Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, 11-15 novembro 2006,
Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.47-56.

Estimativas de precipitação por sensoriamento remoto passivo: desempenho do satélite TRMM na bacia do alto Paraguai até Descalvados

Bruno Collischonn[1]
Daniel Allasia[1]
Walter Collischonn[1]
Carlos Eduardo Morelli Tucci[1]

[1]Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS)
Av. Bento Gonçalves, 9500 – CEP 91501-970 – Porto Alegre, RS
00094284@ufrgs.br

***Resumo*.** A correta quantificação da precipitação em termos de bacia hidrográfica é fundamental é básica para a imensa maioria dos estudos hidrológicos. No entanto, postos pluviométricos convencionais fornecem registros válidos apenas para um pequeno entorno do instrumento, gerando a necessidade de extrapolação dos dados. Além disso, em áreas de difícil acesso como o Pantanal, os pluviômetros se encontram muito esparsamente localizados, aumentando a incerteza.

Neste contexto, estimativas espaciais de precipitação podem se constituir numa ferramenta extremamente útil. Estas estimativas, embora pouco precisas quando comparadas com valores puntuais medidos no solo, fornecem uma boa noção da distribuição espacial das chuvas.

Neste trabalho, são analisados os campos de precipitação e as precipitações médias obtidos do satélite TRMM, lançado com o intuito específico de estimar precipitação nos trópicos. Os campos foram comparados com os obtidos a partir de dados de pluviômetros no solo sobre a bacia do Alto Paraguai até a Fazenda Descalvados. Os resultados são muito satisfatórios, mostrando que as estimativas deste satélite podem ser uma fonte alternativa de dados em caso de escassez de informação.

Palavras-chave: precipitação estimada por satélite, TRMM, bacia do Alto Paraguai.

Abstract. Reliable quantification of rain inputs on a watershed basis is of great importance for correct water balance studies, hydrological regionalization and rainfall-runoff simulation. Conventional rain gauges, however, provide data that are only valid for a small radius around the instrument, therefore needing extrapolation. Moreover, in remote areas such as the Pantanal, With this procedure, one commonly assumes rain rates that have less to do with the actually ocurred rain on this site.
Thus, areal estimates of precipitation obtained from remote sensing can become a very useful data source. Such estimates, although not as precise as punctual measurements, have the advantage to give very fair representations of spatial distribution of rain.
In this work, we analysed rain fields and mean rain heights derived from the Tropical RainfallMeasuring Mission (TRMM) satellite. Comparisons with ground data area made to the Upper Paraguai Basin, limited by the flow gauge of Descalvados. Results are very promising, showing that rain estimates provided by this satellite can be a reliable data source for basins with strong scarcity of data.

Keywords: satellite-estimated precipitation, TRMM, upper Paraguai Basin.

1. Introdução

Boa parte das atividades mais comuns da hidrologia necessitam de avaliações da quantidade de precipitação ocorrida em termos de bacia hidrográfica. Pluviômetros espalhados pela superfície terrestre coletam informações precisas da precipitação somente para uma pequena área localizada no entorno do dispositivo. O monitoramento detalhado sobre extensas áreas exige a existência de uma densa rede de pluviômetros, o que em certos casos é inviabilizado em áreas de difícil acesso como a floresta Amazônica e regiões montanhosas (de Angelis, 2004).

Com a prática de extrapolação/interpolação, admite-se uma estimativa de precipitação para áreas mais distantes dos pontos medidos sem qualquer indício físico real sobre a quantidade de precipitação verdadeiramente ocorrida (Conti, 2002).

Diversas metodologias para estimativa de precipitação através de imagens de satélite vêm sendo propostas. Estas metodologias se baseiam em imagens feitas por vários satélites, em diversas bandas do espectro eletromagnético. Destacam-se os satélites da série GOES (*Geoestationary Operational Environmental System*), e o satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), este último com o objetivo específico de medição de precipitação nos trópicos.

