



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GOP 32
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO IX

GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GOP

ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO QUANTITATIVA UTILIZANDO SATÉLITES METEOROLÓGICOS – CONPARAÇÃO COM INFORMAÇÕES DE SUPERFÍCIE E IMPACTO NAS PREVISÕES HIDROLÓGICAS NA BACIA DO IGUAÇU

César Beneti *

Leonardo Calvetti

Ieda Pscheidt

INSTITUTO TECNOLÓGICO SIMEPAR

RESUMO

A geração de energia elétrica através de usinas hidrelétricas depende da disponibilidade de recursos hídricos do seu reservatório e da captação pela bacia hidrográfica. Ambos estão condicionados a intensidade, a distribuição e a persistência do regime pluviométrico da bacia hidrográfica. O monitoramento da quantidade de precipitação incidente é por isso fundamental para determinar o volume de água que poderá ser armazenado e utilizado na geração de energia. Atualmente, o monitoramento da precipitação incidente nas bacias é, em geral, realizado por redes hidrometeorológicas de estações de superfície com pluviômetros distribuídos ao longo das mesmas. Apesar dos pluviômetros possuírem boa capacidade de estimativa de intensidade da precipitação, a representatividade espacial é muito baixa em função de sua característica de medida pontual. A fim de amenizar este problema, a medição por sensores remotos como satélites e radares, integrados com as medições feitas por pluviômetros, permite aprimorar a estimativa de precipitação tanto em amplitude quanto em fase. O objetivo deste trabalho é validar estimativas de chuva por satélite, a fim de possibilitar melhorias na identificação de chuvas intensas sobre a Bacia do rio Iguaçu. Esta melhoria permitirá a minimização de custos com operação e controle dos reservatórios de água utilizados para a geração de energia elétrica, além de servir de apoio para entrada de modelos hidrológicos. Foram testadas técnicas de estimativa de chuva por satélite, que utilizam as informações dos canais de infra-vermelho e de micro-ondas passivo, e comparados com os dados da rede hidrometeorológica do SIMEPAR, constituída por 37 estações meteorológicas e 42 estações hidrológicas distribuídas no Paraná, além de estimativas de radar meteorológico Banda-S Doppler. As análises realizadas com as séries temporais da chuva média espacial, para cada técnica, mostraram que, comparados aos pluviômetros, as estimativas de precipitação por satélite apresentam-se em fase com os dados em superfície, porém apresentam um viés, identificado com a subestimação da precipitação. Foram ainda analisados alguns eventos de chuva intensa sobre o Estado para os quais os campos de precipitação de cada técnica foram comparados com a telemetria e com a vazão observada na região da bacia do Iguaçu. As diversas estimativas de precipitação por satélite identificaram os eventos com boa aproximação espacial dos valores máximos, porém não conseguiram representar de maneira apropriada as regiões com chuvas predominantemente estratiformes e as convectivas. Já o radar conseguiu identificar de maneira mais apropriada as áreas de precipitação convectiva na região de cobertura. Este estudo, além de proporcionar melhorias quanto à obtenção da precipitação ocorrida sobre a bacia, irá colaborar significativamente com a modelagem hidrológica da região em questão.

PALAVRAS-CHAVE

Geração de Energia, Hidrometeorologia, Precipitação, Sensoriamento Remoto

1.0 - INTRODUÇÃO

Estudos hidrometeorológicos pressupõem uma boa qualidade na identificação e quantificação da precipitação em bacias hidrográficas além da boa calibração dos sistemas de medição. Um dos grandes desafios da meteorologia é alcançar o valor mais próximo da realidade de precipitação em uma determinada área. Sistemas convectivos podem gerar precipitações com valores acima de 50 mm em uma hora em áreas com menos de 10 km de diâmetro (2). Portanto, se a rede não for suficientemente densa, a identificação desta chuva pode ser prejudicada. Mesmo sistemas sinóticos como sistemas frontais possuem diversas células de convecção embebidas que geram diferentes taxas de precipitação em função da variabilidade do ambiente termodinâmico. Áreas densas de pluviômetros são normalmente encontradas em regiões urbanas e em grandes cidades. Bacias hidrográficas inteiras podem ser representadas por um grupo de três ou quatro estações e em diversas vezes ter subdimensionado o total acumulado na bacia. Ou então, se a chuva ocorrer em uma pequena área onde existe um pluviômetro a precipitação será superestimada. Neste trabalho apresentamos a comparação de valores diários de estimativas de precipitação por pluviômetros, radar e satélite para nove sub-bacias do alto e médio Iguazu a fim de verificar a correlação entre as estimativas.

