

Aplicação do TRMM para acompanhamento de eventos de cheia do Rio Madeira

Ana Cristina Santos Strava Correa¹
Luiz Gilberto Dall'Igna¹, Marcelo José Gama da Silva¹, Iago Silva Barbosa^{1,2}, Astrea Alves Jordão¹, Thiago Bortoleto Rodrigues¹

¹Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM/PV
Av Lauro Sodré, 6.500 - 76803-260 –Porto Velho - RO, Brasil
ana.strava@sipam.gov.br, luiz.dalligna@sipam.gov.br, marcelo.gama@sipam.gov.br,
iago.barbosa@sipam.gov.br, astrea.jordao@sipam.gov.br e thiago.rodrigues@sipam.gov.br

²Faculdade de Rondonia – FARO
Br 364 - Km 6,5, Porto Velho - RO, 78914-751
iago_sb@hotmail.com

Abstract. This paper aimed to study TRMM - 3B42RT (Tropical Rainfall Measurement Mission) as one of the input data for modeling flood at Madeira river basin. Recent extreme events on heavy rain over more than 980.000 square kilometers of Madeira basin caused a major concern about prediction tools development at Protection System of Amazonia (SIPAM). The analyses were conducted to evaluate TRMM registers over level impact measured at five monitoring stations at Brazilian border within Rondonia's State. TRMM data was separated over three major tributaries as for Beni, Mamoré and Guaporé and Thiessen equation was applied over these basins in order to compare volumes of effective rain discharge. The results showed a potential use of TRMM as input data, with sensibility for modeling level variation at these stations.

Palavras-chave: TRMM, flood monitoring, Rio Madeira.

1. Introdução

O Sistema de Proteção da Amazônia faz o acompanhamento dos eventos hidrológicos como estratégia de apoio à Defesa Civil dos Estados da Amazônia. Em particular, na bacia do Rio Madeira, a cidade de Porto Velho recebe alerta de cheia a partir de modelo hidrológico desenvolvido pelo SIPAM em parceria com a Agência Nacional de Águas (Corrêa et al. 2007). Esse modelo considera a propagação da onda de cheia baseada na equação de continuidade do fluxo entre as estações de monitoramento de Abunã (15.32.00.02) e Porto Velho (15.40.00.00). A proximidade das estações permite a antecipação do evento de 18 a 24 horas. Por outro lado o erro das previsões é baixo, girando em torno de $\pm 0,4\%$.

Recentemente, a construção do complexo hidrelétrico do rio Madeira, com as UHE de Jirau e Santo Antônio entre as duas estações de controle, reduziu a aplicabilidade do modelo que só tem validade a partir de vazões afluentes da ordem de $38.550 \text{ m}^3/\text{s}$. Isso, por causa da exigência da outorga de direito de uso Resolução/ANA Nº 092 de 9 de abril de 2012. Acima desse valor, a operação das mesmas passa a ser a fio d'água, permitindo que o modelo tenha uma relativa independência da abertura ou fechamento das comportas ou vertedouros.

A cheia de 2014, no entanto, imprimiu maior urgência à necessidade de se ampliar o tempo de previsão da cota nos centros urbanos banhados pelo rio Madeira. Com ela, veio também a de desenvolvimento de modelo chuva-vazão, uma vez que as estações disponíveis pela rede nacional operada pela ANA/CPRM, excluindo a de Abunã (15.32.00.02) deixam a área de captação do Rio Beni e Madre de Dios sem cobertura.

Por outro lado, a dimensão da bacia do Rio Madeira é compatível com o produto TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission), 3B42RT, cuja informação é adquirida com resolução espacial de 25km e a cada 3 horas. Collischonn 2007, confrontou as informações do TRMM com pluviógrafos existentes na bacia do Alto Paraguai. Seus resultados indicaram que a estimativa por satélite conseguiu reproduzir o regime de chuvas quanto à sazonalidade e,

acrescenta que a diferença média entre os dois sistemas foi de $\pm 10\%$. O mesmo estudo aponta como vantajosa a utilização dos dados satelitais devido à baixa ocorrência de falhas. As mesmas representaram cerca de 0,1% da série histórica avaliada.

No contexto do presente trabalho, o registro de chuvas por sensoriamento remoto encontra justificativa por três principais razões:

- Escassez de pluviômetros uniformemente distribuídos na região amazônica;
- Necessidade de monitoramento e recebimento das informações em tempo "quase" real para emissão de alertas;
- Grande extensão da área monitorada (980.000 km²).

