

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL DE PRECIPITAÇÕES ESTIMADAS POR SATÉLITE NA BACIA DO RIO PARANAÍBA

Túlio Marcos de Vasconcellos Filho¹; Francisco Eustáquio Oliveira e Silva²

Palavras-Chave – chuva estimada por satélite, análise de frequência local

INTRODUÇÃO

O conhecimento acerca das precipitações que incidem sobre uma bacia hidrográfica é essencial para o planejamento e gestão dos recursos hídricos de uma região e para o desenvolvimento de obras de natureza hidráulica.

A análise de frequência tem como objetivo relacionar a magnitude dos eventos com sua frequência de ocorrência por meio do uso de uma distribuição de probabilidade (NAGHETTINI e PINTO, 2007), sob o propósito de permitir a estimativa, por exemplo, das probabilidades excedência anual de uma variável aleatória como a altura de chuva acumulada durante 1 dia. Ela constitui-se, portanto, num instrumento para caracterização do risco de falha de estruturas hidráulicas presentes em uma bacia hidrográfica. Deseja-se que esse risco seja gradativamente menor, quanto maior as consequências da falha dessa estrutura, as quais podem ser caracterizadas sumariamente por perdas de vidas humanas e prejuízos econômicos.

Os pluviômetros são o principal instrumento para monitoramento de precipitações. Entretanto, diversas partes do mundo, particularmente países em desenvolvimento, possuem redes de monitoramento pluviométrico esparsas e com séries temporais limitadas, especialmente em regiões remotas e montanhosas (FARIDZAD et al., 2018). Além disso, a distribuição espacial não uniforme, a baixa resolução temporal de seus dados e a diversidade de coletores instalados nas redes de monitoramento impõem limitações à aplicação dos dados obtidos a partir desses instrumentos (OLIVEIRA, 2019).

Com efeito, o uso de dados de satélites meteorológicos são uma alternativa para áreas com uma rede de monitoramento insuficiente. É salutar, contudo, avaliar as alturas de chuva estimadas por satélites, comparando-as àquelas registradas em bacias que contam com uma rede adequada de monitoramento em solo. Destaca-se que estudos que se propuseram à avaliação de análises de frequência realizadas a partir de produtos de precipitação estimada por satélite são relativamente escassos (GADO et al., 2017).

A bacia hidrográfica do rio Paranaíba localiza-se na região hidrográfica do Paraná. O rio Paraná origina-se, de fato, à confluência dos rios Paranaíba e Grande. Essa bacia (rio Paranaíba), com superfície correspondente a 2,6% da área do território nacional, abriga 4,5% do contingente populacional do país, com destaque para a região metropolitana de Goiânia e o Distrito Federal e seu entorno. Destaca-se por apresentar uso intensivo dos recursos hídricos, tanto para abastecimento urbano, como para irrigação e geração de energia (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2015).

1) Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, tuliovasconcellos22@gmail.com

2) Departamento de Eng. Hidráulica e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, fsilva@ehr.ufmg.br

Este trabalho se propõe a comparar os resultados de análises de frequência de precipitações máximas diárias anuais para a bacia do rio Paranaíba, realizadas com estimativas de precipitação obtidas a partir de dados de satélite e desenvolvidas a partir de dados de pluviômetros. Os objetivos específicos são (1) identificar, dentre as distribuições de probabilidade consideradas, a frequência com que elas foram ranqueadas como mais adequadas à representação das amostras; e (2) caracterizar as diferenças nos quantis estimados.

ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE ALTURAS DE CHUVA A PARTIR DE PRODUTOS DE SATÉLITE

Segundo Marra et al. (2019), o uso de dados de sensoriamento remoto na realização de análises de frequência é recente, e se iniciou apenas na última década. Entretanto, o aumento na disponibilidade de dados e melhora nos algoritmos de estimativa de precipitação propiciou o aumento no número de estudos desenvolvidos com esse propósito.

Gado et al. (2017), Faridzad et al. (2018) e Pombo e de Oliveira (2015) propuseram métodos de correção das precipitações de estimativas satelitais a partir de registros de observações em solo, e avaliaram os resultados para análises de frequência realizadas a partir dos das séries históricas satelitais corrigidas.