2.0 - DADOS E METODOLOGIA

Para este trabalho foram utilizadas estimativas para nove sub-bacias do Rio Iguazu, compreendendo a área entre a Região Metropolitana de Curitiba até a cidade de União da Vitória, na fronteira com Santa Catarina. Estas sub-bacias compreendem uma área total de 24167 km², com áreas urbanas na sua porção mais a jusante e na maior parte coberta predominantemente com mata nativa e regiões de agricultura com erva-mate, fruticultura e hortaliças.

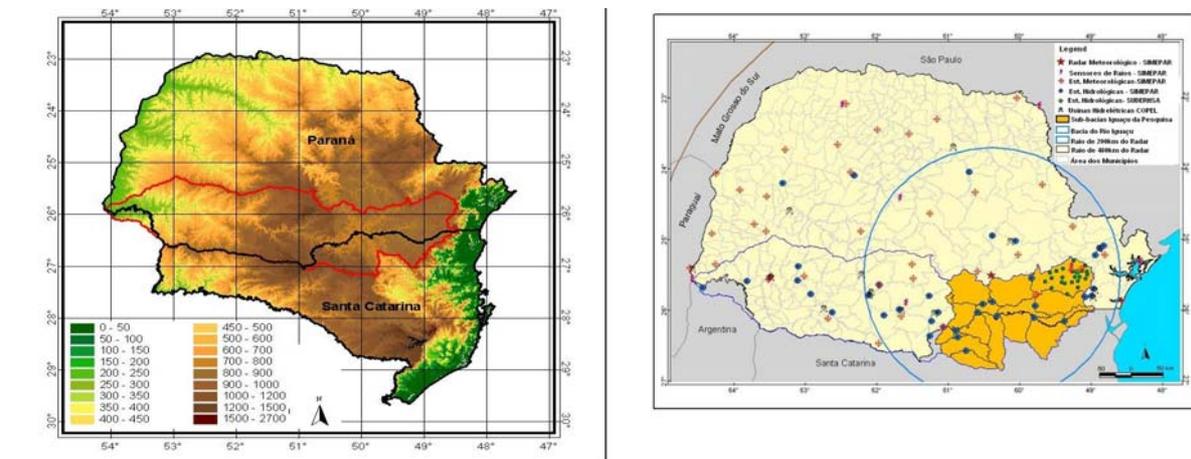


Figura 1: À esquerda a topografia dos estados do Paraná e Santa Catarina e representação da área da Bacia do Rio Iguazu (contorno em vermelho). A direita o mapa das principais sub-bacias e afluentes do Rio Iguazu. O Alto Iguazu compreende as áreas incrementais desde a cidade de Curitiba até União da Vitória, ou seja, da sub-bacia 1 até 9. O escoamento está no sentido leste-oeste e os pontos azuis corresponde a localização das estações hidrológicas e a exutória das sub-bacias. O escoamento nas áreas incrementais do Alto Iguazu são naturais, ou seja, não sofre influências por construções e operação de barragens, reservatórios artificiais ou comportas.

Foram utilizados dados diários de precipitação de 42 estações hidrológicas e 37 estações meteorológicas do SIMEPAR (Figura 1), estimativas de precipitação por satélite por meio da técnica CST (1) e estimativas por radar (3). Para compor o valor médio das bacias foram utilizadas as estações que estivessem sobre a bacia e estações que estivessem em áreas similares a da bacia e próximas até 10 km de distância. As estimativas por satélite foram obtidas por meio de imagens no canal infravermelho do GOES-12 com resolução espacial de 4 km X 4km e temporal de 30 minutos. As imagens de radar foram geradas com varreduras a cada 5 minutos com o

raio de alcance de 200 km.

