

Campos de Precipitação Parte II: Estudo de Caso

Ilza Machado Kaiser

Fatec-Jahu – ilzakaiser@bol.com.br

Rodrigo de Melo Porto

EESC-USP – rodrigo@sc.usp.br

Recebido: 19/10/04 revisado: 03/05/05 aceito: 30/08/05

RESUMO

Este artigo faz uma aplicação e comparação dos métodos de geração de campos de precipitação selecionados em estudo preliminar apresentado no artigo anterior. Os campos de precipitação foram compostos a partir de dados pluviométricos, de radar e de técnicas que congregam esses dois tipos de dados. Estudou-se a influência da área de integração nas médias das alturas médias e máximas diárias de chuva. Analisaram-se as superestimativas observadas pelos métodos compostos. Investigou-se a existência de um comportamento diferenciado dos diversos métodos em função da altura diária de chuva. Finalmente, verificou-se, através do traçados das isoietas médias anuais, que existem grandes diferenças de comportamento espacial dos campos de precipitação. Verificaram-se diferenças quantitativas nas médias diárias do radar e dos métodos baseados em pluviômetros da ordem de -12% , e na faixa de $-0,5$ a $+16\%$ para os métodos compostos.

Palavras chave: campos de precipitação, radar, pluviômetros.

INTRODUÇÃO

Campos de precipitação são obtidos a partir da interpolação de dados de pluviômetros, de dados de radar ou de métodos que integram estes dois instrumentos de medida. A dificuldade de se obter resultados conclusivos sobre a qualidade dos campos de precipitação reside na impossibilidade de medida dos campos reais. Os trabalhos de pesquisa geralmente fazem a comparação destes campos assumindo uma alternativa como real, o que resulta em uma verificação de desempenho relativo.

O uso de técnicas que congreguem os dois instrumentos de medida é bastante polêmica, conforme apresentado no artigo anterior. Porém o recente relatório das atividades do COST 717 (*European Co-operation in the field of Scientific and Technical Research*) incentiva os ajustes do campo de radar via pluviômetros a aponta como perspectiva futura o uso complementar destes dois instrumentos de medida (Rossa *et al.*, 2005).

Para tornar os estudos mais conclusivos, existe uma linha que aplica os diferentes campos de chuva em modelos hidrológicos para averiguação dos impactos que estes podem causar nos hidrogramas e sua comparação com a vazão medida (Collier & Knowles, 1986 e Rossa *et al.* 2005).

Andréassian *et al.* (2001) salientam que as incertezas na calibração dos parâmetros dos modelos hidrológicos muitas vezes incorporam as imprecisões dos campos de chuva.

METODOLOGIA

Neste trabalho investigou-se o comportamento da chuva diária através da comparação das alturas médias diárias (*hmédio*) e dos valores de máximos pontuais. Analisou-se também a chuva anual acumulada. Ele é uma seqüência do artigo anterior, onde se estuda de forma mais detalhada o desempenho das técnicas apresentadas e por um período de tempo maior.

Optou-se por trabalhar no período de 1993 a 1998 em função da disponibilidade conjunta de dados pluviométricos e de radar. Foram usadas as mesmas fontes de dados: postos pluviométricos do DAEE e ANA e radar do IPMet. A descrição dos métodos de geração de campos de precipitação e suas respectivas referências encontram-se no artigo anterior. Apresenta-se, na tabela 1, uma síntese dos métodos analisados neste trabalho.

Conforme foi observado no artigo anterior, os métodos compostos podem corrigir em excesso o

campo de chuva do radar, em função de fatores G (razão entre a medida do pluviômetro e a média dos dados de radar) exagerados. Dessa forma, no estudo relatado no presente artigo, foram utilizadas três propostas de limitação de uso desse fator, conforme tabela 1. Os pluviômetros cuja relação G estejam fora deste limite são desconsiderados na composição do campo de precipitações.

Tabela 1 – Métodos usados e limites de G.

Instrumento de Medida	Técnica de composição de campos de precipitação – Código usado para identificar o método
Pluviômetro	Inverso do Quadrado da Distância - IQD
	Método de Costa – Costa
Radar	Equação Marshall-Palmer – Radar
Radar e Pluviômetro (técnicas mistas)	Brandes sem modificação – Brandes
	Brandes modificado – Intervalo de G utilizado (0,1 a 10) – B-MO-10
	Brandes modificado – G (0,133 a 7,5) – B-MO-7.5
	Brandes modificado – G (0,2 a 5) – B-MO-5
	Koistinen e Puhakka sem modificação -KP
	Koistinen e Puhakka modificado – G (0,1 a 10) – KP-MO-10
	Koistinen e Puhakka modificado – G (0,133 a 7,5) – KP-MO-7.5
Koistinen e Puhakka modificado – G (0,2 a 5) – KP-MO-5	

Prevendo uma ampliação do presente trabalho que possibilitasse a aplicação destes campos de chuva em um modelo hidrológico distribuído, foi selecionada uma região de estudo que contivesse postos pluviométricos com registros no mesmo intervalo de tempo. Não foi objeto deste trabalho a aplicação dos resultados dos campos de precipitação em modelo hidrológico, mas usou-se a estrutura de divisão em sub-bacias para verificar a influência da área nos índices obtidos. A divisão de sub-bacias e suas áreas estão indicadas respectivamente na figura 1 e na tabela 2.

Tabela 2 – Áreas calculadas das sub-bacias.

Estação	Área (km ²)
Perdizes	12,8
Geraldo	15,5
Boa Esperança	189,3
Jacaré 1	220,7
Jacaré 2	221,9
Ribeirão do Feijão	227,6
São José	270,3
Meia Légua	334,0
Sítio Esperança	334,2
Santo Inácio	1018,6
Palmeiras	1862,4
Porto	2284,6
Gavião	2409,0
5C-021	3524,5
Total	4046,5



Figura 1 – Localização das sub-bacias hidrográficas.

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todo o trabalho, admitiu-se como padrão de comparação o método do IQD. A precipitação média diária foi calculada somando-se os valores de todos os *pixels* com chuva na bacia e dividindo-se pela área da bacia. Obteve-se desta forma o *hmédio* diário para cada método. Foi feito um estudo de correlação desta altura média obtida pelos diversos métodos com o padrão de comparação. Os resultados foram plotados em função da área de integração (figura 2).

Como era esperado, obteve-se um bom coeficiente de correlação para o método Costa (aproximadamente 1,0 – não aparece na figura 2 para não prejudicar a visualização). Para os demais métodos, o pior resultado foi o do radar e o melhor o do método de Brandes sem limitação, com

coeficientes de correlação máximos da ordem de 0,45. Verifica-se a existência de uma ligeira tendência de aumento dos coeficientes de correlação em função do aumento de área da bacia. Observa-se uma oscilação nos coeficientes de correlação nas bacias São José, Meia Légua e Sítio Esperança, todas com área da ordem de 300 km².