1.1. A estimativa de precipitação através de satélites

As imagens de satélite têm se constituído numa ferramenta para obtenção das mais diversas componentes do ciclo hidrológico. Mesmo antes do primeiro satélite meteorológico, o TIROS 1 (*Television and InfraRed Observation Satellite*) fornecer as primeiras imagens de topos de nuvens, em abril de 1960, já se supunha que a ocorrência e mesmo a intensidade de eventos chuvosos poderia ser inferida a partir da resposta espectral de conjuntos de nuvens (Petty, 1995).

O princípio da estimativa de precipitação de chuva através de sensoriamento em bandas no visível é o fato de que o brilho da luz do sol refletida por nuvens pode ser uma indicação razoável de sua espessura e conseqüentemente do volume de água em seu interior (Petty, 1995).

Da mesma forma, temperaturas de topo de nuvem baixas estão associadas a um maior desenvolvimento vertical de uma nuvem e conseqüentemente a uma taxa de precipitação maior. A temperatura do topo de nuvem pode ser obtida a partir de medições de reflectância em bandas de infravermelho. Não por acaso, essa banda é denominada de banda termal. As hipóteses contidas neste parágrafo e no anterior foram a pedra fundamental das primeiras tentativas de estimar precipitação a partir do espaço.

Porém, rapidamente se tornou evidente o fato de que nem toda a nuvem brilhante e nem toda nuvem com topo frio (ou seja, com reflectância baixa no IR) está efetivamente produzindo precipitação.

De fato, estimativas no infravermelho e no visível podem ser feitas apenas localmente, fornecendo maus resultados quando transpostas para outras regiões (Wilheit, 1986, Petty, 1995), sendo essa provavelmente a sua principal limitação.

Um divisor de águas na estimativa de precipitação por satélite foi o emprego de sensores de microondas que respondem de forma razoavelmente física à presença de água e/ou cristais de gelo nas nuvens. De forma geral, as estimativas baseadas em imagens de microondas são melhore do que as obtidas com base em imagens no infravermelho (Ramage et al., 2003).

Em países industrializados, poucos trabalhos que procuravam estimar chuva com imagens de satélite foram encontrados. Isto se deve provavelmente ao fato de que estes países possuem maior número de radares meteorológicos, os quais fornecem melhores representações da distribuição espacial das chuvas. Porém, o mesmo não vale para países em desenvolvimento, que em geral possuem esparsa rede de pluviômetros e dificuldades de toda ordem de acesso aos dados. Não parece ser por acaso, portanto, o número razoável de trabalhos encontrados que estimam precipitação via satélite sobre países da África.

No caso do Brasil, há trabalhos pontuais com o objetivo de estimar precipitação por satélite. Um dos pioneiros é o trabalho de Conti (2002), bastante completo e abrangente, que realizou ainda um estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul, obtendo resultados satisfatórios. Destaca-se, também, o trabalho de Araújo e Guetter (2005), que compararam estimativas de satélites de órbita baixa com medições de solo em pequenas e médias bacias do estado do Paraná, concluindo que há boa aderência das estimativas. Recentemente, Collischonn et al.(2006) mostrou que a estimativa de precipitação do satélite TRMM é bastante precisa quando comparada com dados de solo na bacia do alto São Francisco. Em aplicação semelhante para a bacia do Tapajós, Collischonn (2006) mostrou que além de dar bons resultados, a estimativa de satélite pode ajudar a identificar pluviômetros com problemas na leitura ou mal localizados, constituindo-se em ferramenta para consistência de dados.

Em função de ser o satélite mais bem equipado em termos de instrumentos para estimativa de precipitação, o satélite TRMM fornece estimativas mais precisas do que as técnicas indiretas, baseadas em imagens de outros satélites (Barrera, 2005), sendo usado inclusive para validação destas técnicas. Também Nicholson (2005) afirma que o projeto TRMM resultou em medidas consideravelmente mais confiáveis do que as estimativas feitas até então. Em vista disso e também do fato de que as séries disponíveis estimadas a partir deste satélite são mais longas, usar-se-ão exclusivamente dados de precipitação estimados pelo TRMM neste trabalho.