Em seu estudo, Gado et al. (2017) desenvolveu análises frequência a partir do histórico de estimativas de precipitação do produto PERSIANN-CDR e propôs um método para a análise de frequência regional, em que a série de máximas anuais de chuva do produto PERSIANN-CDR é ajustada com a série histórica dos pluviômetros, por meio do método de correspondência de probabilidade (PMM, do inglês *Probability Matching Method*). Assim, assume-se que as estimativas de precipitação por satélite tenham a mesma probabilidade de ocorrência que as precipitações medidas por pluviômetros.

Para avaliar a performance das análises de frequência a partir dos registros satelitais corrigidos, Gado et al. (2017) comparou os quantis da análise de frequência local de um dado pluviômetro com os resultados das análises regionais em que os registros deste pluviômetro foram ignorados, aos obtidos com os produtos satelitais corrigidos. Os quantis obtidos a partir dos produtos satelitais apresentaram menores diferenças em comparação àqueles derivados dos registros dos pluviômetros.

Faridzad et al. (2018) propôs um modelo de correção de viés por elevação para as precipitações estimadas pelo produto PERSIANN-CDR, aplicando-o a 20 bacias americanas, a fim de corrigir a influência da orografia nesse produto. Por meio da remoção de um pluviômetro para fins de comparação com os resultados, o estudo avaliou que o método proposto para correção de viés produziu resultados efetivos na melhora do produto PERSIANN-CDR, especialmente em regiões montanhosas, em que pode haver dificuldades de implantação de redes pluviométricas convencionais.

O trabalho também aponta que os resultados para análise de frequência a partir do produto corrigidos teve uma melhor performance do que os resultados obtidos na interpolação dos dados de estações pluviométricas na região de estudo. O estudo de Faridzad et al. (2018) ratifica o uso de produtos satelitais como uma solução adequada para locais com redes de monitoramento convencional limitada.

Pombo e de Oliveira (2015) realizaram análises de frequência regionais de séries de máximas diárias anuais do produto TRMM 3B42 (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) e as compararam aos resultados obtidos a partir de análises de frequência de séries registradas pela rede de monitoramento em solo de Angola. Os resultados apontaram uma tendência do produto satelital de subestimar a intensidade da precipitação, em especial das máximas diárias anuais. Pombo e de Oliveira (2015) avaliaram as diferenças entre as precipitações obtidas por cada método de monitoramento e

realizaram um ajuste simplificado: adicionaram uma constante de correção única a todas as estações, baseada nas tendências observadas e justificada pela homogeneidade dos eventos de precipitação nas regiões analisadas. Os quantis estimados para tempos de retorno de 20 anos são, em média, 1,5% menores do que os estimados com dados de solo, e o erro absoluto foi inferior a 20% para 90% do território angolano. Além disso, o estudo indica que a magnitude das diferenças está associada aos tempos de retorno avaliados.

Marra et al. (2019) avaliou o estado da arte relacionada às análises de frequência de precipitações estimadas por produtos de sensoriamento remoto (radares e satélites) e as atuais limitações no uso desses produtos para esse fim, e concluiu que os principais problemas estavam relacionados: (i) a imprecisão quantitativa na estimativa de eventos extremos, (ii) a inadequação do modelos estatísticos adotados, causada pelo uso de séries temporais curtas e (iii) a ausência de dados de referência e métodos de validação de resultados.

Em relação as imprecisões quantitativas, Eldardiry et al. (2015) apontou uma subestimativa da amostra de produtos de sensoriamento remoto para máximas diárias anuais, que se torna mais expressiva quanto maior a intensidade dos eventos, e que foi atribuída a um viés inerente ao produto de radar analisado, chamado *Multisensor Precipitation Estimator* (MPE). O estudo avaliou análises de frequência regional a partir de dados de sensoriamento remoto por radar e de estações pluviométricas para a região sudeste dos Estados Unidos, dividindo-as em regiões homogêneas. Os resultados mostram uma subestimativa dos quantis por sensoriamento remoto quando comparados aos de monitoramento em solo, comportamento esperado em função do comportamento observado nas séries históricas dos radares.