2. Materiais e Métodos:

O desenvolvimento de um sistema de alerta chuva-vazão, para atendimento das comunidades urbanas ao longo dos rios Guaporé, Mamoré e Madeira compreende a região geográfica apresentada na Figura 01.



Figura 01 – Abrangência da bacia do Rio Madeira com exutório em Porto Velho, divisão das sub-bacias segundo divisão hidrográfica de Ottophasteter nível 3 (ANA) e localização das estações utilizadas para avaliação do impacto das chuvas registradas pela missão TRMM.

A Tabela 1 apresenta o resumo das estações a montante de Porto Velho e suas respectivas áreas de contribuição, cujas variações de nível integram não somente as chuvas, como também os demais processos do balanço hídrico ocorridos nas sub-bacias hidrográficas por elas representadas.

Tabela 1. Estações fluviométricas da rede nacional no trecho a montante de Porto Velho.

Localidade	Código Estação	Área de drenagem (km ²)	Lat	Long	Bacias de Abrangência
Porto Velho	15.40.00.00	976000	-08°44'54"	-63°55'10"	Abunã, Beni, Mamoré e Guaporé
Abunã	15.32.00.02	921000	-09°42'11"	-65°21'53"	Beni, Mamoré e Guaporé
Guajará-mirim	15.25.00.00	609000	-10°47'33"	-65°20'52"	Mamoré e Guaporé
Morada Nova-jusante	15200000	31100	-09°47'50"	-65°31'39"	Abunã
Príncipe da Beira	15326000	341000	-12°25'36"	-64°25'31"	Guaporé

Para verificação da correspondência dos volumes de chuva registrados pelo TRMM e a consequente alteração do nível no rio, os registros de chuva estimada pelo satélite foram adquiridas diretamente da página http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi/instance_id=TRMM_3B42RT.

Os dados de chuva foram segregados por meio de recorte utilizando ferramenta de SIG sobre shapefile das sub-bacias, a saber: Guaporé, Mamoré, Beni/Madre de Dios, Abunã e da área de drenagem correspondente ao Alto Madeira.

Para exemplificar esse procedimento, a Figura 2, apresenta a tela de visualização dos dados do satélite para precipitação acumulada no mês de janeiro de 2014 e a Figura 3, a mesma informação especializada sobre as bacias de estudo para o mesmo mês.

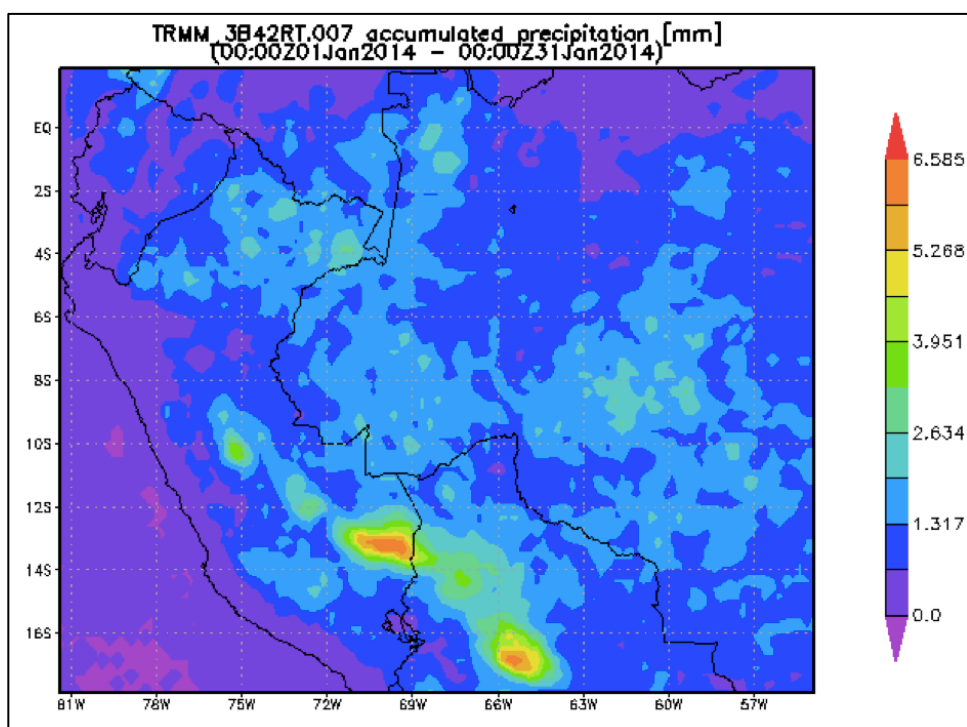


Figura 2- Distribuição da precipitação acumulada estimada pelo TRMM 3B42RT para o mês de janeiro de 2014.