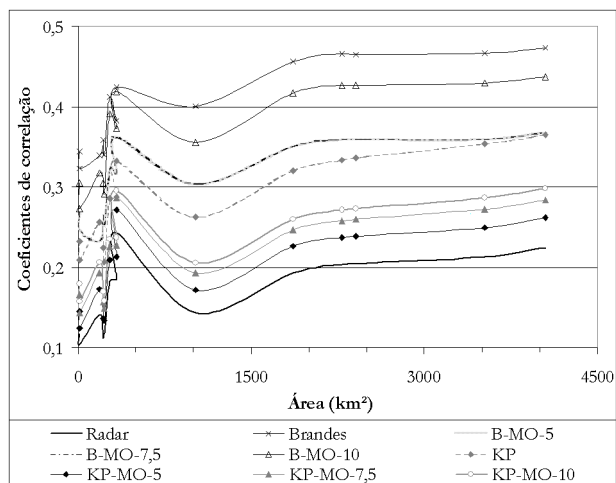


Figura 2 - Coeficientes de correlação *hmédio* x área.

Para investigar o efeito que as modificações introduzidas nas metodologias têm nas correções excessivas dos campos de precipitação, identificou-se, para todo o período, os máximos valores pontuais diários para cada método. O radar apresenta o menor valor. Os demais métodos, não indicados na tabela 3, têm seus valores máximos sempre inferiores a 200mm.

Tabela 3 – Máximos valores pontuais.

Método	Máximo valor pontual observado (mm/dia)
Brandes sem limitação	600
Brandes – MO-10	400
KP sem limitação	300
Brandes – MO-7.5 e MO-5	250
Radar	120

Foi feito um estudo de correlação entre os máximos diários por bacia, obtidos pelos diversos métodos, e o padrão de comparação. A forma das curvas é similar às apresentadas na figura 2. A correlação das alturas máximas diárias tem valores ligeiramente superiores. O método de Brandes sem limitação apresentou os melhores coeficientes de

correlação (0,55). Observou-se também o comportamento diferenciado nas estações com área da ordem de 300 km².

O comportamento relativo na estimativa do volume total precipitado na bacia total pode ser analisado através do gráfico de dupla acumulação, para todo o período e todos os métodos (figura 3).

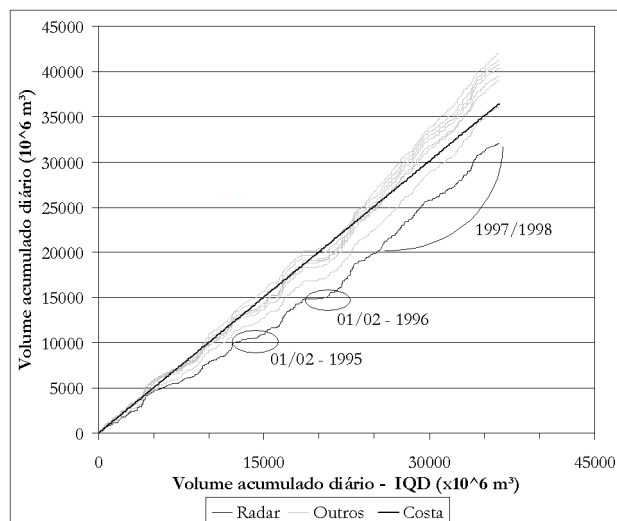


Figura 3 – Dupla acumulação – Volume acumulado.

Como era de se esperar, o método Costa praticamente coincidiu com a reta de 45°. Nos demais métodos, as curvas apresentaram sempre as mesmas inflexões, pois derivam todos do campo de radar. Como regra geral, o campo gerado unicamente pelo radar foi o que forneceu o menor total de chuva, seguido pelo método de Brandes MO-5 e 7.5 (os gráficos se sobrepõem), seguidos pelo método de Brandes MO-10. O método de Brandes sem limitação confundiu-se com os resultados da aplicação do método Koistinen e Puhakka, todos eles com comportamento quantitativo parecido.

A curva de dupla acumulação do radar apresenta uma grande variação nos coeficientes angulares, o que torna evidente que não existe uma tendência constante de comportamento relativo de radar e pluviômetro. Essa curva apresenta dois períodos bem evidentes de coeficiente angular muito baixo. O primeiro, em janeiro e fevereiro de 1995, onde foram observados valores mais baixos no radar, principalmente no início de fevereiro. O segundo período em janeiro e fevereiro de 1996, onde se constatou a existência de dois blocos consecutivos de dias sem registro de chuva no radar, mas com dados no pluviômetro. No período final

(1997-1998), a curva de radar deixa de apresentar trechos com coeficientes angulares muito baixos e mantém uma inclinação quase constante.

Fazendo a análise da dupla acumulação por sub-bacias observam-se algumas modificações no padrão das curvas:

- As sub-bacias Meia Légua e Sítio Esperança (que são contíguas, localizadas no extremo norte da bacia, com área semelhante) e a sub-bacia Boa Esperança do Sul apresentaram um comportamento semelhante. Nelas, os métodos baseados em pluviômetros tiveram a tendência de apresentar valores mais baixos, sendo que, na bacia Sítio Esperança, o campo do pluviômetro chegou a dar valor acumulado final no período inferior ao do radar;
- Um comportamento oposto foi observado nas sub-bacias São José e Ribeirão do Feijão, onde os valores acumulados nos pluviômetros no final do período quase se igualaram aos métodos compostos, que forneceram os valores mais elevados;
- Para as bacias maiores: Palmeiras, Porto e Gavião, os métodos dos pluviômetros têm valor acumulado final próximo aos dos métodos mistos mais elevados. Porém o coeficiente angular da curva dos valores acumulados dos pluviômetros vai decrescendo com o aumento de área da bacia, até atingir a forma apresentada na figura 3 para bacia total.

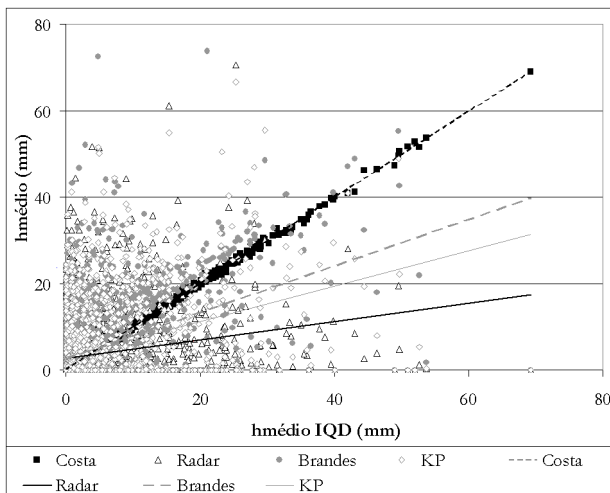


Figura 4 – Comparação entre os *hmédio* diários.

Foram feitos estudos de correlação das alturas médias diárias de chuva, calculadas para a maior bacia usando todas as metodologias. Optou-se por apresentar na figura 4 somente os dados do radar, do método de Costa e dos métodos mistos sem limitação, para facilidade de visualização.

Os coeficientes de correlação estão apresentados na figura 5, para todos os métodos. Observa-se que, exceto para o método Costa, os coeficientes de correlação foram muito baixos, mas que todos os métodos compostos melhoraram os resultados do radar.