3.0 - RESULTADOS

As estimativas por bacia foram importantes para determinar as diferenças e características da precipitação quando analisadas de um ponto de vista espacial e não pontual, pois em diversas aplicações como em simulações hidrológicas e cálculos para balanço hídrico são realizados para áreas específicas de interesse. Na Figura 2 podemos comparar as estimativas de precipitação por radar, satélite e pluviômetros para o mês de outubro de 2005 em nove sub-bacias do Rio Iguaçu. Durante este mês ocorreram precipitações acima da média e de grande impacto nas vazões do rio Iguaçu com inundações na cidade de União da Vitória (exutória da sub-bacia 9). Nas estimativas por radar as precipitações estiveram acima de 250 mm em quase todas as sub-bacias e acima de 350 em parte das sub-bacias 4,8 e 9. Verifica-se uma diferença nas estimativas por pluviômetros com acumulações acima de 350 nas sub-bacias 4 e 6. As maiores diferenças foram relacionadas as estimativas por satélite na área sudeste da figura com valores abaixo de 180 mm. Na sub-bacia 1 as estimativas por pluviômetros mostram valores baixos do que estimativas por radar e satélite, o que pode indicar a não detecção das chuvas nesta região. A semelhança quantitativa sobre as sub-bacias mostra a possibilidade do uso das informações integradas da rede de pluviômetros com estimativas por radar e satélite, onde se pode maximizar a detecção da precipitação por sensoriamento remoto com a ótima quantificação da precipitação por meio de pluviômetros.

Na Figura 3 estão plotados gráficos de precipitação diária para as sub-bacias 1, 4, 8 e 9 (ver localização na Figura 2) no período de chuva intensa sobre a bacia do Rio Iguaçu. Pode-se notar que em geral as maiores estimativas são por radar, seguidas por pluviômetros e por satélite. Embora exista esta diferença sistemática, em alguns momentos esta seqüência pode se inverter, conforme o tipo de fenômeno e no período em que ocorre. Em geral, para fenômenos de rápida duração (tempestades isoladas), as estimativas por radar são maiores, por terem maior resolução temporal que o satélite e maior resolução espacial que a rede de pluviômetros. Além disso, a presença de gelo em nuvens eleva a estimativa de precipitação por radar, podendo superestimar a precipitação. Em alguns casos, devido ao grande intervalo de tempo entre as varreduras por satélite (30 minutos ou mais) não há o registro de precipitação, mas verifica-se o registro nas estimativas por pluviômetros e radar. As estatísticas de acumulação mensal para toda a área das nove sub-bacias (Figura 4) indicam que nos meses de maior convecção isolada, ou seja, janeiro a maio de 2004 as estimativas por radar foram maiores, seguida por pluviômetros e satélite. O mesmo não ocorreu no verão de 2004-2005 devido ao fato de ocorrerem precipitações mais uniformes, com sistemas de maior distribuição espacial, como ZCAS.