Para estimativa da precipitação média distribuída sobre a bacia aplicou-se o método de Thiessen (média ponderada - Equação 1) para as sub-bacias que compõe a área de drenagem do rio Madeira, até Porto Velho.

$$Pm = \frac{\sum(pi*ai)}{\sum ai} \quad (1)$$

Onde pi = precipitação média acumulada sobre a sub-bacia 'i'
 ai = área de drenagem correspondente à sub-bacia 'i'
 Pm = precipitação media distribuída na área total da bacia.

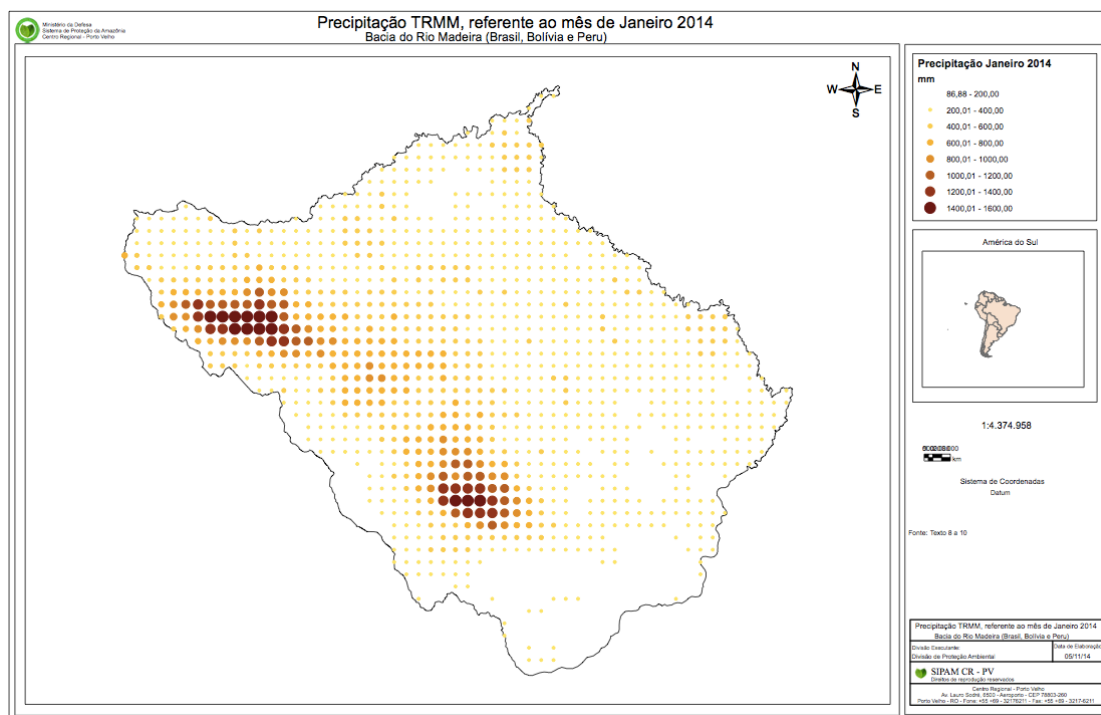


Figura 3- Distribuição da precipitação acumulada TRMM 3B42RT para o mês de janeiro de 2014 segregada sobre recorte da área de drenagem a montante de Porto Velho.

3. Resultados e discussão:

A precipitação estimada por satélite foi avaliada quanto ao impacto sobre os cotogramas das estações selecionadas. A precipitação média foi calculada para as áreas de drenagem correspondentes a cada exutório das sub-bacias formadoras do Rio Madeira.

Os resultados foram apresentados sobre três aspectos: TRMM e outros registros meteorológicos; TRMM e a modulação dos cotogramas; Correlação entre volume de precipitado e volume escoado superficialmente para a sub-bacia do rio Guaporé.