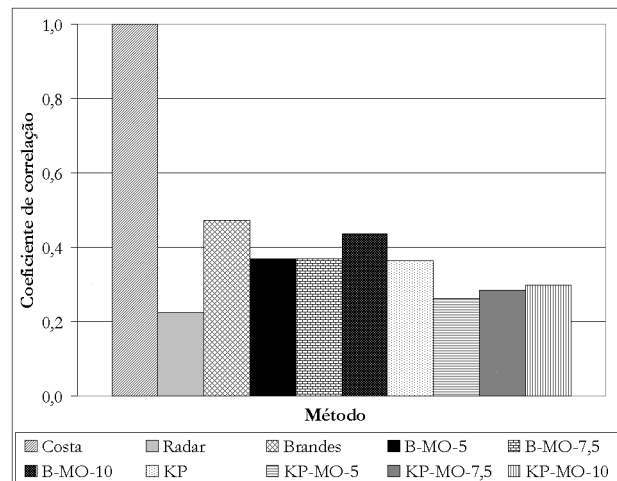


Figura 5 – Coeficientes de correlação.

Tabela 3 – Equações das retas de ajuste de *hmédio* diário calculado pelos diversos métodos versus *hmédio* do método do IQD.

Métodos	Reta ajustada
Costa	$y = 0,998 x + 0,0197$
Radar	$y = 0,213 x + 2,7386$
Brandes	$y = 0,540 x + 2,5350$
Brandes-10	$y = 0,451 x + 2,5580$
Brandes-7,5	$y = 0,353 x + 2,6336$
Brandes-5	$y = 0,353 x + 2,6336$
Koistinen e Puhaka	$y = 0,411 x + 2,9678$
Koistinen e Puhaka-10	$y = 0,343 x + 3,1979$
Koistinen e Puhaka-7,5	$y = 0,325 x + 3,2194$
Koistinen e Puhaka-5	$y = 0,297 x + 3,2401$

Na tabela 3 apresentam-se as equações das retas ajustadas para todos os métodos. Observa-se que, nos métodos mistos, o coeficiente angular das retas ajustadas é maior, o que confirma a conclusão de Barnston & Thomas (1983), de que os ajustes nos dados de radar diminuem a tendência do radar

“ver” menos chuva em eventos mais intensos. As limitações nos métodos de ajuste diminuíram esses coeficientes angulares. O termo independente mais alto indica a tendência do radar ver mais chuva em dias que o pluviômetro registra pouca chuva. O método de Koistinen e Puhakka foi o que apresentou maiores termos independentes.

A revisão bibliográfica apresentada no trabalho anterior cita situações em que somente um dos instrumentos de medida detecta chuva. Com o objetivo de identificar e quantificar estes períodos, fez-se um estudo comparativo entre os resultados de *hmédio* diário para toda a bacia, obtido pelos métodos IQD e do radar, analisando a porcentagem de dias em que foi observado *hmédio* inferior a 0,1 mm em ambos os métodos e em cada um isoladamente. O intervalo de tempo analisado corresponde ao período total de estudo.

Tabela 4 – Porcentagem de dias sem leituras simultâneas ou com leituras em apenas 1 instrumento.

% de ocorrência simultânea de valores de <i>hmédio</i> inferiores à 0,1 para campo gerado por radar e pelo método do IQD.	33,4%
% de ocorrência de valores de <i>hmédio</i> inferiores a 0,1 no método do IQD e maiores que 1 no radar. Radar vê chuva onde o Plu não vê	5%
% de ocorrência de valores de <i>hmédio</i> inferiores a 0,1 no radar e maiores que 1 no método do IQD. Plu vê chuva onde o radar não vê	13,7%

A ausência de leitura simultânea ocorreu preferencialmente nos períodos secos (figura 6).

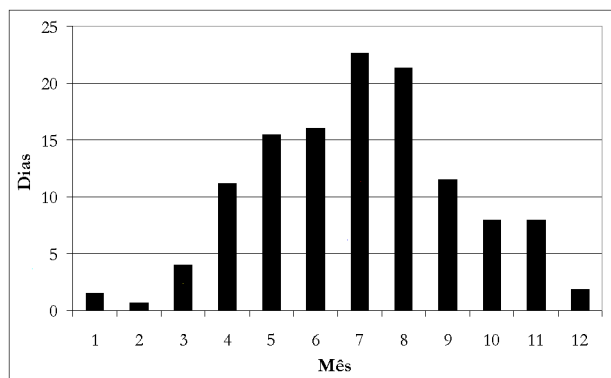


Figura 6 – Distribuição do número médio anual de dias com *hmédio* inferior à 0,1mm no radar e pluviômetros.

Os dias onde existem leituras no radar e ausência de leitura no pluviômetro podem ser explicados pela possibilidade de existência simultânea de evaporação no processo de precipitação e, desta forma, não existir depósito de água nos pluviômetros. A maioria destes episódios ocorreu nos meses mais secos (figura 7).

Os dias com registro exclusivo nos pluviômetros concentraram-se nos meses mais úmidos. Já foi relatada a ocorrência de um bloco compacto de dias sem leitura no radar e com leituras em pluviômetro nos meses de janeiro e fevereiro de 1996. Uma possível explicação é a formação de precipitação em baixa altitude, que não foi detectada pelo radar (figura 8).

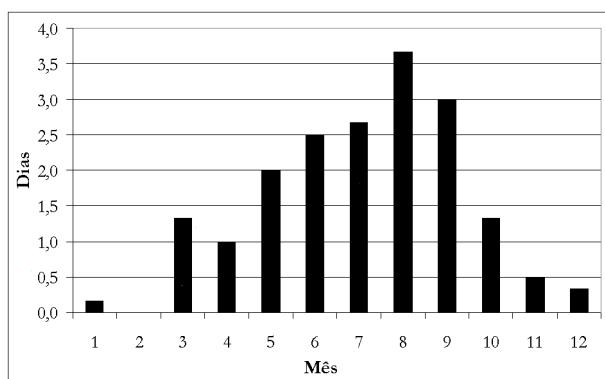


Figura 7 – Número médio de dias com *hmédio* inferior a 0,1 mm pelo método do IQD e superior a 1 mm no radar.

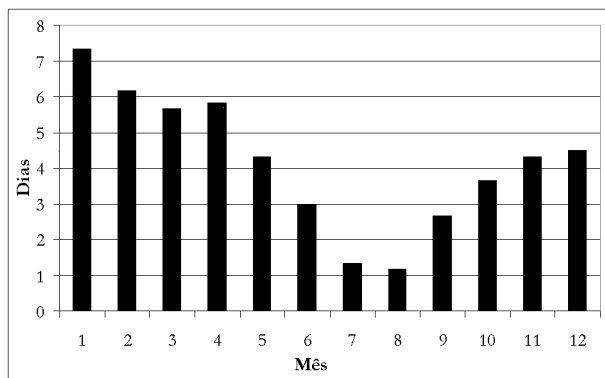


Figura 8 – Número médio de dias com *hmédio* inferior a 0,1 mm no radar e superior a 1 mm no método do IQD.