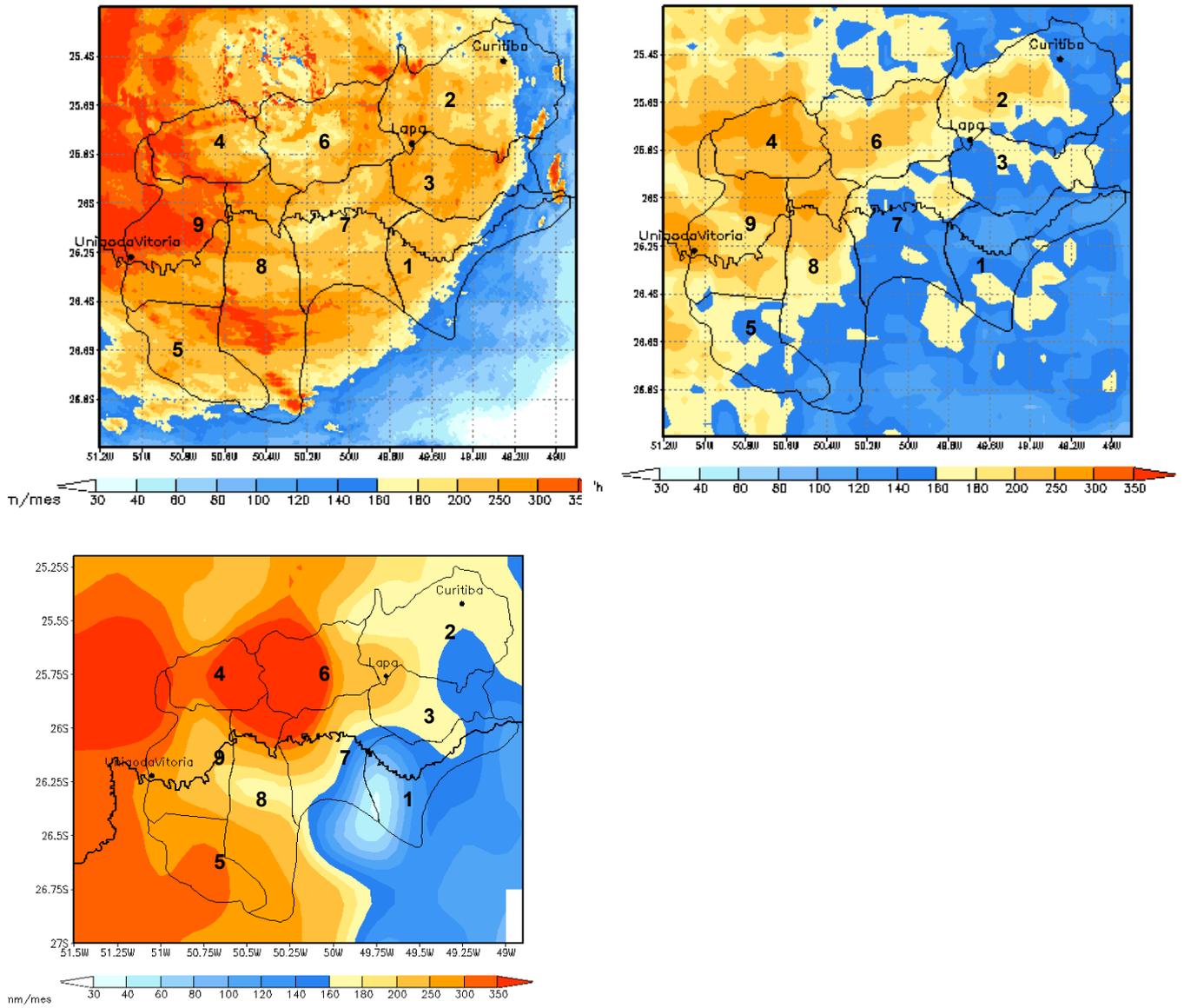
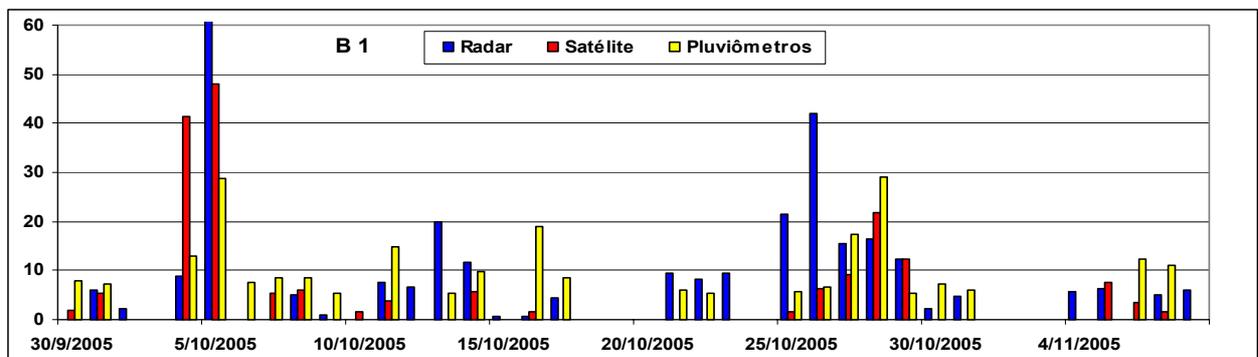


Figura 2: Acumulações mensais de precipitação por Radar (A), Satélite (B) e pluviômetros (C) para as sub-bacias do rio Iguazu para o mês de outubro de 2005. As sub-bacias estão numeradas conforme sua denominação. A sub-bacia 2 compreende a Região Metropolitana de Curitiba e a 9 na região de União da Vitória, cidade que mais sofre com inundações do Rio Iguazu.