1.2. O Projeto TRMM e a estimativa 3B42

O satélite TRMM é um projeto em parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), e foi lançado em 27 de novembro de 1997 com o objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia o clima global (Kummerow et al. 2000).

O satélite possui órbita oblíqua não-heliossíncrona bastante baixa (inicialmente 350km, desde 2001 cerca de 403km), de forma que o período de translação é bastante curto (91 minutos), permitindo resoluções espacial e temporal comparativamente altos. Os instrumentos a bordo do TRMM são: imageador de microondas (TMI), radar de precipitação (PR), radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS), sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES), e sensor para imageamento de relâmpagos (LIS). Para refinar

as estimativas, existe um programa paralelo de validação em campo (Ground Validation ou GV), contando com radares meteorológicos em diversas estações ao longo da faixa intertropical.

O projeto TRMM gera diversos produtos (estimativas) de acordo com a combinação de instrumentos usada no algoritmo de cálculo. O produto 3B42, que será usado neste trabalho, usa estimativas de precipitação por microondas do TMI, corrigidas através de informações sobre a estrutura vertical das nuvens, obtidas do PR. O projeto TRMM possui ainda um programa de validação em campo, para minimização das diferenças entre estimativas por satélite e medições no solo. As estimativas são então convertidas para acumulados mensais através de interpolação para preencher as lacunas na continuidade temporal, decorrentes da baixa freqüência de passagem, gerando o produto 3B31. Este produto tem alta resolução espacial, de 0,25°, porém resolução temporal baixa. Os acumulados mensais são então usados para corrigir estimativas baseadas em imagens do infravermelho de satélites da série GOES, os quais possuem resolução temporal de 3 horas. Consegue-se assim um produto que combina resoluções temporal e espacial altas.

A grande vantagem deste produto em especial é sua alta resolução temporal, de 3 horas, e espacial, de 0.25°, na faixa entre 50°S e 50°N. Por outro lado, a desvantagem é a complexidade do algoritmo e o número de dados necessários para gerar o produto, de forma que os dados não são distribuídos de forma imediata. Mesmo assim, atualmente as estimativas de um mês qualquer são disponibilizadas até o dia 15 do mês seguinte, prazo que pode ser considerado relativamente curto. Os dados são disponibilizados gratuitamente no *site* da NASA, bastando ao usuário estar registrado.

Devido ao relativo sucesso do programa, a NASA prepara um programa para suceder o TRMM, chamado de GPM (*Global Precipitation Measurement*), prevendo para 2007 o lançamento de múltiplos satélites, equipados com sensores e radares similares ao anterior, porém com maior resolução (Flaming, 2004). Isto permite que haja certo otimismo entre hidrólogos, pois incrementa significativamente o volume de dados de chuva disponíveis, problema que tem sido um dos gargalos da modelagem hidrológica em países como o Brasil.

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi de avaliar as estimativas de precipitação do satélite TRMM sobre a bacia do Alto Paraguai até Descalvados, verificando se estas estimativas fornecem boa resposta tanto em termos médios sobre a bacia quanto em termos de campos de precipitação.

3. Material e Métodos

3.1. Caracterização da bacia do Alto Paraguai até a Fazenda Descalvados

A bacia do rio Paraguai situa-se entre as latitudes 14º e 17 º Sul e as longitudes 56º e 60º Oeste (**Figura 1**). As nascentes do rio Paraguai estão localizadas na serra dos Parecis e seus principais tributários são o rio Jauru, o Cabaçal e o Sepotuba (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2005). Neste trabalho, considerou-se o posto fluviométrico de Descalvados como ponto limite da análise. A montante do posto a bacia hidrográfica tem uma área de drenagem de cerca de 48.530 km^2.

Figura 1. Inserção da bacia do Alto Paraguai até Descalvados no território nacional

A escolha da bacia hidrográfica como unidade de comparação é oportuna, uma vez que se pretende futuramente utilizar as estimativas aqui avaliadas como dado de entrada em um modelo hidrológico precipitação-vazão, não só para esta bacia, mas para todas as demais sub-bacias que drenam para o Pantanal.