A figura 9 representa as diferenças nas alturas médias diárias de chuva obtidas pelo radar e pelo método IQD em toda a bacia, plotados em função da altura média diária calculada pelo IQD. Percebe-se um limite inferior (uma reta de 45°) que corresponde aos dias onde houve leitura no

pluviômetro e o radar não indicou chuva. Observa-se que o comportamento das diferenças muda com o aumento da precipitação calculada pelo IQD.

Dessa forma, decidiu-se reproduzir o estudo de Barnston & Thomas (1983), que investiga o comportamento relativo dos diversos métodos por faixas de umidade. A tabela 5 mostra as faixas de umidade adotadas para classificar o universo total dos dados.

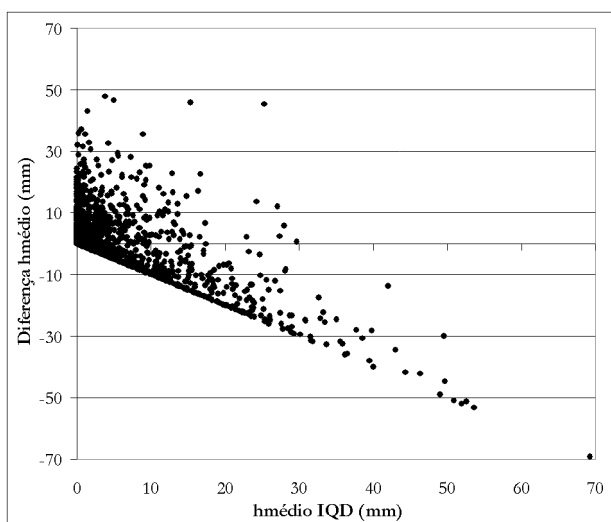


Figura 9 – Diferença entre os valores de *hmédio* de radar e de pluviômetro em função das alturas médias obtidas pelo método do IQD.

Tabela 5 – Faixas de umidade.

Faixa	h diário médio na bacia (mm)
Muito seco – A	$h < 1$
Seco – B	$1 < h < 5$
Médio seco – C	$5 < h < 15$
Médio úmido – D	$15 < h < 25$
Úmido – E	$25 < h < 40$
Muito úmido – F	$h > 40$

Os dados foram classificados tomando por base as alturas médias diárias determinadas pelo método IQD. O estudo foi feito para maior bacia. Para cada faixa de umidade e para cada método, determinou-se a altura média (figura 10). Para facilidade de visualização foi omitido o método Costa por ser similar ao IQD. Pelo mesmo motivo, foram omitidos da apresentação, os métodos compostos com limitação intermediária (MO 10 e

7.5). No método de Koistinen e Puhakka os métodos omitidos apresentam um comportamento intermediário ao sem limitação e com máxima limitação. No método de Brandes, os resultados com limitação 5 e 7.5 praticamente se sobrepõem e, o com limitação 10, tem comportamento intermediário a estes e ao sem limitação.

Os resultados foram coerentes com a bibliografia: para os dias mais secos o radar “viu” mais chuva e os métodos compostos aumentaram a diferença (abaixo de 5 mm nesse estudo e abaixo de 1,5 mm na bibliografia). Para valores superiores a 5 mm, o radar passou a indicar menos chuva e os métodos compostos aumentaram as alturas médias, porém sem alcançar os valores dos pluviômetros. A concordância com o trabalho de Barnston & Thomas (1983) é qualitativa, pois além de não terem sido usados os mesmos métodos de composição de campos de precipitação, as faixas de precipitação são díspares e a faixa mais úmida na bibliografia englobava chuvas de 10 a 22 mm (tabela 6).

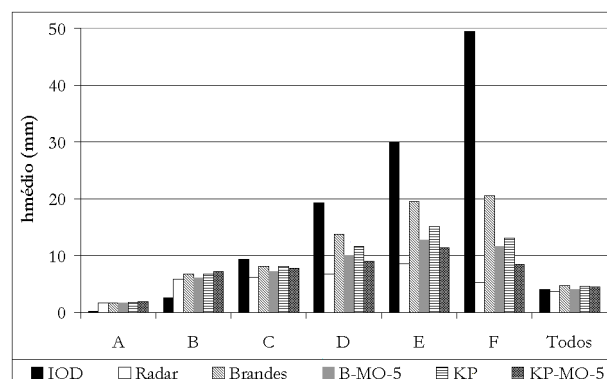


Figura 10 – Valor médio de *hmédio* por faixa de umidade.

Tabela 6 – Tabela comparativa – Diferenças percentuais de *hmédio* em função do método IQD.

Métodos de composição de campos de precipitação	7-22 mm Barnston Thomas	5-15 mm atual	Faixa total Barnston Thomas	Faixa total atual
Radar	-33%	-32%	-25%	-12%
Métodos compostos	-8 a -10%	-12 a -22%	-6%	-0,5 a +16%

Fez-se um estudo da distribuição média de dias por faixa de umidade para a bacia total e sub-bacias. Os dados foram re-arranjados em três faixas –

seco, médio e úmido – para facilidade de visualização. A faixa seca engloba as faixas A e B, onde o radar tende a “ver” mais; a faixa média engloba as faixas C e D e, a faixa úmida as E e F. Os resultados do método IQD estão apresentados na figura 11. A mesma análise foi feita para o radar e o comportamento foi similar. Observa-se que a distribuição por faixas é homogênea para todas as sub-bacias.

A seguir, são apresentados os gráficos que indicam as diferenças percentuais entre os valores de *hmédio* anuais dos diversos métodos em relação ao IQD para cada bacia. Omitiu-se da apresentação o método de Brandes-MO-7.5, por ser praticamente coincidente com Brandes-MO-5, e o KP-MO-7.5 por ter comportamento intermediário à KP-MO-5 e KP-MO-10. As bacias com comportamento semelhante também foram omitidas. A legenda para as figuras 12 a 19 está apresentada na figura 12.

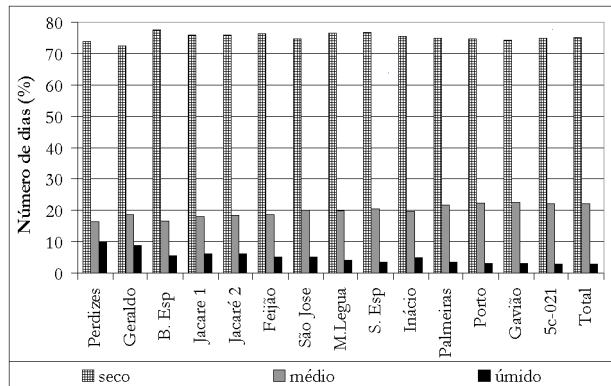


Figura 11 – Distribuição da % de número de dias por faixa de umidade – método IQD.

