \quad \text{Eq.1}$$

Onde, Z é a refletividade ( $\text{mm}^6/\text{m}^3$ ); R é a taxa de precipitação ( $\text{mm}/\text{h}$ ); a e b são constantes estimadas.

A relação Z-R mais comumente conhecida e mais utilizada é a relação Z-R de Marshall e Palmer (1948). Existem várias relações Z-R experimentais na literatura, com grande variabilidade nos coeficientes a e b, pois os mesmos dependem da origem e tipo das precipitações, da distribuição das gotas de chuva e seu tamanho, localização geográfica, condições meteorológicas, etc, notando-se que para processos convectivos mais intensos, o valor de a aumenta e o valor de b diminui. Neste trabalho, quantifica-se a chuva média medida por radar meteorológico através da aplicação de três relações Z-R. Os dados correspondem ao período de 21/outubro/2004 a 29/abril/2005, em duas áreas das regiões de Assis/SP e Piracicaba/SP, com cultivo predominante da cultura da cana de açúcar. Os resultados obtidos são comparados aos da chuva média medida por pluviômetros através da utilização do método dos polígonos de Thiessen nas duas áreas em questão, verificando-se qual relação Z-R apresentou melhor desempenho.

**MATERIAS E MÉTODOS:** Os dados de chuva utilizados são do radar meteorológico Doppler, banda S, localizado em Bauru/SP e operado pelo IPMet/UNESP. Usando as imagens geradas pelo produto CAPPI (Constant Altitude Plan-Position Indicador) com altura de 3,5 km, a cada 7,5 ou 15 minutos, obteve-se a taxa de precipitação ou intensidade de chuva (em mm/h) através das relações Z-R utilizadas nessas áreas. No processo de quantificação das chuvas, foi utilizado um programa que permitiu que as chuvas fossem integradas em períodos decendiais (19 períodos em cada área de estudo) sobre pixels do radar com resolução de 1 km<sup>2</sup> e foram geradas matrizes de chuva-radar (grade da quadrícula: 51 x 51 pixels) com 2.601 pixels. As seguintes equações Z-R foram utilizadas:

$$\text{Equação de Marshall-Palmer} \rightarrow Z = 200 R^{1,6} \quad \text{Eq.2}$$

$$\text{Equação de Jones} \rightarrow Z = 486 R^{1,37} \quad \text{Eq.3}$$

$$\text{Equação de Calheiros (RVC)} \rightarrow Z = 32 R^{1,65} \quad \text{Eq.4}$$

Primeiro utilizou-se a equação de Marshall-Palmer (1948) conjuntamente com a equação de Jones (1956) que foi aplicada para a acumulação das chuvas convectivas no horário das 15:00h às 18:00h e a de Marshall-Palmer para chuvas estratiformes, nos demais horários do dia. Depois utilizou-se a equação de Marshall-Palmer separadamente e por último, a relação de Calheiros (2007, comunicação pessoal), denominada de RVC. Estas duas últimas relações foram aplicadas para todos os tipos de chuva e em todos os horários. Entre os aspectos de erros inerentes às medidas com radar, sabe-se que a relação Z-R será mais representativa com relação à chuva que cai sobre uma área, quanto mais densa for a rede de pluviômetros na mesma. Além disso, outro aspecto refere-se à distância chuva-radar, pois por melhor que seja a relação determinada com base em um posto meteorológico, à medida que se vai distanciando desse posto, a precisão da relação Z-R diminui (HUFF, 1966).

A chuva medida por pluviômetros foi determinada pelo método dos polígonos de Thiessen através da equação:  $\bar{h} = \frac{\sum P_i A_i}{\sum A_i}$  Eq.5

Onde,  $\bar{h}$  = precipitação (mm);  $A_i$  = área de influência;  $P_i$  = precipitação média na área(mm).

**RESULTADOS E DISCUSSÕES:** Os totais obtidos da quantificação da chuva média em área pelo radar meteorológico de Bauru, utilizando as três relações Z-R para cada período decendial nas áreas de Assis e Piracicaba, e o total obtido pelos pluviômetros através do método de Thiessen para a comparação dos resultados são apresentados na Tabela 1. Estes resultados mostram a superioridade dos totais da chuva média acumulada pelo método de Thiessen, comparado-os aos totais da chuva média obtida pelas relações de MP&J e MP, em todos os períodos decendiais.