Conforme Marra et al. (2019), a curta duração das séries temporais satelitais pode ser solucionada a partir do uso de séries de duração parcial, obtidas a partir da definição de um limite (POT, do inglês peaks over threshold). Demirdjian et al. (2018) e Goudenhoofdt et al. (2017) fazem uso de séries de duração parcial e justificam a escolha em razão do curto histórico do monitoramento por satélite para a maioria dos produtos disponíveis (tipicamente 10 a 20 anos). Goudenhoofdt et al. (2017) aponta que a escolha do limite para o uso de POT afeta significativamente os parâmetros de distribuição estimados. Quando o limite é reduzido, a uma redução da variância acompanhada de um aumento nos desvios em relação a distribuição teórica. Demirdjian et al. (2018) recomenda o uso dos percentis 95 ou 99 dos valores de precipitação máxima diária para definição desse limite. Eldardiry et al. (2015) aponta, contudo, que o uso de séries de duração parcial dificulta a garantia de independência, sendo necessário mecanismos adequados para identificação e exclusão de valores que violem essa premissa.

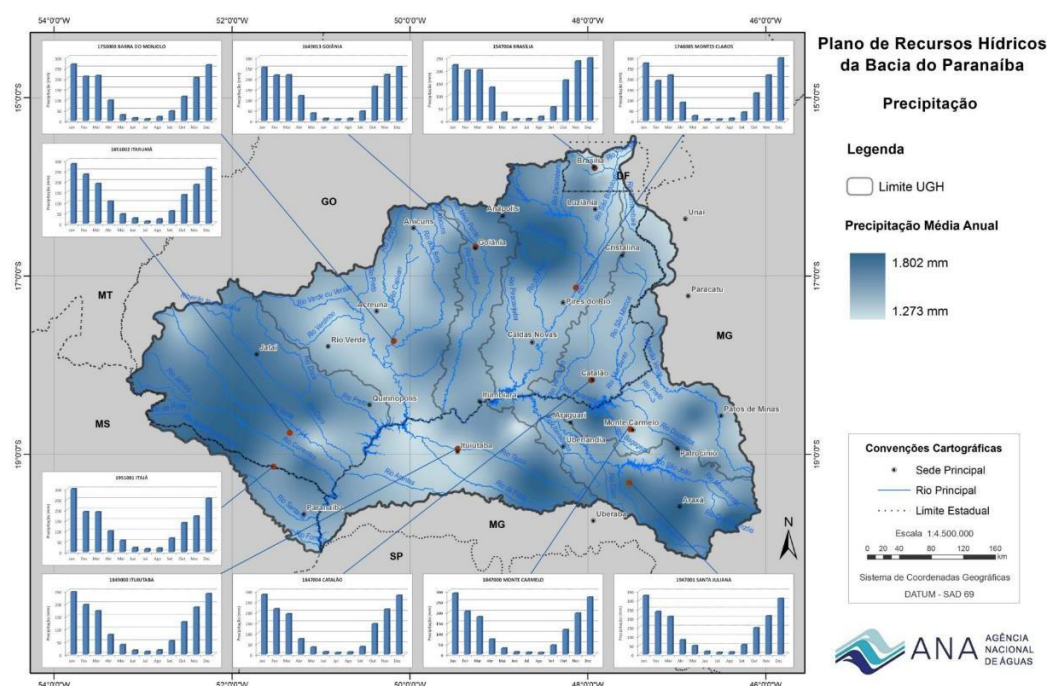
É necessário ponderar que os valores de precipitação estimada por satélites (e os quantis estimados a partir desses produtos) são comparados a séries obtidas pelo monitoramento em solo, principalmente por meio de pluviômetros, partindo-se do princípio de que o último é uma fonte de dados mais confiável, sobretudo, por ser uma medida direta do fenômeno, pela maior disponibilidade de séries temporais extensas, e pela maior simplicidade de obtenção e tratamento dos dados (TANG et al., 2018). Entretanto, sabe-se que pluviômetros também estão sujeitos a erros como, a ação do vento, perda por evaporação, erros de leitura, dentre outros.

Tang et al. (2018) avalia as incertezas associadas à produtos de precipitação satelital na bacia do rio Ganjiang, leste da China. O estudo destaca como fontes de erro comuns na avaliação dos produtos satelitais as divergências nas escalas temporais e espaciais entre satélites e monitoramento em solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do rio Paranaíba, engloba áreas no Distrito Federal e dos Estados de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. Ela apresenta uma distribuição espaço-temporal de chuvas razoavelmente uniforme em suas macrorregiões (Figura 1). Sob esse cenário, é plausível admitir que os mecanismos de formação das tormentas seriam mais regulares. Assim, a comparação entre estimativas satelitais e dados de monitoramento *in situ* ocorreria em condições ótimas, uma vez que as diferenças se estabeleceriam sob condições atmosféricas similares ao longo do período avaliado (OLIVEIRA, 2019).