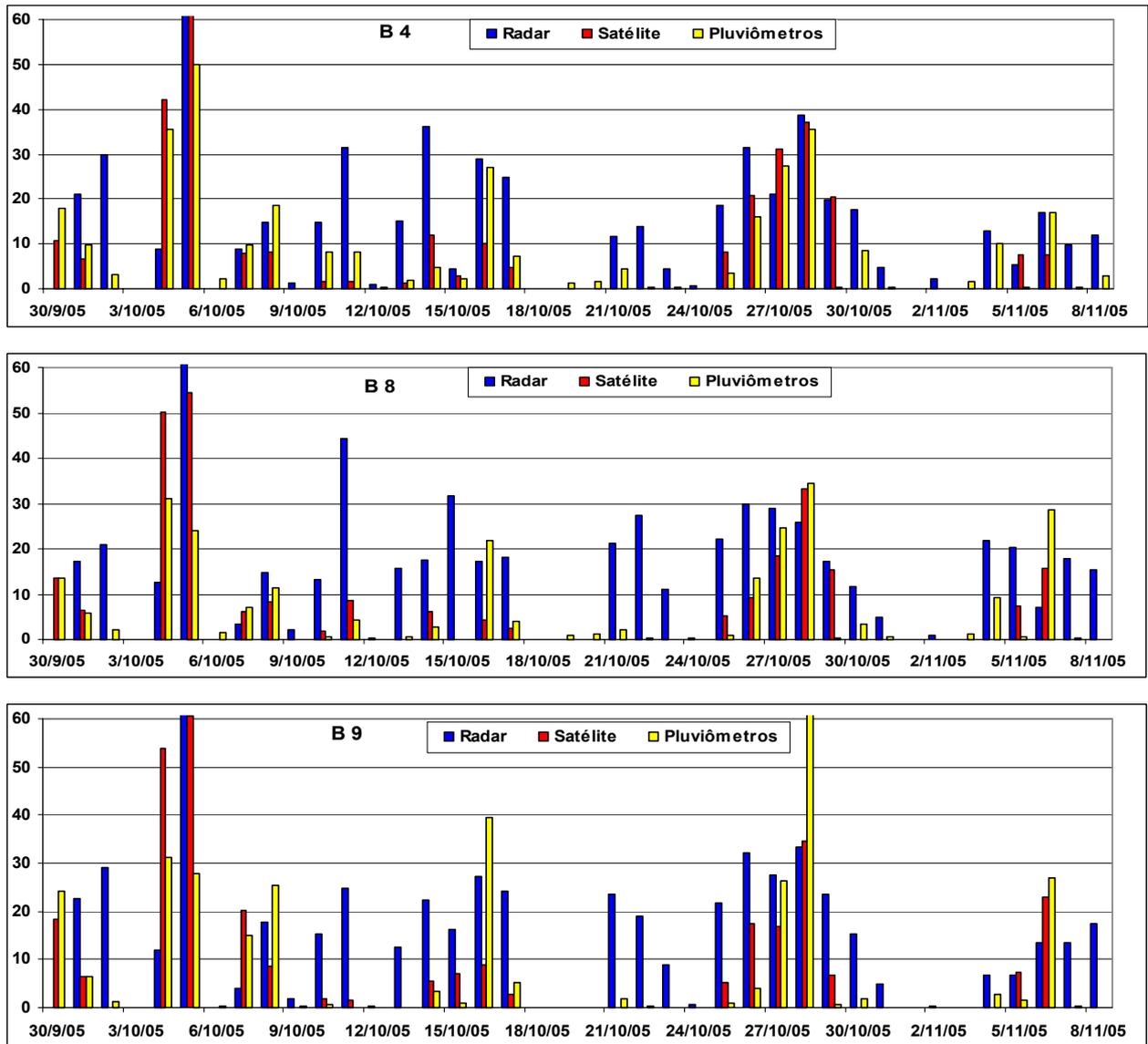


Figura 3: Precipitação diária em mm para as sub-bacias 1,4, 8 e 9 do Rio Iguaçu para o período de 30 de setembro à 8 de novembro de 2005, período de chuva intensa e vazões acima do nível crítico em União da Vitória (exutória da sub-bacia B9).