Tabela 1 - Chuva média acumulada (mm/periodo) por Thiessen e pelas relações de Z-R; MP&J (Marshall-Palmer e Jones); MP (Marshall-Palmer) e RVC (Calheiros) nos 19 períodos decendiais para as áreas das quadrículas de Assis e Piracicaba.

Períodos	ASSIS				PIRACICABA			
	THIESSEN	MP&J	MP	RVC	THIESSEN	MP&J	MP	RVC
1°	86.8	22.7	23.7	70.8	35.7	10.5	12	36.2
2°	41.9	8.5	20.5	28.2	14.5	6.3	6.8	19.9
3°	104.1	23.5	24.9	74.3	98.2	20.6	24.2	73
4°	32.8	8.4	9.6	28.6	26.8	11.7	13.8	40.8
5°	58.7	27.7	30.2	88.6	19.4	21.6	25.1	73.3
6°	11.9	9.5	10.4	30.5	28.5	14.9	17	50
7°	90.8	30.6	33.1	98.1	93.8	32.5	37.1	106.1
8°	82.8	23.1	26.7	79.3	86.0	34.2	38.2	113.7
9°	131.5	22.6	25.3	74.4	66.9	16.3	18.6	55.1
10°	213.3	38.7	44.4	132.6	107.9	29.4	31.9	94
11°	47.6	8.1	10.2	30.6	77.5	15.3	17.3	51.5
12°	0.2	0.6	0.7	2.2	2.4	3.7	4	11.9
13°	23.7	19.3	23.2	68.3	32.7	25.7	28.3	83.7
14°	0.9	2.8	3.2	9.3	0.1	1.2	1.3	3.7
15°	63.8	19.8	22.3	65.8	70.7	28.3	30.7	92.4
16°	53.2	16.3	17.3	51.1	71.0	22	25.4	75.6
17°	12.7	7.3	9	26.7	31.0	12.5	15.4	45.1
18°	8.6	3.4	4.2	13.5	1.7	3.6	5.9	7.9
19°	27.4	18.8	19.5	57.3	12.7	13.3	13.5	40.7

Os desvios nos totais foram maiores que 100%, observando que ocorreu uma subestimação da chuva em períodos mais chuvosos e superestimação em períodos mais secos. Quanto à relação RVC, os totais obtidos foram mais variáveis, porém mais próximos aos computados por Thiessen.

Uma análise de estatística básica foi feita para o cálculo de valores médios, desvio padrão e coeficientes de correlação de Pearson nas 3 relações Z-R utilizadas. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 2 e 3, e nota-se uma alta variabilidade no desvio padrão encontrado para o Thiessen nas duas áreas. A relação RVC foi a que apresentou coeficientes mais significativos em relação a Thiessen, embora na correlação de Pearson, a diferença encontrada entre os coeficientes tenha sido muito pequena, mas ainda assim, o coeficiente da RVC foi o maior em ambas as áreas.

Tabela 2 - Análise estatística entre o método de Thiessen e as relações Z-R, para Assis.

Relação Z-R	Mínimos	Máximos	Média	Desvio Padrão	Matriz do Coef. de Correlação de Pearson (r)			
					MP&J	THIESSEN	MP	RVC
MP&J	0,60	38,70	16,41	10,42	1	0,84	0,97	1,00
THIESSEN	0,20	213,30	57,51	53,00	0,84	1	0,85	0,86
MP	0,70	44,40	18,86	11,31	0,97	0,85	1	0,98
RVC	2,20	132,60	54,22	34,08	1,00	0,86	0,98	1

Tabela 3 - Análise estatística entre o método de Thiessen e as relações Z-R, para Piracicaba.

Relação Z-R	Mínimos	Máximos	Média	Desvio Padrão	Matriz do Coef. de Correlação de Pearson (r)			
					MP&J	THIESSEN	MP	RVC
MP&J	1,20	34,20	17,03	9,96	1	0,80	1,00	1,00
THIESSEN	0,10	107,90	46,18	35,80	0,80	1	0,80	0,81
MP	1,30	38,20	19,29	10,99	1,00	0,80	1	1,00
RVC	3,70	113,70	56,56	33,06	1,00	0,81	1,00	1

Através de histogramas (Figuras 1a e 1b) é representada a distribuição dos totais da chuva média acumulada pelo método de Thiessen e pelas relações Z-R, nas duas áreas (Assis e Piracicaba) e em cada período decendial.