3.2. Metodologia de interpolação de dados

Os dados de precipitação, tanto os oriundos de pluviômetros quanto os de satélite, foram interpolados para grades regulares, com resolução de 0,1° (aproximadamente 10 km). Os dados diários de pluviômetros já se encontravam interpolados por ANA/GEF/PNUMA/OEA, no período de 1/1/1998 a 31/12/1999. Os dados de satélite, a partir da grade original de 0,25°, foram interpolados para a grade de 0,1°. Além disso, as estimativas do TRMM foram integradas para acumulados diários, de forma a permitir a comparação com os dados de solo. As interpolações de ambos foram feitas através da ponderação pelo inverso do quadrado da distância, tomando para interpolação os 5 postos (ou pixels) mais próximos sem falha.

A partir das séries de chuva interpoladas dos pluviômetros e do satélite, foi possível extrair médias diárias da precipitação sobre a bacia inteira. Foram feitas comparações entre as séries de chuvas médias e entre a precipitação acumulada total e mensal, bem como a dispersão entre chuva média de pluviômetros e do satélite no período entre 1/1/1998 e 31/12/1999.

Além disso, mais do que observar as diferenças médias em termos de bacia hidrográfica, é importante verificar como os campos de precipitação variam no espaço. Para cada célula da grade interpolada, foi calculada uma série de precipitações interpolada a partir dos dados dos pluviômetros. Da mesma forma, se calculou uma série interpolada a partir dos *pixels* do TRMM mais próximos. Estas interpolações geraram grades de 0,1x0,1º. Assim, foi possível calcular estatísticas comparativas em cada célula, possibilitando a identificação de regiões na bacia onde a similaridade entre as precipitações medidas pelos diferentes instrumentos (pluviômetros e satélite) seja maior ou menor. As estatísticas calculadas foram:

-erro relativo de volume precipitado: $$\mathrm{Errv}(\%) = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n} \mathrm{Psat}_i - \mathrm{Pplu}_i}{\sum_{i=1}^{n} \mathrm{Pplu}_i} \qquad \text{(eq. 1)}$$

-coeficiente de correlação: $$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Psat_i - \overline{Psat}\right)\cdot\left(Pplu_i - \overline{Pplu}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(Psat_i - \overline{Psat}\right)^2 \cdot \sum_{i=1}^{n}\left(Pplu_i - \overline{Pplu}\right)^2}} \quad \text{(eq. 2)}$$

onde $Psat_i$ é a precipitação interpolada a partir de estimativas do TRMM no intervalo de tempo i, $Pplu_i$ é a precipitação interpolada a partir de dados dos pluviômetros no intervalo i e a barra superior indica a média dos valores.

Os campos de precipitação de satélite foram obtidos a partir das séries estimadas em 144 *pixels* do satélite TRMM. Já os campos de precipitação interpolada de pluviômetros sobre a bacia foram obtidos a partir das séries históricas de 27 postos fluviométricos, situados no interior da bacia ou nos arredores (**Tabela 1**). Isto configura uma densidade de postos de aproximadamente 1 posto de chuva a cada 3.000km^2, que é um valor bastante baixo. A tabela 1 lista os postos usados no estudo.