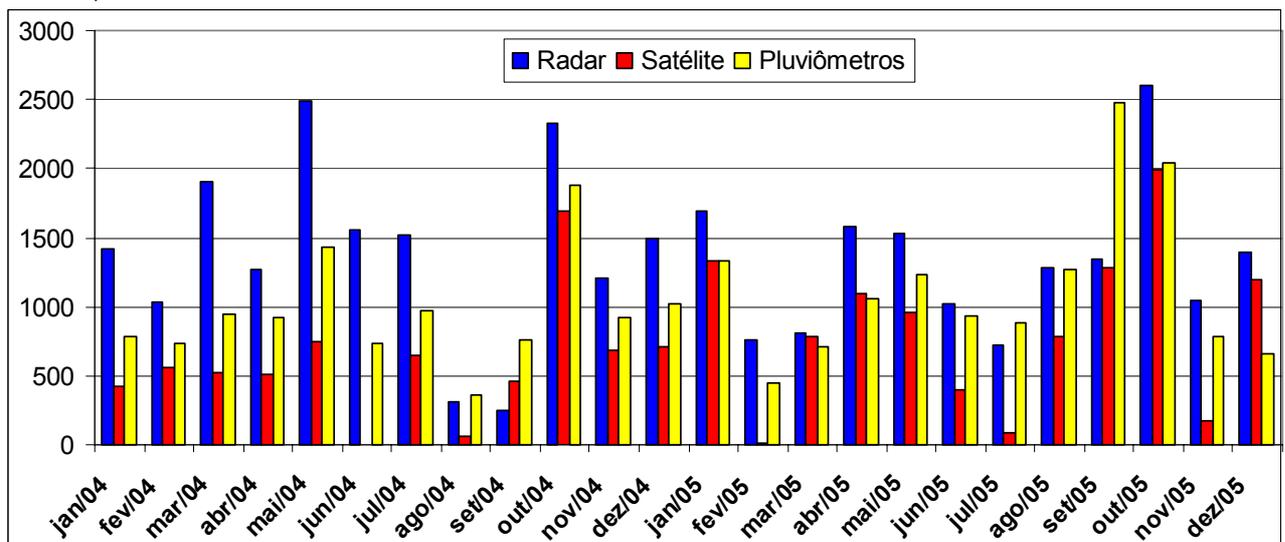


Figura 4: Precipitação Acumulada Mensal (em mm) em toda as 9 sub-bacias do sistema Alto e Médio Iguaçu para as

sub-bacias 1,4, 8 e 9 do Rio Iguaçu para o período de 30 de setembro à 8 de novembro de 2005, período de chuva intensa e vazões acima do nível crítico em União da Vitória (exutória da sub-bacia B9).

Na figura 5 estão representadas as vazões observadas e simuladas para o evento do dia 03 de abril de 2002. Neste evento as precipitações foram provocadas por áreas de instabilidade que atingiram a região da bacia do rio Barigüi, provocando chuvas de forte intensidade em curto espaço de tempo e de forma localizada. Devido à distribuição espacial não uniforme da chuva, as vazões simuladas com os pluviômetros ficaram bastante subestimadas, pois estes pluviômetros não foram capazes de representar as precipitações que ocorreram na bacia. Por outro lado, as simulações com dados de radar superestimaram as vazões. Isso pode ser explicado pelo fato de que os núcleos serem bastante intensos e da existência de precipitações de granizo nestes eventos. Os resultados indicaram que as medições de pluviômetros apresentam bons resultados para eventos de precipitação estratiforme. Por outro lado, simulações para eventos de precipitação com distribuição espacial irregular não apresentaram bom desempenho. Além disso, as simulações hidrológicas com precipitação estimada apenas pelo radar não apresentaram resultados satisfatórios, ora subestimando ou superestimando a vazão. Os melhores resultados foram produzidos com o campo de precipitação analisada com a Análise Objetiva Estatística (2). Embora radares meteorológicos possam prover estimativas de precipitação com alta resolução espacial e temporal para modelos hidrológicos e outras aplicações de gerenciamento hídrico, eles precisam ser integrados com pluviômetros para melhorar a quantificação da precipitação.