Figura 1 – Precipitação média anual e em estações pluviométricas localizadas na bacia do rio Paranaíba. Fonte: ANA (2015)



O presente trabalho utilizou informações previamente organizadas e analisadas por Oliveira (2019). Foram selecionadas informações de 104 estações pluviométricas, com séries históricas de 15 anos ou mais (Figura 2).

As estimativas satelitais de chuva foram obtidas do produto TMPA 3B42 (*TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis*; HUFFMAN et al., 2007; Tabela 1) em escala temporal de 3 horas. A compatibilização temporal considerou o horário de registro dos pluviômetros (07 h), os quais integram em sua totalidade o Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH). Para compatibilização espacial procedeu-se um *dowscaling* das estimativas satelitais, transformando a estimativa média espacial em uma precipitação pontual (UDDIN et al., 2008; EBRAHIMI et al., 2017). Maiores detalhes podem ser vistos em Oliveira (2019).

As amostras de altura de chuva máxima diária por ano hidrológico (01-Out à 30-Set) estimadas por sensoriamento remoto foram construídas de duas formas distintas: a primeira, contém as precipitações estimadas pelos satélites nas mesmas datas das máximas observadas nos pluviômetros, e outra, em que as máximas observadas pelos satélites independem dos registros em solo.

Posto que o objetivo do estudo é caracterizar a diferença nos resultados alcançados quando considerados amostras obtidas por meio do monitoramento *in situ* e de estimativas satelitais, é

importante destacar que não se utilizou nenhuma técnica para corrigir o viés da estimativa das alturas de chuva máxima diária.

Figura 2 – Localização das estações pluviométricas analisadas.

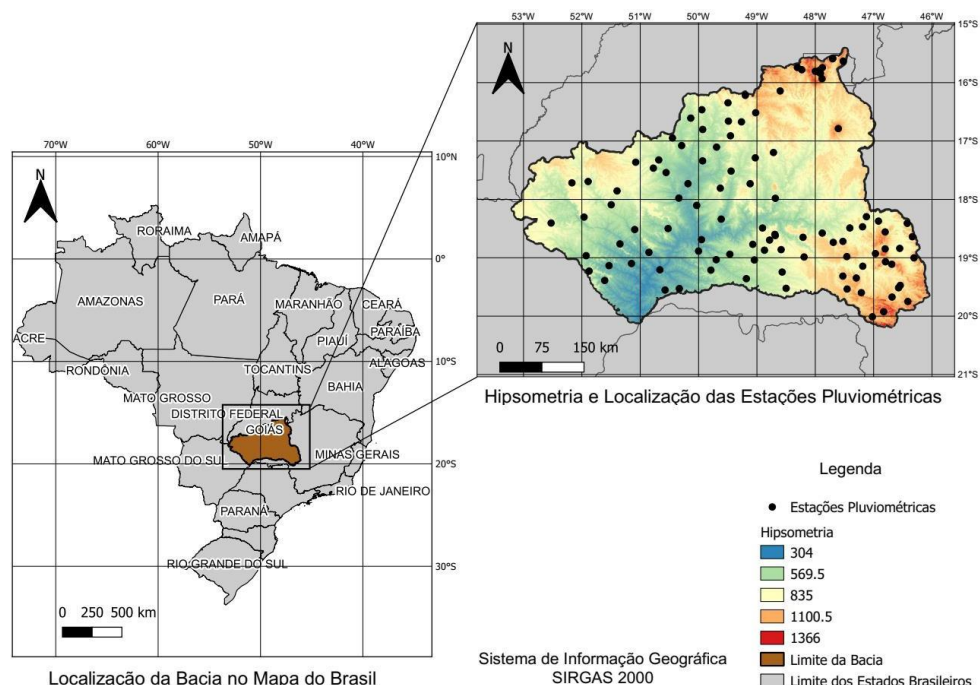


Tabela 1 – Principais características do produto satelital empregado.