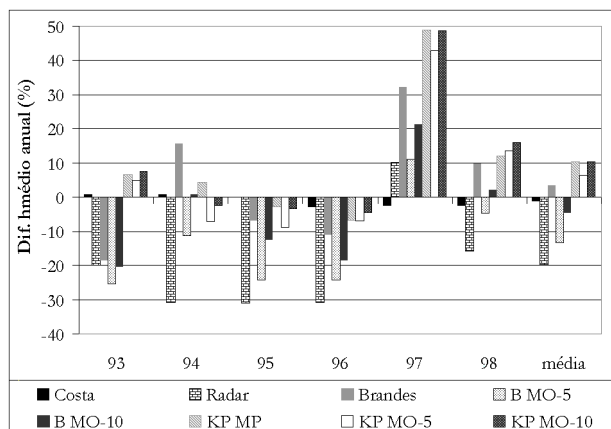


Figura 12 – Bacia de Perdizes.

As bacias Geraldo, Jacaré 1 e 2 são as menores bacias, estão próximas e tiveram um comportamento geral semelhante à de Perdizes.

As bacias de São José e Ribeirão do Feijão tiveram comportamento parecido, com pequenas variações nos métodos compostos.

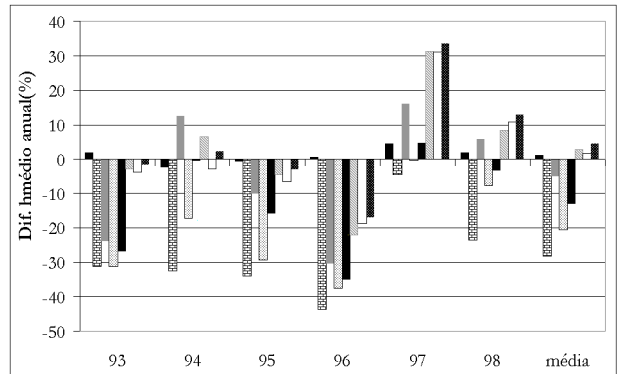


Figura 13 – Bacia do Ribeirão do Feijão.

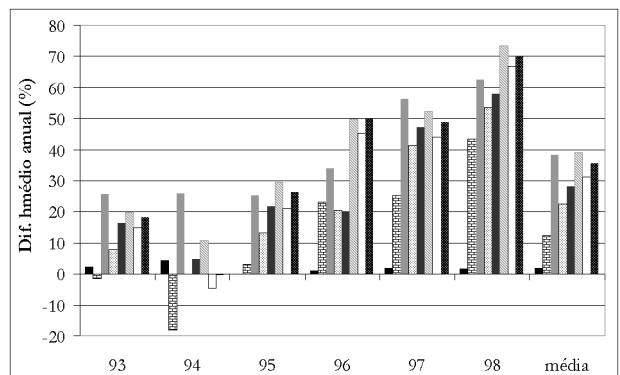


Figura 14 – Bacia de Sitio Esperança.

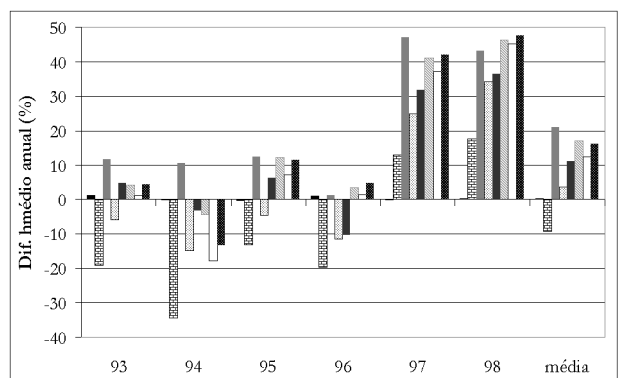


Figura 15 – Bacia de Meia Légua.

A bacia de Sítio Esperança teve um comportamento diferenciado, com o radar

apresentado leituras maiores que pluviômetro em quase todos os anos (exceto 1993 e 1994). Os métodos compostos permaneceram com diferenças positivas. A bacia de Meia Légua, contígua à de Sítio Esperança, tem comportamento parecido nos anos de 1997 e 98; nos demais, não apresenta um padrão constante.

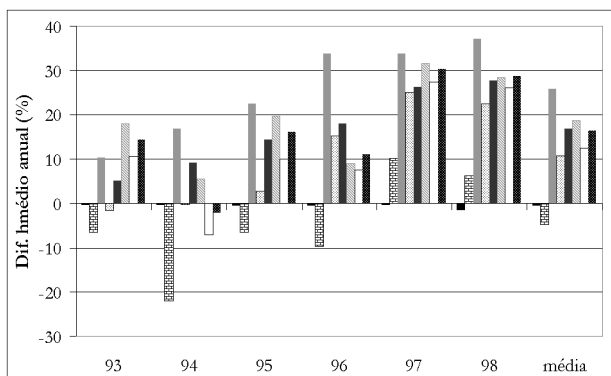


Figura 16 – Bacia de Boa Esperança do Sul.

O comportamento da bacia de Boa Esperança do Sul está mais próximo ao da bacia de Meia Légua.

Nos anos de 1993 a 1996, o radar apresentou diferenças negativas, que se mantiveram para a maioria dos métodos compostos em praticamente todas as estações, exceto para a de Sítio Esperança.

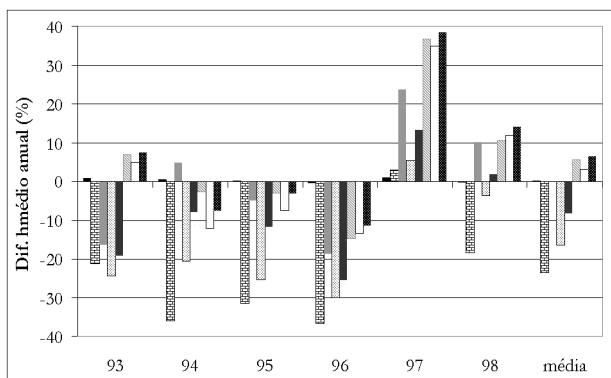


Figura 17 – Bacia de Santo Inácio.

O ano de 1994, além de ser mais seco, indicou as maiores diferenças negativas do radar. A tendência do radar registrar mais chuva nos anos de 1997 e 1998 pode ser visualizada em todos os gráficos. Quase todas as estações apresentaram diferenças positivas para o radar em 1997 e algumas também em 1998 (Boa Esperança do Sul, Meia

Légua, Sítio Esperança, 5C-021 e bacia total). Por outro lado, nas estações Ribeirão do Feijão, São José, Palmeiras e Porto, o aumento de registro de chuva nos anos de 1997 e 1998 não chegou a indicar diferenças positivas para o radar.

As bacias de Santo Inácio, Palmeiras, Porto, Gavião e 5C-021 têm comportamento semelhante; assim, indica-se apenas o gráfico da menor e da maior.