3.1- TRMM e outros registros meteorológicos:

Ao longo do período da cheia histórica do rio Madeira, os meses de janeiro e fevereiro de 2014 foram os mais críticos segundo Vauchel, 2014 e Silva et al., 2014, onde foram tabuladas as chuvas registradas nas estações pluviométricas da Bolívia e do Brasil. Assim sendo, tomou-se o mês de janeiro de 2014 para comparação entre a distribuição espacial gerada pelo TRMM e as anomalias de precipitação geradas pelo método dos Quantis. A Figura 4 (a) apresenta a distribuição das anomalias registradas nas estações pluviométricas localizadas na bacia do rio Madeira a montante da UHE Santo Antônio. A região geográfica apontada também é corroborada pelo registro do TRMM para o mesmo mês - Figura 4 (b).

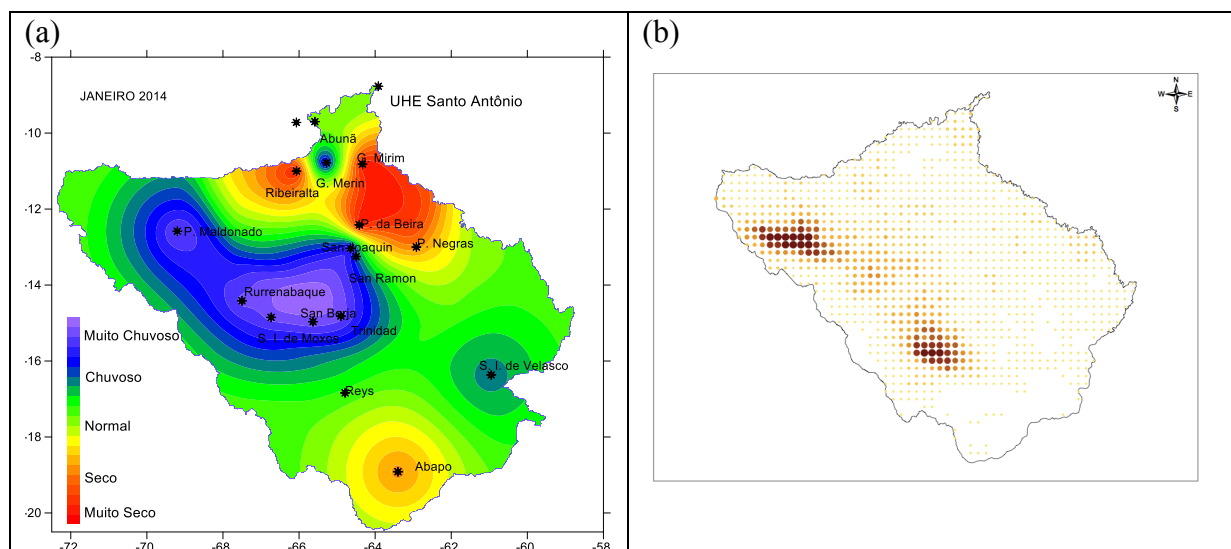


Figura 4 – Anomalias de precipitação registradas em janeiro/2014 (a) e distribuição de precipitação acumulada pelo TRMM no mês de janeiro/2014 (b)

3.2- TRMM e a modulação dos cotagramas:

Após a segregação dos registros do TRMM sobre as sub-bacias foi possível a análise da influência da precipitação sobre a modulação dos cotagramas. A Figura 5 apresenta o registro da intensidade de chuvas registradas pelo satélite sobre as 3 principais sub-bacias formadoras do rio Madeira. O gráfico registra o dia mais crítico do período de cheia de 2014, quando no dia 03 de março, a precipitação atingiu a máxima concentração sobre a área de drenagem, com mais de 50% das chuvas sobre a bacia do Rio Mamoré.