Tabela 1. Relação dos postos pluviométricos utilizados

Código	**Nome**	**Longitude**	**Latitude**
01356002	Nova Mutum	-56.0842	-13.8206
01456004	Quebo	-56.1225	-14.6528
01456008	Rosário Oeste (PCD)	-56.4117	-14.8342
01457000	Tapirapuá	-57.7678	-14.8506
01457001	Tangara da Serra	-57.4681	-14.6319
01457003	Deciolândia	-57.5067	-14.1839
01457004	Próximo Ilhoca	-57.9253	-14.5842
01458002	Brasfor	-58.2342	-14.3853
01555000	Ponte Alta	-55.2967	-15.4078
01555005	São Jose da Serra	-55.3231	-15.8369
01556000	Nossa Senhora da Guia	-56.2317	-15.3550
01556005	Acorizal	-56.3656	-15.2067
01556006	Seco (Fazenda Seco)	-56.6119	-15.6361
01556007	Santa Edwiges	-56.1336	-15.6989
01557000	Porto Estrela	-57.2311	-15.3258
01557003	Barranquinho	-57.4750	-15.6367
01557005	São José do Sepotuba	-57.8106	-15.0933
01558000	Colônia Rio Branco	-58.1133	-15.2456
01558001	Ponte Cabacal MT-125	-57.8944	-15.4672
01558004	Alto Jauru (Particular)	-58.5878	-15.4400
01558005	Porto Esperidião	-58.4647	-15.8533
01559000	Pontes E Lacerda	-59.3536	-15.2156
01656001	Porto Cercado (PCD)	-56.3333	-16.4333
01656002	Poconé	-56.5450	-16.3203
01657003	Cáceres (PCD)	-57.6833	-16.0667
01657004	Flechas	-57.2564	-16.0364
01658000	Destacamento da Corixa	-58.3389	-16.3944

4. Resultados e discussão

4.1. Comparação entre precipitações médias

A partir da grade interpolada de precipitação do TRMM e dos pluviômetros, foi calculada a precipitação média diária sobre a bacia, no período de 1/1/1998 a 31/12/1999. Para efeito de comparação, a Figura 2 mostra a comparação entre as séries em um período de 6 meses.

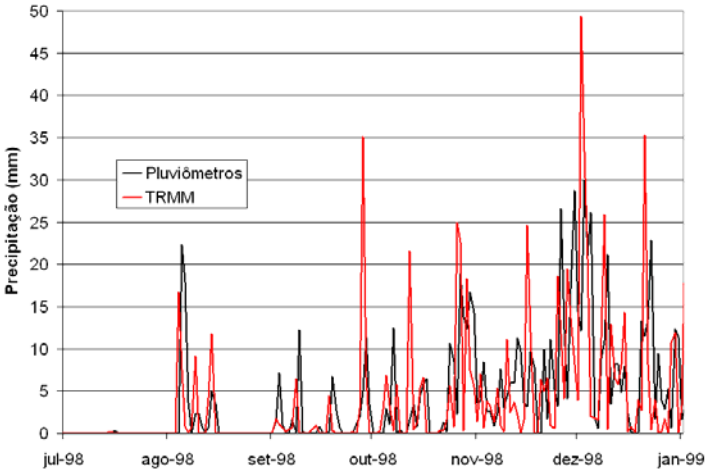

Figura 2. Comparação entre a precipitação média a partir dos pluviômetros e do TRMM sobre a bacia, período de 1/1/1998 a 31/12/1998

A Figura 2 mostra que, em termos médios, o TRMM estima de forma bastante razoável a precipitação sobre a bacia considerada. Em alguns picos, o satélite superestimou a precipitação, em outros subestimou. Outra característica importante é que o satélite TRMM estima corretamente a ausência de chuva. Assim, a alternância entre estações úmidas e secas, característica da região, é bastante bem representada.

Há uma tendência generalizada do hietograma oriundo do satélite estar um pouco adiantado em relação ao dos pluviômetros. Este descompasso entre a estimativa do satélite e a medição do pluviômetro já havia sido verificado em análises feitas para as bacias do São Francisco e do Tapajós (Collischonn, 2006) e ainda não foi completamente explicado, podendo estar relacionado com algum erro de processamento, tanto de leitura dos pluviômetros como de geração das estimativas de satélite, ou com uma tendência do satélite "prever" a precipitação antes que ela aconteça. Esta segunda hipótese parece ser menos provável, uma vez que o adiantamento médio é de um dia, o que parece ser um tempo bastante longo em comparação com o próprio processo de geração de chuva convectiva, predominante na região, que é de algumas horas.

Em termos de totais acumulados sobre a bacia os resultados também são bons. A Figura 3 mostra a comparação entre as precipitações acumuladas, de 1/1/1998 a 31/12/1999.

Novamente, se percebe que o TRMM acompanha bastante bem a variação sazonal. Há uma tendência do satélite superestimar a precipitação total, resultando numa diferença de 8% no total precipitado ao longo dos dois anos de comparação. Essa diferença é da mesma ordem das verificadas em trabalhos anteriores (Ramage et al, 2003, Collischonn et al., 2006), e os resultados podem ser considerados satisfatórios.