Produto	Escala temporal	Escala espacial	Cobertura global
TMPA 3B42	3 horas	0,25° x 0,25°	50°N – 50°S

Neste trabalho os seguintes modelos distributivos foram considerados: Log-Normal, Gumbel, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III e Generalizada de Valores Extremos (GEV, do inglês *Generalized Extreme Value*). Adotou-se como método de estimação de parâmetros o Método dos Momentos (MOM), o qual consiste em igualar os momentos amostrais aos populacionais, de forma que essa operação resulte em estimativas dos parâmetros da distribuição de probabilidades analisada. Apesar de ser o método de estimação mais simples, os estimadores MOM apresentam, para amostras pequenas, resultados comparáveis ou superiores a outros métodos (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

A seleção dos modelos de distribuição foi realizada pelo uso combinado do Critério de Anderson-Darling e do Critério de Informação de Akaike corrigido (AICc). Segundo Laio et al. (2009), o uso combinado desses métodos é uma boa estratégia para escolha de modelos de distribuição, e quando o resultado para ambos os critérios é o mesmo, a escolha do modelo pode ser considerada segura.

O critério adotado se baseou no ordenamento dos critérios de AICc e AD. Quando havia divergência entre as distribuições indicadas, selecionou-se aquela com o menor número de parâmetros. Em caso de novo empate, optou-se pela distribuição indicada pelo critério de AICc. Ademais, o teste de Kolmogorov-Smirnov foi empregado para verificação da hipótese de que o comportamento probabilístico da variável aleatória fosse modelado pela distribuição selecionada.

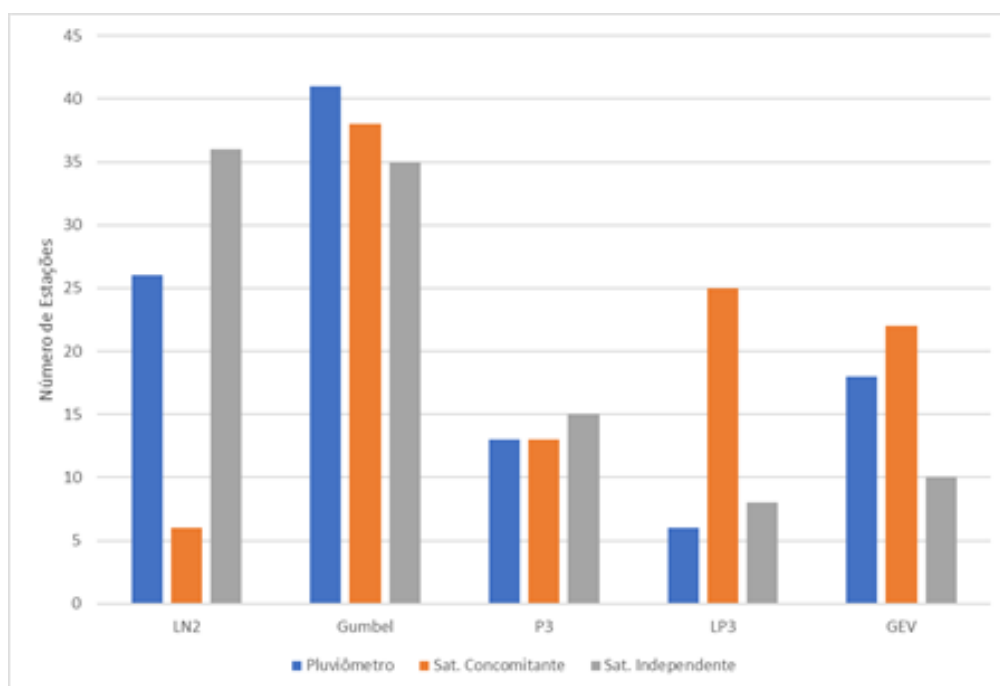
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seleção do modelo probabilístico

Os critérios descritos foram aplicados às séries históricas das 104 estações com 15 anos ou mais de registros e as duas séries de precipitações estimadas por satélites: (i) admitindo-se que as máximas alturas de chuva diária acumulada ocorriam em datas concomitantes às dos pluviômetros; e (ii) identificando-se as máximas alturas independentemente dos pluviômetros.

A Figura 3 sumaria os resultados obtidos. Nota-se que a distribuição de Gumbel foi a mais selecionada, seguida da distribuição LN2.

Figura 3 – Modelos de distribuição selecionados



A Tabela 2 indica a quantidade e a porcentagem de estações em que os modelos selecionados foram coincidentes para amostras construídas a partir das séries históricas satelitais e pluviométricas. Em média, as escolhas foram coincidentes em 28,8% dos casos no cenário de datas concomitantes, e em 26,9% quando se admitiu a independência.

Tabela 2 – Seleções coincidentes por modelos de distribuição.