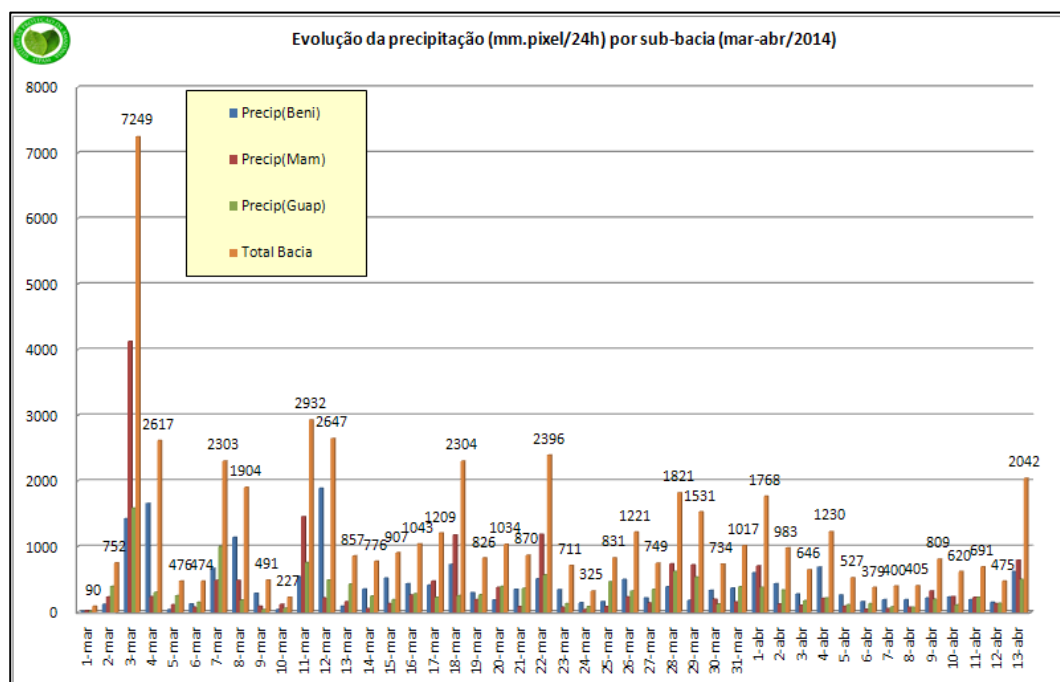


Figura 5- Gráfico com a precipitação registrada pelo TRMM no período de março e abril de 2014.

Já a Figura 6 foi gerada para o período correspondente ao ano hidrológico out/2013-set/2014 e apresenta o cotograma da estação fluviográfica de Porto Velho comparado às precipitações registradas pelo TRMM ao longo do mesmo período. Observa-se que o lapso de

tempo entre o ápice da chuva na bacia (03/03/14) e o clímax do nível em Porto Velho (30/03/14) foi de 27 dias.

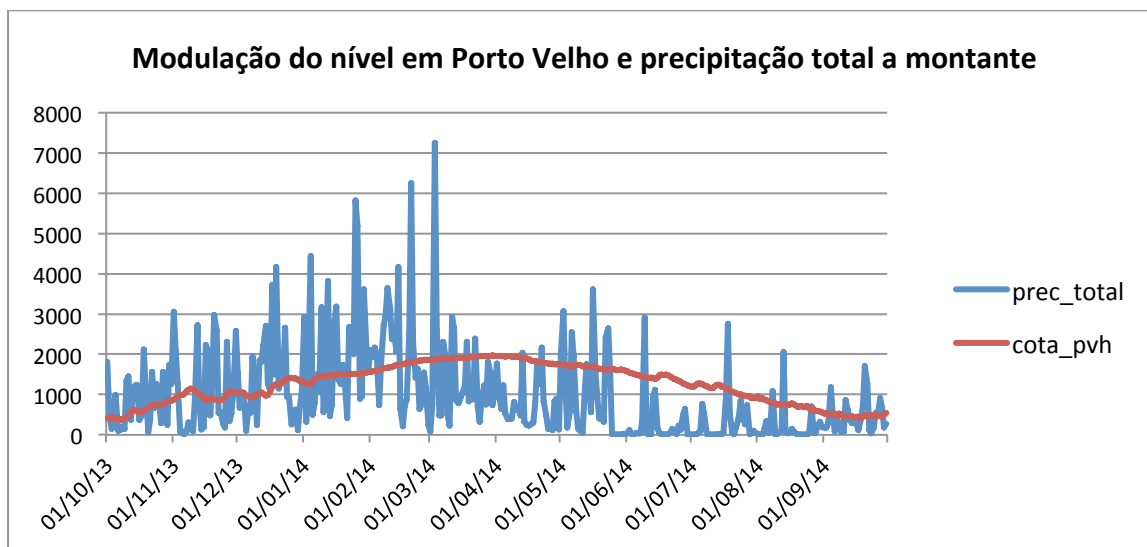


Figura 5- Registro de chuvas diárias TRMM e a correspondência de cotas registradas na estação de Porto Velho 15.40.00.00.