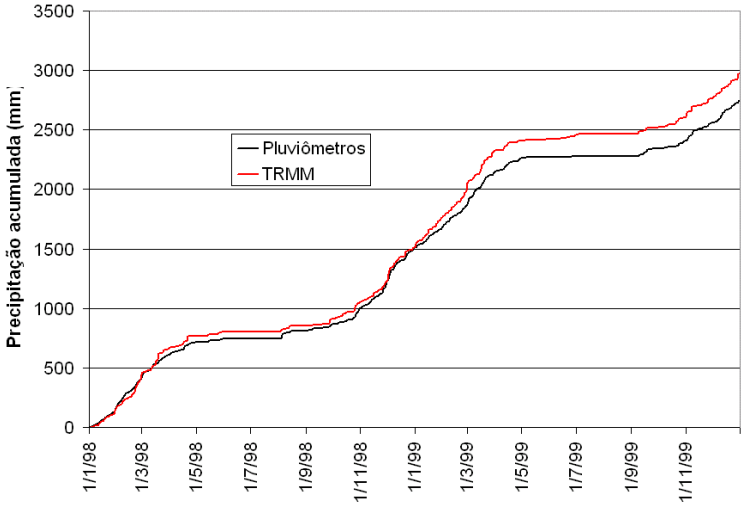

Figura 3. Comparação entre a precipitação acumulada dos pluviômetros e do TRMM

4.2. Comparação entre os campos de precipitação

Como dito anteriormente, mais do que analisar a estimativa de satélite a partir de comparações com as médias, se pretendeu espacializar as diferenças (ou erros). Para isso, foram calculadas inicialmente as diferenças relativas entre a precipitação interpolada das duas fontes em cada célula da grade de 0,1°. Além disso, para verificar a adequação na variabilidade temporal da precipitação, foi calculado o coeficiente de correlação entre as séries interpoladas em cada célula. Os resultados são mostrados na Figura 4.

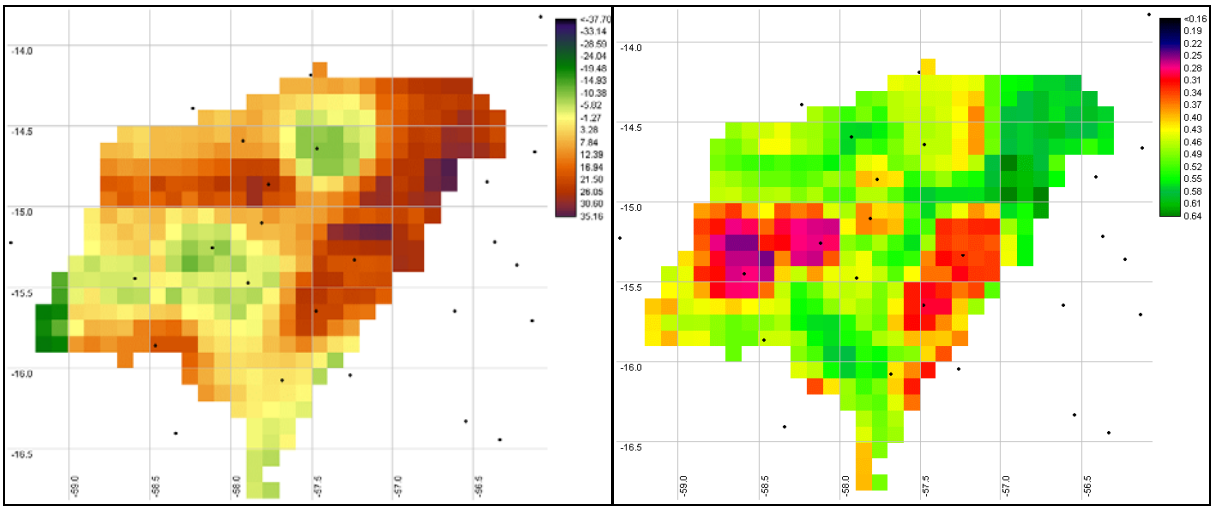

Figura 4. Espacialização das diferenças: campo de diferenças relativas (a) e de coeficientes de correlação (b) entre precipitação interpolada dos pluviômetros e do TRMM. Os pontos em preto representam a localização dos pluviômetros considerados