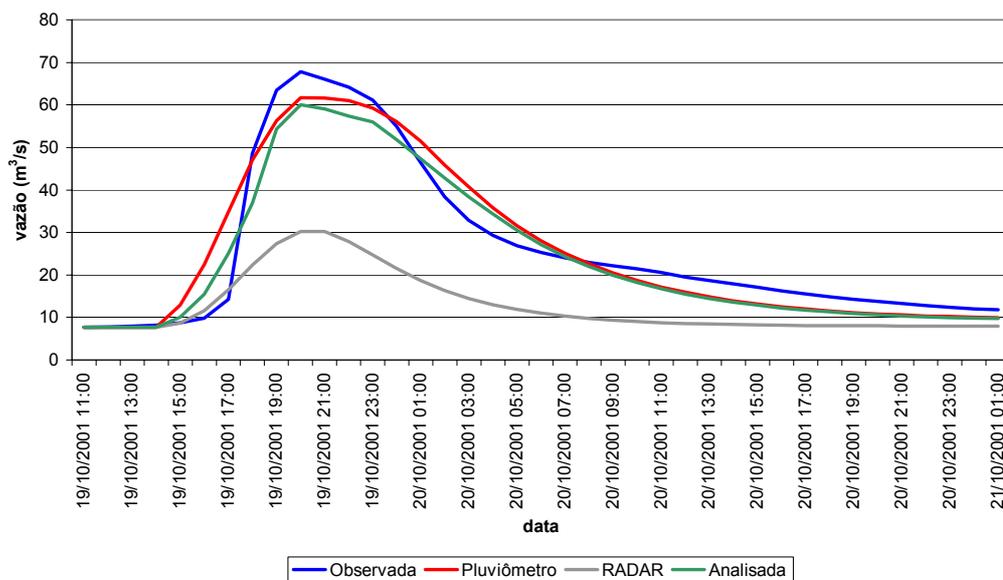


Figura 5: Hidrogramas de cheia do rio Barigüi observado (azul) e simulados, com a rede de pluviômetros (vermelho), com o radar (cinza) e com a análise integrada de pluviômetros e radar (verde), para o evento de 19 de outubro de 2001 (chuva estratiforme)

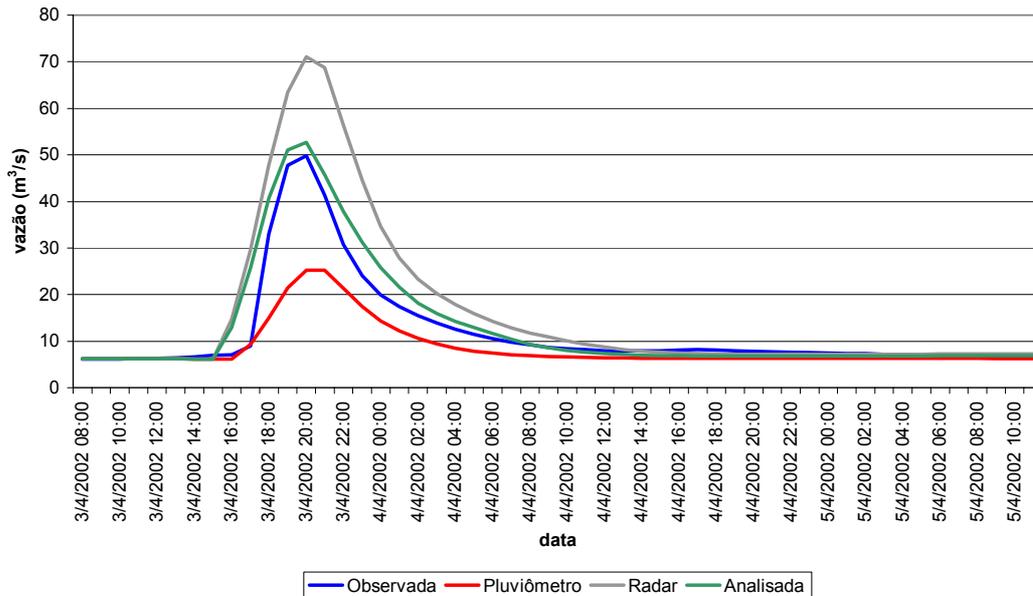


Figura 6: Hidrogramas de cheia do rio Barigüi observado (azul) e simulados, com a rede de pluviômetros (vermelho), com o radar (cinza) e com a análise integrada de pluviômetros e radar (verde), para o evento de 03 de abril de 2002 (sistema convectivo)