A modulação das cotas em Porto Velho depende da região onde se verifica a precipitação, pois a cidade se encontra em ponto que reúne as águas dos 3 principais tributários do Madeira. Enquanto as bacias dos rios Guaporé e Mamoré são planas e amortecem os picos de chuvas concentradas, a bacia do rio Beni promove o encontro de duas nascentes andinas (rio Madre de Dios e Beni nos Andes bolivianos) muito próximo da fronteira com o Brasil, no rio Madeira. A velocidade dessas águas provoca uma rápida ascensão do nível do [Rio Madeira](#) nas cidades de Abunã, Nova Mamoré e Porto Velho. O exemplo da forte influência do rio Beni na modulação dos picos de nível, pode ser observado pela comparação das chuvas registradas pelo TRMM, ocorridas na bacia de drenagem desse rio, com o cotagrama de Abunã.

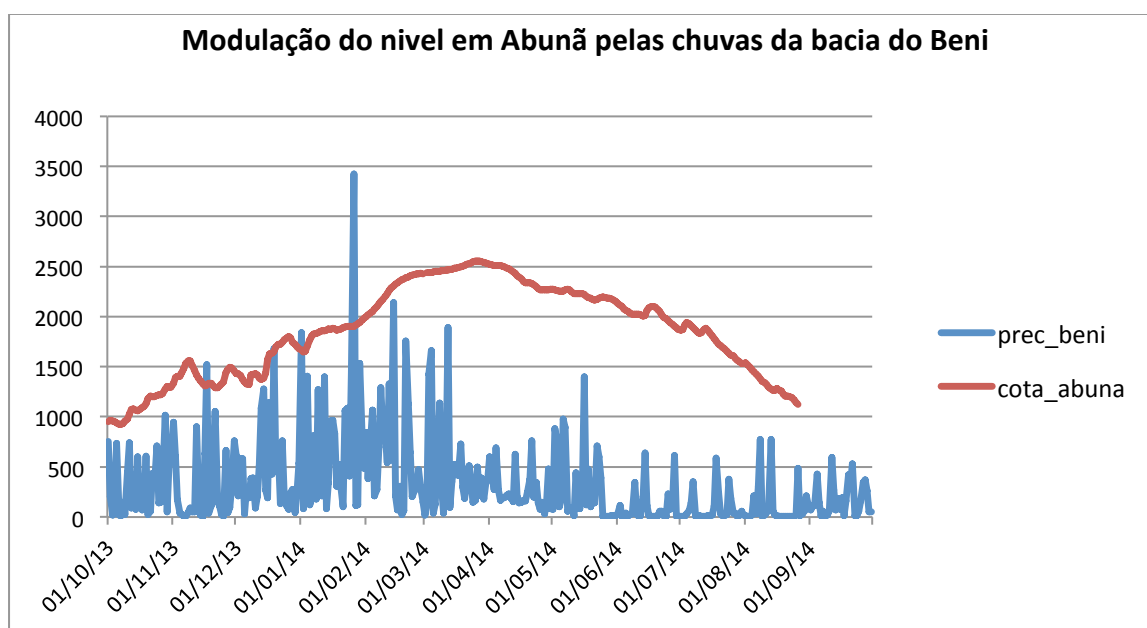


Figura 6- Registro de chuvas diárias TRMM e a correspondência de cotas registradas na estação de Abunã 15.32.00.02.

Pode-se identificar no gráfico acima que existe uma boa correspondência entre as chuvas que ocorreram na bacia a montante da estação de Abunã e os picos de nível registrados no período de out/2013 a set/2014. O tempo de concentração ou impacto das chuvas na estação variou de 7 a 10 dias, validando, em alguns casos, a estimativa teórica de Moura, 2009, que avaliou os tempos de concentração da bacia do Rio Beni utilizando as formulas de Kirpish e Ven-te-Chow, como sendo de 7,12 dias e 4,44 dias, respectivamente.

3.3- Correlação entre volume de precipitado e volume escoado superficialmente para a sub-bacia do rio Guaporé:

Outra análise realizada sobre os dados do TRMM foi a comparação da sensibilidade do método quanto a variabilidade temporal das chuvas em diferentes anos hidrológicos. Para tanto, avaliou-se a bacia do rio Guaporé por possuir uma estação fluviométrica (Forte Príncipe da Beira - 15.20.00.00) associada a uma área de drenagem relativamente plana e homogênea em termos de cobertura do solo. Os resultados são apresentados na Figura 7.