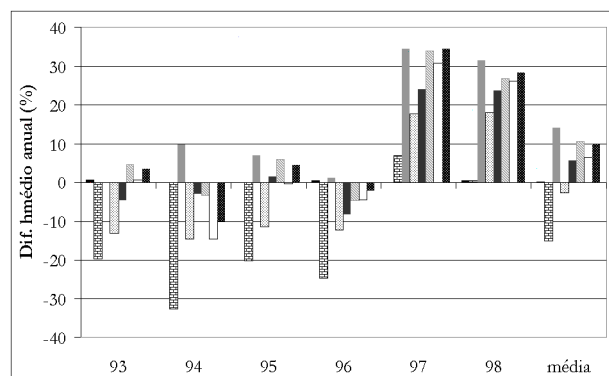


Figura 18 – Bacia 5C-021.

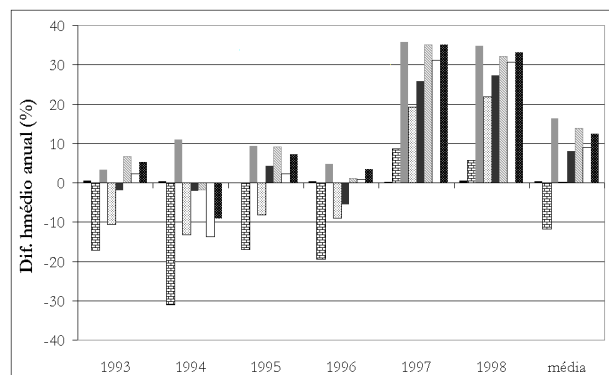


Figura 19 – Bacia Total.

O comportamento da bacia total manteve diferenças positivas nos anos de 1997 e 1998 para todos os métodos. Nos demais anos, o radar apresentou diferenças negativas e os métodos compostos apresentaram um comportamento variado. A média desses 6 anos mostra que o radar indicou alturas médias diárias inferiores e que todos os métodos compostos, exceto Brandes MO-5 e 7.5, indicaram alturas médias superiores às obtidas pelo método IQD.

Apresenta-se a seguir o comportamento da chuva anual para a bacia total. Verifica-se que o ano

de 1994 foi significativamente mais seco e que, nos anos de 1997 e 1998, o radar indicou uma precipitação maior que o pluviômetro.

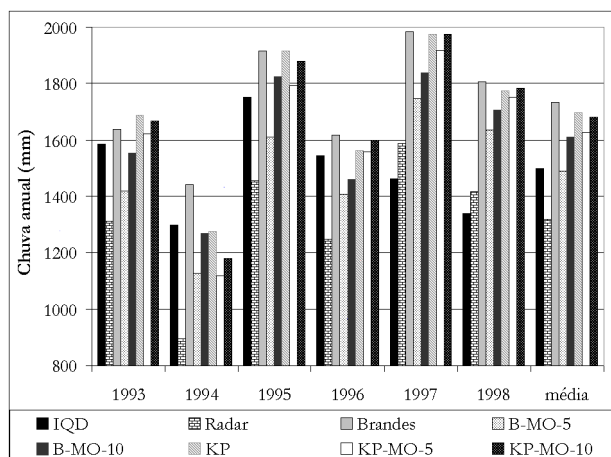


Figura 20 – Chuvas anuais – bacia total.

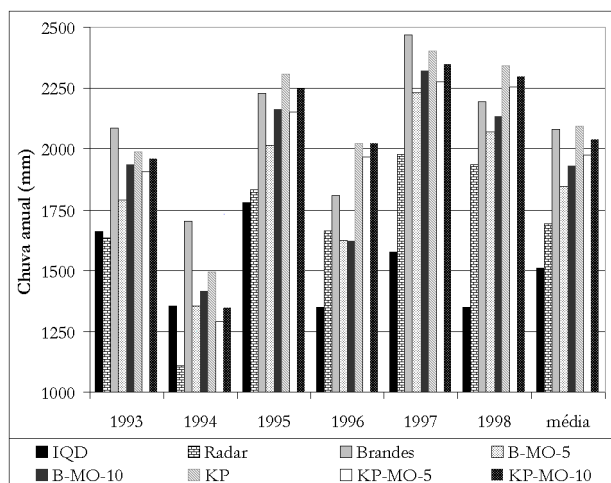


Figura 21 – Chuva anual – Bacia de Sítio Esperança.

Essas características mantiveram-se para todas as bacias, exceto para a de Sítio Esperança, conforme pode-se observar na figura 21. Nesta estação o radar somente indicou leituras menores nos anos de 1993 e 1994, sendo que, no primeiro, os valores do radar e pluviômetro foram muito próximos.

Analisou-se, a seguir, a distribuição de dias por faixa de umidade para todos os anos, para radar e pluviômetro, para verificar a existência de um comportamento diferenciado nos anos de 1997 e 1998. Os resultados estão apresentados na tabela 7. Observa-se que não há grandes variações nas

porcentagens por faixas para os dois métodos estudados.

Quanto ao comportamento relativo destes métodos, confirma-se a tendência do radar de apresentar uma maior quantidade de dias muito secos e menores nas faixas médio e úmido. Essa tendência diminui no ano de 1997, onde o radar chega a registrar um maior número de dias na faixa mais úmida. No ano de 1998, na faixa seca, a relação inverte-se, com o pluviômetro registrando um número maior de dias. Na faixa média, o radar registrou um valor mais alto, e os valores da faixa úmida são iguais. Chama a atenção, nestes dois anos, o comportamento relativo invertido por faixas. Verifica-se o comportamento diferenciado do ano de 1994, com um aumento na porcentagem de ocorrência de dias muito secos para os dois casos.

À semelhança dos outros estudos, os totais anuais médios no período foram plotados em função da área na figura 22. Para melhor visualização, apresentam-se somente os resultados para o radar e para o método IQD, uma vez que as outras curvas são decorrências dessas.

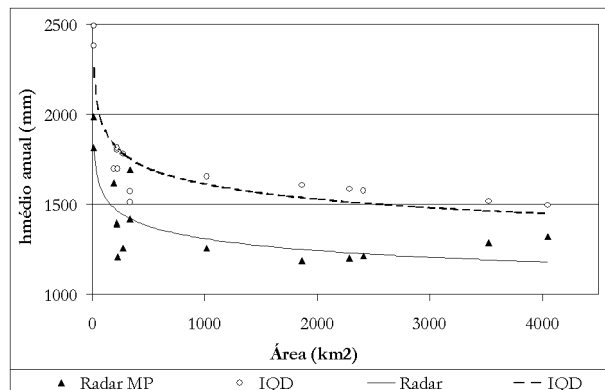


Figura 22 – Variação do hmédio anual em função da área.

O resultado esperado era uma queda em função do aumento da área de integração. Porém, observou-se um comportamento diferenciado nas sub-bacias Ribeirão do Feijão, São José, Meia Léguas e Sítio Esperança. A sub-bacia Sítio Esperança foi a única que apresentou o hmédio do radar superior ao do pluviômetro. As estações Meia Léguas e Sítio Esperança, que são contíguas e têm praticamente a mesma área, apresentam uma variação de hmédio de 300 mm (1400 a 1700 mm) nos dados de radar. Foram ajustadas duas curvas para ilustrar a relação entre a redução do hmédio e o aumento da área de integração. Os coeficientes de regressão obtidos foram 0,79 para IQD e 0,65 para o radar.