As diferenças relativas situaram-se na faixa de -22% (o satélite subestimou em 22% a precipitação total na célula) e +35% (superestimou em 35%). No entanto, a maior parte das células teve diferenças bem aceitáveis, em torno de -10% a +10%. Podem-se perceber áreas em torno de pluviômetros específicos cujo valor da diferença relativa destoa dos valores

encontrados no entorno, o que pode indicar a existência de pluviômetros mal localizados ou com problemas de medição (Collischonn, 2006).

Em termos do campo de coeficientes de correlação, os valores variaram de 0,25 a 0,64. Estes valores são relativamente baixos, devido ao fato de que não há uma tendência de sub- ou subestimativa do TRMM, conforme Figura 2. Essa aleatoriedade afeta fortemente o coeficiente de correlação. Mesmo assim, a maioria dos valores se situou em torno de 0,5, o que pode ser considerado um resultado razoável.

Além disso, as diferenças encontradas não podem ser supervalorizadas, uma vez que se está comparando as estimativas do TRMM com um campo de precipitações obtida de uma rede esparsa de pluviômetros, ao qual está associada uma série de incertezas e que não pode ser considerada como a "verdade de campo". É justamente em bacias como esta que as estimativas de satélite podem trazer boa contribuição.

5. Conclusões e sugestões

Neste trabalho se comparou o campo de precipitações e a precipitação média obtida das estimativas de precipitação do satélite TRMM com o campo de precipitações e a precipitação média obtida a partir da rede pluviométrica existente na bacia do Alto Paraguai até Descalvados.

As estimativas de precipitação fornecidas pelo satélite TRMM são consistentes. Elas conseguem reproduzir com bastante fidelidade o regime de chuvas da bacia do Alto Paraguai até Descalvados. As variações sazonais da chuva são bem representadas. Em alguns casos, sub- ou superestimam a precipitação de forma pontual, mas, quando ponderados sobre a bacia, apresentam resultados muito similares àqueles obtidos por interpolação de pluviômetros.

Uma vantagem adicional das estimativas de precipitação por satélite é o número insignificante de falhas nas séries temporais. Nas séries obtidas para este trabalho, os intervalos de tempo com falhas representavam apenas cerca de 0,1% da extensão total. Ressalta-se que as falhas ocorrem em grandes áreas simultaneamente, porém apenas por 1 ou 2 intervalos de tempo, diferentemente das séries de pluviômetros, em que as falhas ocorrem às vezes por longos períodos, porém dificilmente toda a rede falha simultaneamente.

Os resultados deste trabalho mostram que os dados de precipitação estimados a partir de satélites como o TRMM podem ser uma alternativa eficiente e barata quando comparados a instrumentos no solo, como estações pluviométricas com telemetria. Porém, são necessários testes mais aprofundados, de forma validar as metodologias aqui propostas. Por isso, recomenda-se o a comparação das estimativas do TRMM em outras bacias hidrográficas.

Devem ser exploradas técnicas para combinar as vantagens de cada um dos dados, ou seja, a precisão da medição dos pluviômetros e a boa cobertura espacial da estimativa do satélite, de forma a gerar campos de precipitação para posterior uso em simulação hidrológica ou regionalização.

Sugere-se implementar métodos geoestatísticos em substituição ao método do inverso do quadrado da distância para interpolação de dados de precipitação, independente da fonte de dados. Vários autores afirmam que o método de *kriging* é bastante adequado para este fim, por conseguir representar melhor o comportamento anisotrópico da distribuição espacial da chuva quando da existência de direções preferenciais, barreiras topográficas, etc.