Distribuição	Pluviômetros	Estimativas satelitais	
		Datas concomitantes	Datas independentes
LN2	26	4 (15,4%)	9 (34,6%)
Gumbel	41	18 (43,9%)	14 (34,1%)
P3	13	1 (7,7%)	3 (23,1%)
LP3	6	2(33,3%)	0(0%)
GEV	18	5 (27,8%)	2 (11,1%)
Total	104	30 (28,8%)	28 (26,9%)

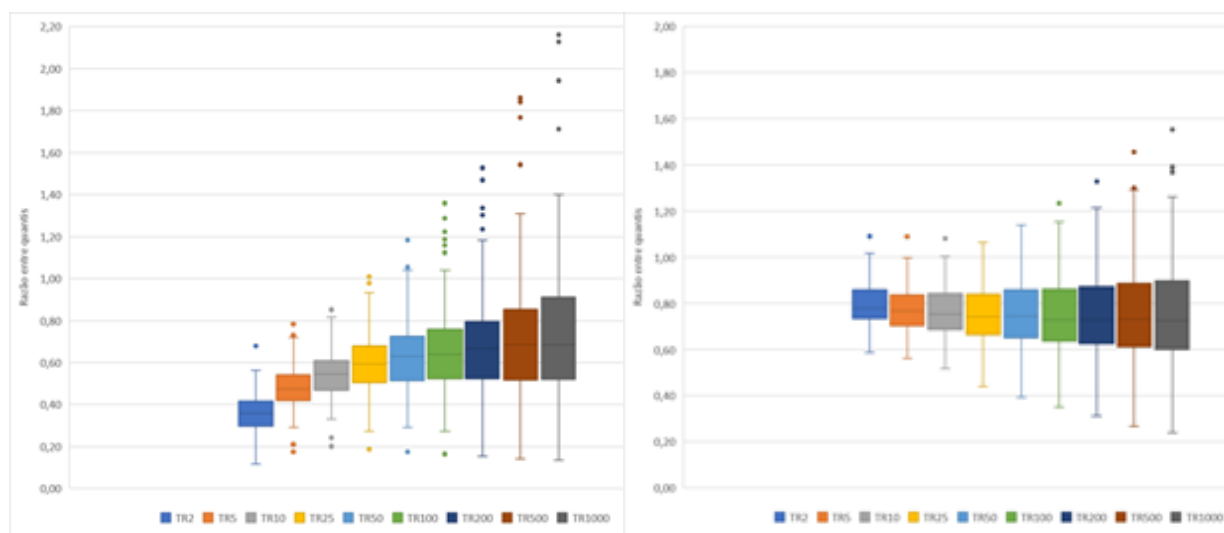
É notório a diferença entre número de estações em que a distribuição LN2 é selecionada em função da forma como as amostras foram construídas. Essa diferença é bastante inferior no caso da distribuição Gumbel. Contudo, os resultados não permitem comentários pormenorizados acerca da maior ou menor adequabilidade de uma distribuição específica.

Ademais, considerando-que os percentuais de concordância entre distribuições selecionadas para os pluviômetros e estimativas satelitais, independentemente da forma como foram construídas as amostras, foram relativamente baixos (inferiores a 35% à exceção da distribuição Gumbel no caso de datas concomitantes), não há indícios que uma proposta metodológica que se baseie na correção dos parâmetros das distribuições alcançará resultados satisfatórios.

Diferenças nos quantis estimados

A razão entre os quantis obtidos para as amostras satelitais e obtidas por meio do monitoramento em solo estão apresentadas na Figura 4 para tempos de retorno notáveis. Valores inferiores a 1,0 apontam para a subestimação dos quantis satelitais em ambos os casos.

Figura 4 – Razão entre quantis satelitais – datas concomitantes à esquerda e datas independentes à direita – e quantis de pluviômetros para tempos de retorno notáveis.



Nota-se que a subestimativa foi maior no caso em que se admitiu a concomitância entre as datas dos registros máximos. Quando a amostra é construída de forma temporalmente independente a subestimação não varia com o tempo de retorno e oscila em torno de 0,8. A variabilidade em torno do percentil 50% cresce conforme aumenta o tempo de retorno em ambos os casos. Similarmente, há uma maior regularidade quando admitida a independência das datas.

As Figuras 5, para datas concomitantes, e 6, para datas independentes, apresentam a distribuição espacial das razões para o tempo de retorno igual a 50 anos. Não é possível observar uma relação entre a elevação das estações e as diferenças identificadas entre os quantis.