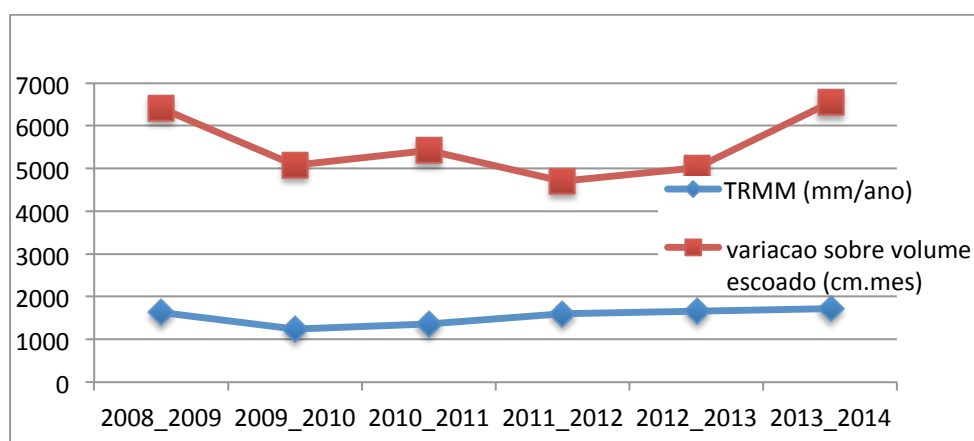


Figura 7- Evolução da precipitação anual registrada pelo TRMM e variação do volume escoado expresso como área abaixo do cotograma anual no período de 2008 a 2014.

Pode-se notar que para a bacia do rio Guaporé o evento de 2014 foi da mesma ordem de magnitude do ano hidrológico 2008-2009. Vauchel, 2014 também aponta nos seus estudos com as séries históricas de pluviógrafos na Bolívia que a principal causa da cheia foram as chuvas ocorridas nas bacias dos Rios Beni e Mamoré. Quanto ao desempenho dos volumes acumulados, o TRMM apresenta correlação harmônica com os volumes escoados.

4. Conclusão:

Apos a avaliação dos resultados, concluiu-se que o TRMM tem aplicabilidade por ser de fácil obtenção, com frequência de dados em tempo “quase real” em área da Amazônia com baixa densidade de pluviógrafos.

A avaliação dos dados de precipitação disponibilizados pelo TRMM se mostraram compatíveis com as dimensões das bacias de estudo, com potencial para dar suporte ao modelo de previsão em construção no SIPAM.

As estimativas de chuvas sobre as sub-bacias que formam o rio Madeira foram identificadas como agentes modeladores da elevação do nível, particularmente nas estações fluviométricas da rede nacional de Porto Velho e Abunã.

Se por um lado, os volumes de chuva gerados pelo TRMM ainda carecem de validação para análise quantitativa para a região de estudo, por outro mostraram-se adequados para análise relativa quanto a sazonalidade das cheias avaliadas na bacia do Rio Guaporé.

Referências Bibliográficas

Agencia Nacional de Águas – ANA, Resolução de outorga de direito de uso dos recursos hídricos, Nº 092, de 9 de abril de 2012, Disponível em <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2012/92-2012.pdf>> . Acesso em 06 nov 2014.

Collischonn, B.; Allasia, D.; Collischonn, W.; Tucci, C. E. M. DESEMPENHO DO SATÉLITE TRMM NA ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO SOBRE A BACIA DO PARAGUAI SUPERIOR. Revista Brasileira de Cartografia N59/01, Abril 2007. (ISSN1808-0936)

Correa, A. C. S.; Castro, L. M. F.; Troger, H.;Gondim Filho, J. G. C.&Marques, S. R.Modelo de previsão de cheias do rio Madeira na área urbana de Porto Velho – RO. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste– ABRH, Cuiabá-MT, 2007. 14p.

Moura, M. N. Monitoramento de turbidez do rio madeira como ferramenta de controle do aporte de sedimentos. Trabalho de Conclusão de Curso , Faculdade de Rondônia – FARO, Porto Velho-RO, 2009.

Vauchel, P. Estudo da cheia de 2014 na bacia do rio Madeira. Institut de Recherche pour Développement - IRD, Estudo do programa HYBAM, Abril 2014.