Tabela 7 - Distribuição percentual de dias por faixas de umidade por ano - P – método IQD; R – radar.

Ano	93		94		95		96		97		98		Total	
Faixa	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R
Seco	71,80	77,26	79,18	83,56	73,70	76,16	73,42	78,36	73,97	75,62	78,36	75,07	75,07	77,67
médio	24,73	20,82	18,08	15,89	21,92	21,37	24,38	19,18	24,11	20,27	19,18	22,47	22,05	20,00
úmido	3,56	1,92	2,74	0,55	4,38	2,47	2,47	2,74	1,92	4,11	2,47	2,47	2,92	2,37

A última etapa deste trabalho foi a comparação das isoietas por método de composição de campos de precipitação. Trabalhou-se com a média das alturas anuais do período de 1993 a 1998.

visivelmente maior e aparece uma pequena mancha mais chuvosa (1800 a 2000 mm) no divisor de águas. Já havia sido observado no artigo anterior que as isoietas diárias do método IQD têm um formato mais arredondado, que se mantém para as isoietas médias anuais.

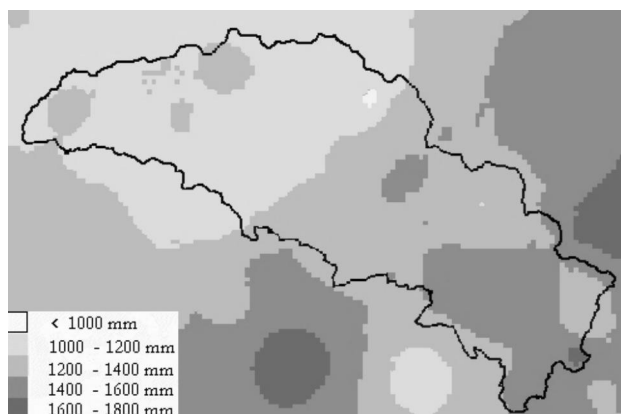


Figura 23 – Inverso do quadrado da distância (IQD).

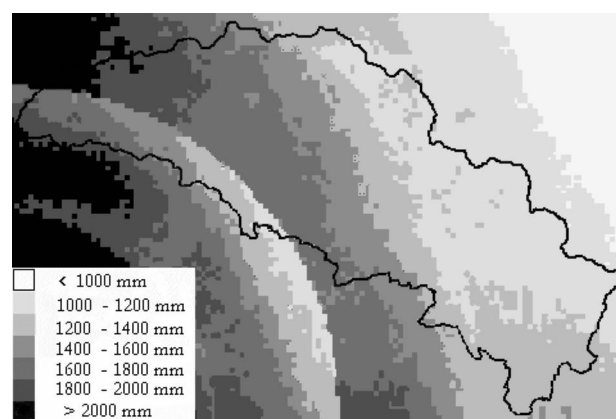


Figura 25- Radar.

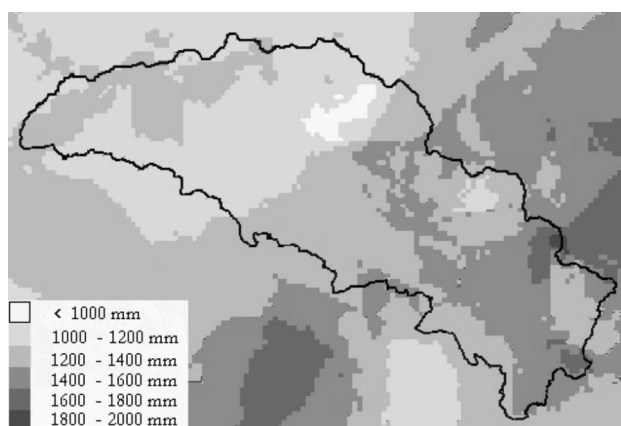


Figura 24 – Costa.

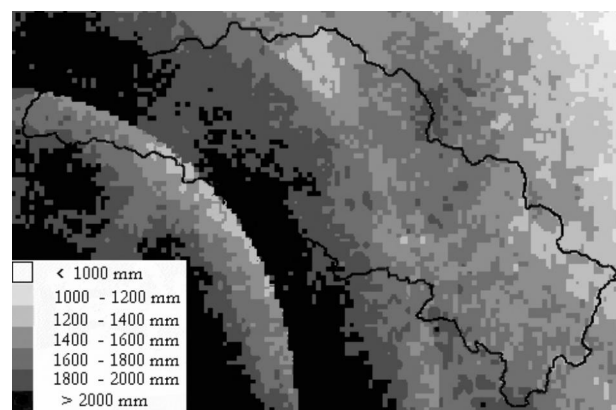


Figura 26 – Brandes.

Os métodos baseados em pluviômetros forneceram resultados parecidos: apresentaram a região mais seca próxima ao exutório da bacia. Os valores oscilaram de 800 a 1800 mm. No método de Costa, a mancha mais seca (800 a 1000 mm) está

No mapa do radar, as faixas de intensidade presentes são praticamente as mesmas, porém a configuração de distribuição está invertida: a região mais úmida está no exutório e a mais seca nas cabeceiras. Encontram-se regiões com alturas de

chuva na faixa 2000 a 2200 mm. Observa-se, no método do radar e seus derivados, a existência de círculos concêntricos ao redor do radar, resultantes da forma de composição do campo de precipitação de radar (recortes volumétricos para composição do CAPPI – *Constant Altitude Plan Position Indicator*).

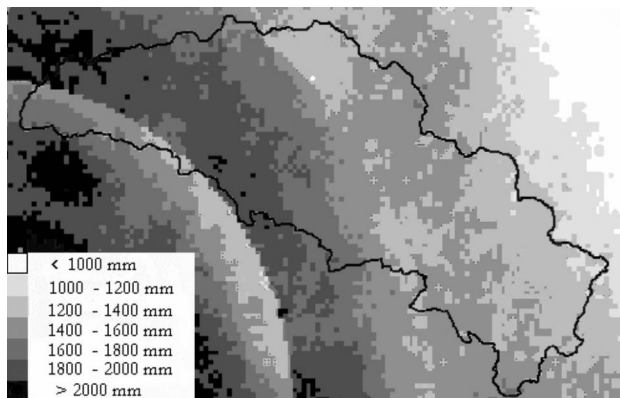


Figura 27 – Brandes MO-5.

O método de Brandes umedeceu a bacia como um todo, figura 26. Nota-se a influência dos pluviômetros no surgimento de uma mancha mais clara na região mais seca dos pluviômetros e na umidificação da cabeceira e da região mais central. A intensidade da influência dos pluviômetros diminui à medida que são introduzidas limitações no índice G.

No método KP observa-se a umidificação mais intensa da região do exutório da bacia, porém há uma intensificação na cabeceira também. Surgiram *pixels* na faixa mais intensa, que não tinham sido observados nem nas isoietas média do radar, nem do pluviômetro.