Figura 5 – Distribuição espacial das razões entre quantis da amostra satélites em datas concomitantes e máximas diárias anuais de pluviômetro para TR de 50 anos.

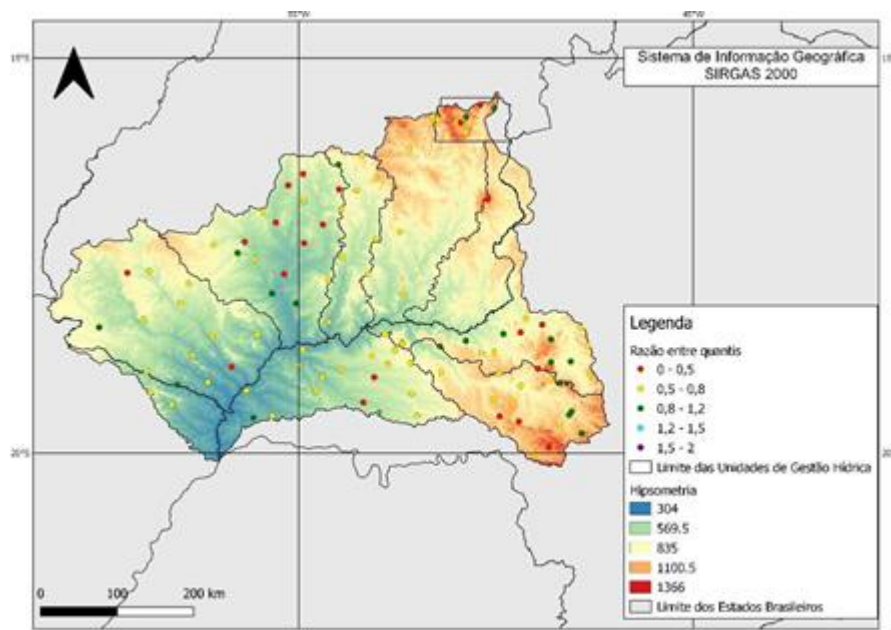
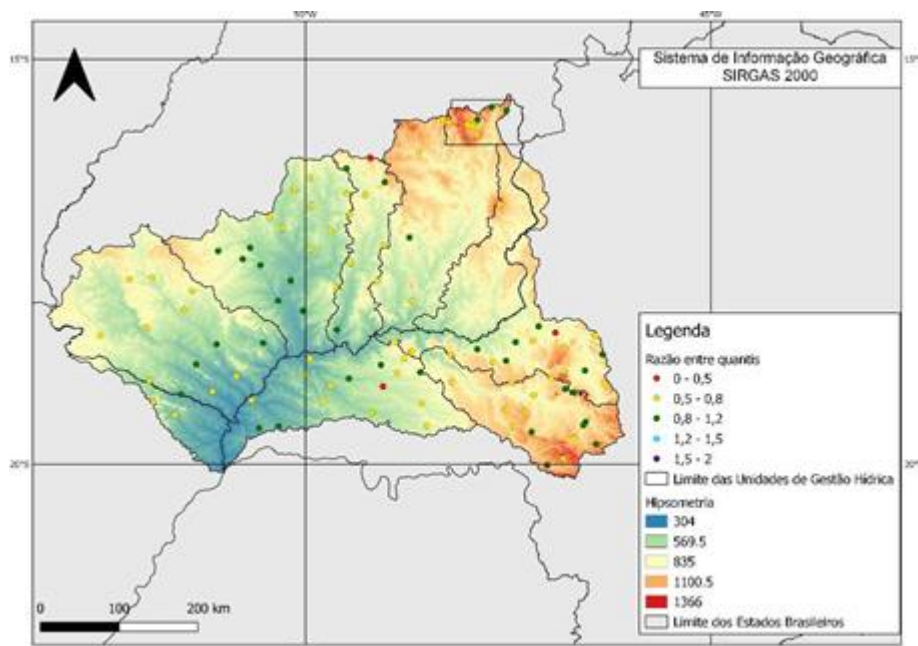


Figura 6 – Distribuição espacial das razões entre quantis da amostra satélites em datas independentes e máximas diárias anuais de pluviômetro para TR de 50 anos.