A chuva quantificada pelo método de Thiessen quando comparada com chuva quantificada pelo radar para cada relação Z-R, nota-se que a relação RCV é que apresentou melhores resultados, enquanto as relações de MP&J e MP mostraram resultados inferiores. Também foi considerada como a relação mais representativa, aquela que apresentasse a curva de massa da chuva (Figuras 2a e 2b) mais próxima à obtida pelos dados dos pluviômetros (método de Thiessen), admitindo-se estes como “verdade terrestre”, embora seja sabido que em geral isto não acontece, pois pluviômetros assim como o radar, também apresentam erros de medição, porém em menor escala que o radar.

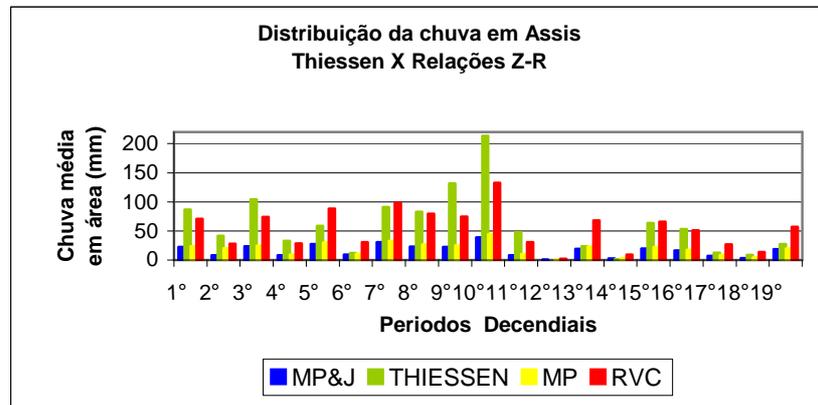


Figura 1a – Chuva média em área/período: Thiessen X relações Z-R, região de Assis.

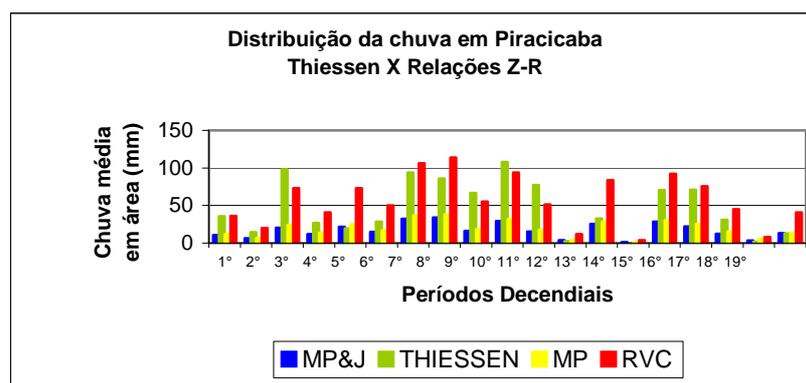


Figura 1b - Chuva média em área/período: Thiessen X relações Z-R, região de Piracicaba.

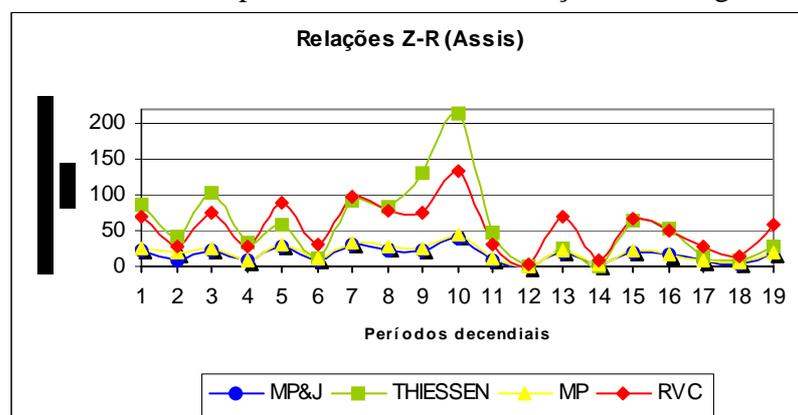


Figura 2a – Curva da chuva média em área/período: Thiessen X relações Z-R, região de Assis.