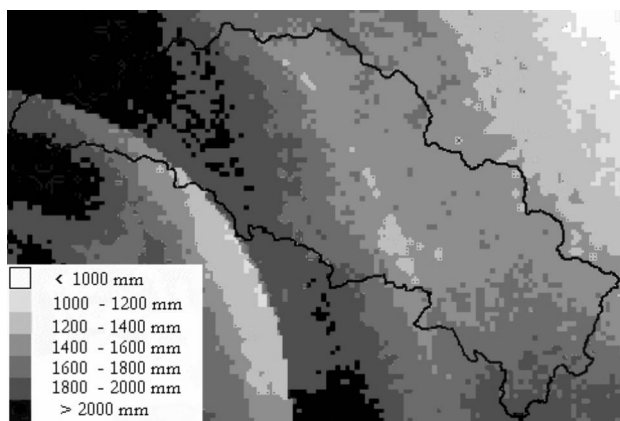


Figura 28 – KP.

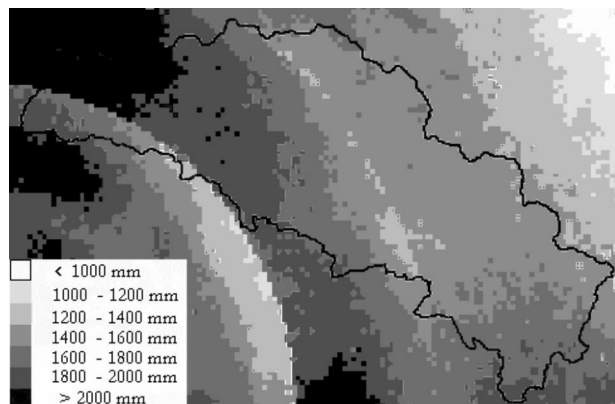


Figura 29 – KP MO-5.

CONCLUSÕES

Os campos de precipitação gerados pelos diversos métodos, aqui estudados, apresentam diferenças quantitativas, tanto na forma pontual, como nas alturas médias de chuva e também nos volumes diários e acumulados anuais. A distribuição espacial da chuva também é bem diferenciada para o campo de precipitação gerado pelo radar e seus derivados, em relação aos campos gerados por pluviômetros. As isoietas anuais indicam regiões mais chuvosas em pontos distintos da bacia.

Neste trabalho, o estudo não foi feito por evento de chuva, mas sim por dia. Portanto, um mesmo evento pode estar desdobrado em dois, caso ultrapasse as 7 horas da manhã do dia seguinte, e eventualmente um mesmo dia pode conter dois eventos independentes.

A superestimativa é observada nos métodos mistos sem limitação ou com limitação fraca (Brandes e KP 10), os quais fornecem valores pontuais máximos muito acima dos valores encontrados tanto nos campos de radar como nos pluviômetros.

O comportamento relativo entre radar e pluviômetro está relacionado com a intensidade dos eventos. Para eventos muito fracos, o radar tende a ler mais chuva, e os métodos mistos aumentam a diferença. Já para chuvas mais intensas, o radar lê menos chuvas e os métodos compostos diminuem a diferença em relação aos valores dos pluviômetros.

As diferenças anuais de pluviosidade também interferem nos desempenhos relativos. Nos anos de 1997 e 1998, onde se observou um comportamento diferenciado no radar, seus valores não foram tão inferiores aos dos pluviômetros e este

comportamento refletiu-se na análise das diferenças das alturas médias anuais. Ao analisar a distribuição anual de eventos por faixa de umidade, não foram verificadas modificações significativas, mas constatou-se que, somente no ano de 1997, o radar registrou valores mais intensos de chuva que os pluviômetros.

Ao se fazer a análise em função da área de integração, observou-se uma tendência da altura média de chuva diminuir com o tamanho da área. Os coeficientes de correlação, tanto dos valores pontuais máximos como das alturas médias, tenderam a crescer com o aumento da área. Observou-se uma região de turbulência nas bacias com áreas da ordem de 200 a 300 km², que também foi constatada nas curvas de dupla acumulação. Esse comportamento parece estar mais relacionado com as diferentes distribuições espaciais de chuva observadas por pluviômetros e por radar do que com a área da bacia.

De modo geral, foi confirmada a tendência do radar fornecer valores médios acumulados inferiores aos métodos derivados de pluviômetros e dos métodos mistos corrigirem esta distorção. Na análise de todo o período para a maior bacia, o radar fornece valores 12% menores que o IQD e os métodos compostos fornecem resultados que variam de -0,5% a +16% nas alturas médias diárias. Porém, este comportamento não é constante, no espaço e no tempo, podendo variar de -35 a +70 %.

A revisão bibliográfica não é conclusiva quanto ao uso de técnicas mistas e os resultados obtidos confirmam esta reticência, pois embora exista algum ganho ao trabalhar com técnicas mistas para grandes áreas de integração por períodos longos, a variabilidade espacial e temporal de comportamento gera incertezas quanto aos resultados.

Pelo exposto, para melhorar as técnicas de integração de dados, os métodos mistos devem prever, em seu algoritmo, formas de correção diferenciadas em função da faixa de umidade.

Os resultados aqui apresentados se referem a diferenças obtidas quando se empregam técnicas diferentes para elaboração de campo de precipitação, porém os resultados não estão referenciados a um valor real. Dessa forma, até o presente momento, não existe uma comparação em termos de melhor ou pior desempenho. É interessante dar prosseguimento a este estudo para avaliar o comportamento dos hidrogramas gerados por estes campos de precipitação, quando aplicados a um modelo hidrológico.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Instituto de Pesquisas Meteorológicas da UNESP – IPMet, por ter permitido o acesso aos equipamentos e fornecido os dados para geração dos campos de radar no formato necessário. Agradecem também aos revisores anônimos pelas sugestões e correções apresentadas.

REFERÊNCIAS

- ANDRÉASSIAN, V. et. al. (2001) Impact of imperfect rainfall knowledge on efficiency and parameters of watershed models. *J. Hydrology* v. 250, p. 206-223.
- BARNSTON, A. G.; THOMAS, J. L. (1983) Rainfall Measurement accuracy in FACE: a comparison of gage and radar rainfall. *Journal of Climate and Applied Meteorology*. v. 22, p. 2038-2052.
- COLLIER, C. G.; KNOWLES, J. M. (1986) Accuracy of rainfall estimates by radar, part III: application for short-term flood forecasting. *J. Hydrology* v. 83, p. 237-249.
- ROSSA, A. et al. (2005) *Use of radar observations in hydrological and NWP models – COST 717 – Final Report*. Disponível em: <http://www.smhi.se/cost717/doc.html>. Último acesso: 30/06/2005.

Precipitation Fields. Part II: Case Study.

ABSTRACT

A hydrological application was done in order to compare the behavior of precipitation fields of the methods selected in the preliminary study presented in part I. The influence of aerial integration on the performance of mean and maximum daily precipitation height was analyzed. Different behavior in relative performance of radar and rain gauge was seen as the precipitation height changed. Great differences were found in the mean annual area-averaged precipitation spatial distribution (isohyet) Differences of -12% in radar to rain gauge mean daily height were observed, and for the compound methods these differences varied from -0,5 to +16%.

Key Words: precipitation fields, radar, rain gauges