Figuras similares foram elaboradas para os demais tempos de retorno (não apresentadas). Registra-se que não se verificou indícios de uma correlação espacial entre as diferenças obtidas.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo se propôs a comparar os quantis obtidos a partir de análises de frequência de precipitações máximas diárias anuais para a bacia do rio Paranaíba, desenvolvidas a partir de estimativas de precipitação satelital e de observações em solo obtidas por meio de pluviômetros.

Considerou-se como premissa do estudo que as séries históricas de monitoramento convencional, por meio de pluviômetros, como confiáveis e a escolha do modelo de distribuição para tais séries como a distribuição que melhor representava os eventos registrados. Ficou evidente que, seguindo os mesmos critérios de escolha, os produtos satelitais não foram fontes adequadas para a seleção dos modelos de distribuição, visto que as escolhas foram coincidentes somente em 28,8% dos casos no cenário de datas concomitantes, e em 26,9% quando se admitiu a independência.

Os resultados dos quantis obtidos pelas análises de frequência apontaram, em geral, para uma subestimativa dos quantis de produtos satelitais em comparação com aqueles obtidos com o monitoramento em solo. Além disso, foram avaliadas as diferenças entre quantis satelitais e de pluviômetros, de acordo com duas premissas de seleção dos máximos diários anuais: (i) admitindo-se que as máximas alturas de chuva diária acumulada ocorriam em datas concomitantes às dos pluviômetros; e (ii) identificando-se as máximas alturas independentemente dos pluviômetros. Houve menores diferenças entre os quantis para a série de datas independentes para todos os tempos de retorno. O resultado é coerente com a diferença dos eventos registrados entre as duas séries, em que a amostra independente continha eventos de maior intensidade.

Recomenda-se que em estudos futuros a comparação local seja construída a partir de uma análise de série de durações parciais, sob a perspectiva de estender as amostras. Uma avaliação regional também parece pertinente, em especial, ao se inferir que poderão ser identificadas poucas regiões homogêneas dada a regularidade espacial dos resultados.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Plano de recursos hídricos e do enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba. Brasília: ANA, 2015.
- DEMIRDJIAN, L.; ZHOU; Y.; HUFFMAN, G. J. Statistical Modeling of Extreme Precipitation with TRMM Data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 57, p. 15–30. 2018.
- EBRAHIMI, S. et al. Effects of temporal scales and space mismatches on the TRMM 3B42 v7 precipitation product in a remote mountainous area. Em: *Hydrological Processes*, v. 31, p. 4315–4327, 2017.
- ELDARDIRY, H.; HABIB, E.; ZHANG, Y. On the use of radar-based quantitative precipitation estimates for precipitation frequency analysis. Em: *Journal of Hydrology*, v. 531, p. 441-453. 2015.
- FARIDZAD, M. et al. Rainfall frequency analysis for ungauged regions using remotely sensed precipitation information. Em: *Journal of Hydrology*, v. 563, p. 123–142, 2018.
- GADO, T. A.; HSU, K.; SOROOSHIAN, S. Rainfall frequency analysis for ungauged sites using satellite precipitation products. Em: *Journal of Hydrology*, v. 554, p. 646–655, nov. 2017.
- GOUDENHOOFDT, E., DELOBBE, L.; WILLEMS, P. Regional frequency analysis of extreme rainfall in Belgium based on radar estimates, *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 21, p. 5385–5399. 2017.

- HUFFMAN, G. J. et al. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *Journal of Hydrometeorology*, v. 8, n. 7, p. 38–55, nov. 2007.
- LAIO, F.; DI BALDASSARRE, G.; MONTANARI, A. Model selection techniques for the frequency analysis of hydrological extremes. Em: *Water Resources Research*, v. 45, n. 7, 2009.
- MARRA, F et al. Precipitation frequency analysis from remotely sensed datasets: A focused review. *Journal of Hydrology*, v. 574, p. 699-705. 2019.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia estatística*. CPRM, 2007.
- OLIVEIRA, F. H. P. Caracterização das diferenças entre precipitações estimadas por satélite e obtidas por pluviômetros. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2019.
- POMBO, S.; DE OLIVEIRA, R. P. Evaluation of extreme precipitation estimates from TRMM in Angola. Em: *Journal of Hydrology*, v. 523, p. 663-679. 2015.
- UDDIN, S. et al. Site-specific precipitation estimate from TRMM data using bilinear weighted interpolation technique: An example from Kuwait. *Journal of Arid Environments*, v. 72, n. 7, p. 1320–1328, jul. 2008.