A curva da relação RVC foi a mais próxima a de Thiessen, acompanhando a tendência de Thiessen praticamente em todos os períodos, exceto no período 5° de Piracicaba. Nas duas

outras relações (MP&J e MP), as curvas ficaram muito abaixo, mostrando um significativo desvio entre a chuva acumulada por Thiessen e pelas mesmas em todo o intervalo analisado.

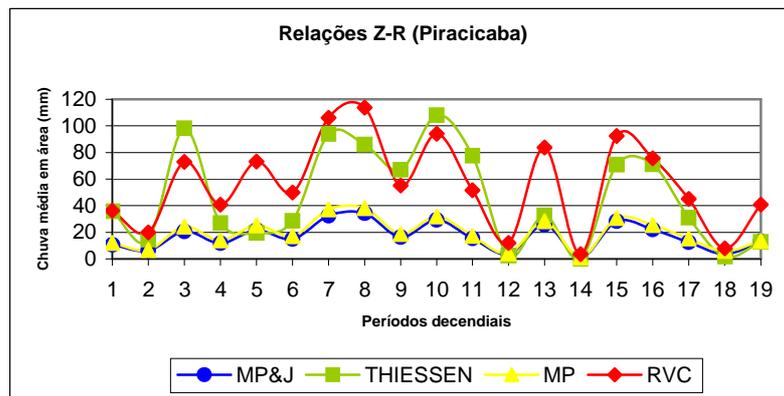


Figura 2b – Curva da chuva média em área/período: Thiessen X relações Z-R, na região de Piracicaba.

**CONCLUSÕES:** Das três relações Z-R utilizadas neste trabalho para quantificação da chuva pelo radar, a relação RVC foi a que teve o melhor desempenho e a que apresentou os melhores resultados em relação a Thiessen. Observa-se que a necessidade da escolha de uma relação Z-R para melhor representar a distribuição das chuvas nas áreas de estudo, foi sentida inicialmente através de uma pesquisa anterior que utilizou a relação de Marshall-Palmer com Jones e onde os resultados indicaram uma forte subestimação da chuva comparada com o pluviômetro (EMÍDIO E ANTONIO, 2007). Conforme já evidenciado por Calheiros e Zawadzki (1987), Antônio e Andrade (2007), os resultados obtidos nesse trabalho mostraram mais uma vez, a importância de se dispor de uma equação Z-R específica que incorpore o efeito da distância ao radar e outras características, como a estação do ano ou o período do dia, entre outras, para a adequada representação do campo espacial de chuva por radar.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ANTÔNIO, M. A; ANDRADE, J. P. M. Inundações em São Carlos, SP: avaliação de chuvas com radar. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007 Florianópolis. Anais... Florianópolis: INPE, 2007. p. 3255-3262.
- CALHEIROS, R. V.; ZAWADZKI, I. Reflectivity-rain rate relationships for radar hydrology in Brazil. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Boston, v. 26, p. 118-132, 1987.
- EMÍDIO, Z. P. O; ANTÔNIO, M. A. Chuva média decencial em área: teste por radar e pluviômetros para uso na agricultura. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 15., 2007, Aracaju. Anais... Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007. 1 CD-ROM.
- HUFF, F. A. The adjustment of radar estimates of storm mean rainfall with rainguage data. In: Conference on Radar Meteorology, 12., 1966, Norman. Proceedings... Norman: American Meteorological Society, 1966. p.168.203.
- JONES, D. M. A. Rainfall drop-size distribution and radar reflectivity. *Urban Meteorology Laboratory: State Water Survey, Illinois*, n.6, 1956.
- MARSHALL, J. S.; PALMER, W. M. K. The distributions of raindrops with size. *Journal of Meteorology*, Lancaster, v. 5, p. 165-6, 1948.
- PESSOA, M. L. Hidrometeorologia com radar. IN: TUCCI, C. E. M. (Org.) *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 2ª ed., Porto Alegre, Editora da Universidade, UFRGS, p. 943, 2000,