4.0 - CONCLUSÃO

A utilização de estimativas por meio de pluviômetros, radar e satélite proporciona um maior entendimento da ocorrência de chuva em bacias hidrográficas. O uso do sensoriamento remoto proporciona um importante conhecimento da distribuição espacial da chuva e dos fenômenos que a geraram. Embora existam diferenças entre as medições ficou claro que não se pode escolher apenas um sistema de medição. O ideal é realizar a integração das informações utilizando a boa quantificação por pluviômetros com a melhor distribuição espacial por radar e satélite. É importante salientar que para sistemas convectivos e tempestades isoladas, é conveniente que se tenham sistemas de medição com alta resolução espacial e temporal adequado. Neste trabalho concluiu-se que as diferenças sistemáticas são por conta das maiores estimativas por radar, depois pluviômetros e satélite, com diferença maior em períodos de convecção isolada.

Desta forma, apresentam-se alternativas para determinação do volume de precipitação incidente em bacias hidrográficas utilizando métodos de estimativas de precipitação com ampla cobertura espacial. A utilização de estimativas por radar e satélite auxilia na previsão da vazão afluente e o cálculo do volume de água a ser captado em um reservatório. A integração das informações de pluviômetros e estimativas por sensoriamento remoto pode corrigir a previsão de vazão em sistemas complexos de precipitação em que a ocorrência de chuva não é uniforme na sub-bacia.

Este trabalho também mostrou o avanço das tecnologias de sensoriamento remoto aplicado à geração de energia elétrica. Com a introdução de novos satélites meteorológicos estima-se que há um vasto campo de sistemas alternativos para melhorar o sistema de recursos hídricos do Brasil. Por exemplo, já está em operação o satélite geostacionário GOES-10 com exclusividade para a América do Sul provendo imagens a cada 15 minutos, anteriormente o intervalo era de 30 minutos ou mais dependendo da operação nos EUA.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Anagnostous, Emmanouil N. e Tadesse, Alemu, 2005: A statistical Approach to Ground Radar-Rainfall Estimation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. Vol. 22. P 1720-1732.
- (2) Beneti, Cesar, Calvetti, Leonardo, Pereira Filho, Augusto J., 2002: Estimativa da Precipitação por Radar e Pluviômetros na Região Metropolitana de Curitiba - Resultados Preliminares. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia CD-ROM, Foz do Iguaçu.

- (3) Calvetti, Leonardo, Beneti, César, Pereira Filho, Augusto, 2004: Comparação da Precipitação Diária por Radar e Satélite com Pluviômetros na Região Metropolitana de Curitiba. Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza- CE.
- (4) Negri, A.J., Xu, L., e Adler, R.F., 2002: A TRMM-Calibrated infrared rainfall algorithm applied over Brazil. Journal of Geophysical Research. 107,15pp.
- (5) Pereira Filho, Augusto, Nakayama, Paulo T. e Negri, Andrew, 2004: Gauge, radar and satellite areal rainfall estimates. Sixth International Symposium Hydrological Applications of Weather Radar. Melbourne, Austrália.
- (6) Yilmaz, Koray, Hogue, Terri S., Hsu, Kuo-Lin, Sorooshian, Soroosh, Gupta, Hoshin V., Wagener Thorsten, 2005: Intercomparison of Rain Gauge, Radar, and Satellite-Based Precipitation Estimates with Emphasis on Hydrologic Forecasting. Journal of Hydrometeorology. Vol. 6. p 497-517.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Cesar Beneti

Nascido em Dracena, SP em 1964

Doutorando, Mestre (1991) e Bacharel (1986) em Meteorologia pela USP

Empresa: Meteorologista Pesquisador do Instituto Tecnológico SIMEPAR, desde 1997

Leonardo Calvetti

Nascido em Jaguarão, RS em 1976

Doutorando e Mestre em Meteorologia (2001) pela USP e Bacharel (1998) em Meteorologia pela UFPel, RS

Empresa: Meteorologista Pesquisador do Instituto Tecnológico SIMEPAR, desde 2004

Ieda Pschiedt

Nascida em São Bento do Sul em 1980

Mestre em Meteorologia (2005) pela USP e Graduada (2000) em Física pela UFPR

Empresa: Instituto Tecnológico SIMEPAR, desde 2004