Deve-se verificar a precisão das estimativas em bacias situadas em latitudes maiores, com predomínio de precipitação frontal, uma vez que a literatura aponta que os resultados dos satélites nestes locais são menos confiáveis. Da mesma forma, os resultados em bacias na Serra do Mar, por exemplo, onde há predominância de "chuva quente" (orográfica), devem ser analisados.

Uma das perspectivas mais interessantes do projeto é a possibilidade de estimar a precipitação sobre os oceanos, de forma até mais precisa do que sobre a terra, o que possivelmente representará um grande avanço em estudos de balanço hídrico global. Estudos de recarga de aqüíferos e disponibilidade hídrica em geral em regiões sem dados são outras aplicações imagináveis.

6. Referências

ANA/GEF/PNUMA/OEA. **Modelo de simulação hidrológica na bacia do Alto Paraguai**. Relatório final. IPH-UFRGS, Porto Alegre

Araújo, A. N.; Guetter, A. K. **Avaliação hidrológica da técnica *CMORPH* de estimativa de chuva por satélite sobre a bacia do Iguaçu**. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20 a 24 de novembro de 2005, João Pessoa – PB.

Barrera, D. F. **Precipitation estimation with the *hydro-estimator* technique: its validation against raingage observations**. VII Congresso da IAHS, Foz do Iguaçu, 3-9 de abril de 2005.

Collischonn, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. Dissertação de mestrado, IPH-UFRGS, Porto Alegre, 2006.

Collischonn, B, Collischonn, W, Tucci, C.. **Análise do campo de precipitação gerado pelo satélite TRMM sobre a bacia do São Francisco até Três Marias**. I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, 27-29 de agosto, Curitiba, PR, 2006.

Conti, G. N. **Estimativa da precipitação através de técnicas de sensoriamento remoto: Estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado, IPH-UFRGS, 2002.

De Angelis, C. F. **Análise dos sistemas precipitantes no Brasil a partir de dados processados em um integrador de informações adquiridas por pluviômetros, satélites, rede de relâmpagos e radares meteorológicos-PRECIBRA**. Projeto de Pesquisa. CPTEC-INPE, 2004.

Flaming, G. M. **Measurement of global precipitation**. Publicação da Administração Aeroespacial dos EUA (NASA), 2004.

Hiroshima, K. **Rainfall observation from Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Satellite**. Journal of Visualization, vol. 2, n° 1, pp. 93-98, 1999.

Kummerow, C.; Simpson, J.; Thiele, O.; Barnes, W.; Chang, A. T. C.; Stocker, E.;Adler, R. F.; Hou, A.; Kakar, R.; Wentz, F.; Ashcroft, P.; Kozu, T. Hong, Y.; Okamoto, K.; Iguchi, T.; Kuroiwa, H.; Im, E.; Haddad, Z.; Huffman, G.; Ferrier, B.; Olson, W. S.; Zipser, E.; Smith, E. A.; Wilheit, T. T.; North, G. Krishnamurti, T.; Nakamura, K. **The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit**. Journal of Applied Meteorology, vol. 39, pp. 1965-1982, 2000.

Nicholson, S. **On the question of the "recovery" of the rains in the West African Sahel**. Journal of Arid Environments 63, p. 615-641, 2005.

Petty, G. W. **The Status of Satellite-Based Rainfall Estimation over Land**. Remote Sensing of Environment 51, p. 125-137, 1995.

Ramage, K.; Jobard, I.; Lebel, T.; Desbois, M. **Satellite estimation of 1-day to 10-day cumulated precipitation: comparison and validation over tropical Africa of TRMM, METEOSAT and GPCP products**. The 2003 EUMETSAT Meterological Satellite Conference, 29 de setembro a 3 de outubro de 2003, Weimar, Alemanha.

Schultz, G. A.; Engman, E. T. **Remote Sensing in Hidrology and Water Management. Springer, 483p, 2000.**

Wilheit, T. T. **Some Comments on Passive Microwave Measurement of Rain**. Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 67, n° 10, 1986.

http://daac.gsfc.nasa.gov/data/ **Banco de dados da NASA.**

http://hidroweb.ana.gov.br/ **Banco de dados da Agência Nacional de Águas.**