

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA - PPGEAS**

LUÍZA VIRGÍNIA DUARTE

**ANÁLISE DE ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO POR
SATÉLITE E DE DIFERENTES MÉTODOS DE
PREENCHIMENTO DE FALHAS PARA A REGIÃO DO
SUDESTE GOIANO**

GOIÂNIA

2018

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

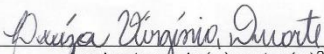
Nome completo do autor: Luíza Virgínia Duarte

Título do trabalho: Análise de Estimativas de Precipitação Por Satélite e de diferentes Métodos de Preenchimento de falhas para a Região do Sudeste Goiano

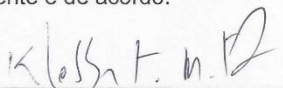
3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento [] SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 31 / 01 / 19

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

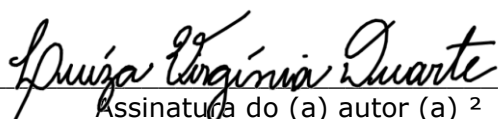
Nome completo do autor: Luíza Virgínia Duarte

Título do trabalho: ANÁLISE DE ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITE E DE DIFERENTES MÉTODOS DE PREENCHIMENTO DE FALHAS PARA A REGIÃO DO SUDESTE GOIANO

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do (a) autor (a) ²

Data: 08/08/2022

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

²A assinatura deve ser escaneada.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA - PPGEAS**

LUÍZA VIRGÍNIA DUARTE

**ANÁLISE DE ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO POR
SATÉLITE E DE DIFERENTES MÉTODOS DE
PREENCHIMENTO DE FALHAS PARA A REGIÃO DO
SUDESTE GOIANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás para a obtenção do título de Mestre em Engenharia ambiental e sanitária.

Área de concentração: Recursos hídricos e saneamento ambiental

Orientador: Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga

GOIÂNIA

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Duarte, Luíza Virgínia

Análise de Estimativas de Precipitação por Satélite e de Diferentes Métodos de Preenchimento de Falhas para a Região do Sudeste Goiano [manuscrito] / Luíza Virgínia Duarte. - 2018.
54 f.

Orientador: Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Goiânia, 2018.

Inclui siglas, mapas, abreviaturas, gráfico, tabelas.

1. GPM. 2. Pluviômetros. 3. Regressão Linear Múltipla. 4. Correlação. I. Formiga, Klebber Teodomiro Martins, orient. II. Título.

CDU 628.1

ATA DE DEFESA 010/2018

Mestrando (a): **LUÍZA VIRGÍNIA DUARTE**

Título da Dissertação: **ANÁLISE DE ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITE E DE DIFERENTES MÉTODOS DE PREENCHIMENTO DE FALHAS PARA A REGIÃO DO SUDESTE GOIANO**

2. Comissão Examinadora: (PROFESSORES DOUTORES)

NOME	FUNÇÃO	ASSINATURA	AVALIAÇÃO
Klebber Teodomiro Martins Formiga	Presidente/Orientador		APROVADO
Saulo Bruno Silveira e Souza	Exam. Externo		Aprovado
Karla Alcione da Silva Cruvinel	Suplent Exam. Externo		
Nilson Clementino Ferreira	Examinador Interno		Aprovado
Joel Roberto Vasco Guimarães	Suplent Exam. Interno		

3. Resultado:

A Banca Examinadora, em 19/12/2018, às 9h, na EECA - UFG, após o exame da Defesa da Dissertação e arguição do candidato, decidiu:

- Pela aprovação do(a) candidato(a) por unanimidade;**
- Pela aprovação do(a) candidato(a) por maioria;**
- Pela reprovação do(a) candidato(a) por unanimidade;**
- Pela reprovação do(a) candidato(a) por maioria.**

Preencher após reformulação:

- O(A) aluno(a) apresentou as modificações sugeridas no prazo de 30 dias e a dissertação foi aprovada;
- O(A) aluno(a) não apresentou as modificações sugeridas pela banca.

Autenticação
Presidente da Comissão Examinadora
19 de dezembro de 2018.

Autenticação após reformulação
Presidente da Comissão Examinadora

___/___/2018

Assinatura do candidato:

Luíza Virgínia Duarte

Veja! Não diga que a canção está perdida, tenha fé em Deus, tenha fé na vida, tente outra vez! Tente! Levante sua mão sedenta e recomece a andar, não pense que a cabeça aguenta se você parar Há uma voz que canta, uma voz que dança, uma voz que gira, bailando no ar Queira! Basta ser sincero e desejar profundo, você será capaz de sacudir o mundo, vai! Tente outra vez! Tente! E não diga que a vitória está perdida, se é de batalhas que se vive a vida.... Tente outra vez!
(Raul Seixas)

AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiramente a Deus, que me deu o dom da vida e que nunca me desampara. Sou realmente eu uma pessoa abençoada e grata por ter a Fé que Ele nos diz para ter, aquela de que mesmo quando a gente acha que tudo vai dar errado, no fundo temos certeza que vai dar certo, no tempo que tem de ser, porque é no caminho que aprendemos.

Aos meus pais, Luíz Heleno da Silva Só e Deni Maria Duarte Silva que muitas vezes tiveram mais fé em mim do que eu mesma. Que me ensinaram sobre o verdadeiro amor, que fizeram dos meus sonhos os seus, que me dão exemplos todos os dias sobre o respeito, o perdão e a humildade. São os melhores pais do mundo.

Ao meu irmão, Abilio Antônio da Silva Só que discorda de mim sempre quando pode, mas que ama e me socorre sempre quando preciso. Foi ele com toda sua genialidade que me ensinou a programar e me poupou dias de trabalhos manuais para obter os dados para essa pesquisa.

A minha Vó Virgínia que sempre me coloca em suas orações, que é meu exemplo de mulher aguerrida e solidária.

Ao meu orientador Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga, que mais uma vez aceitou me dividir comigo seus ensinamentos. Obrigada pela sugestão do tema, pela amizade, e principalmente pela paciência e confiança depositada em mim.

Aos Professores Dr. Nilson Clementino Ferreira e Dr. Saulo Bruno Silveira e Souza, pelas sugestões, por me incentivarem a continuar depois da qualificação, pela paciência e pelo tempo que dedicaram para minha formação.

A Professora Dra. Karla Alcione da Silva que se tornou uma amiga, a qual me escutava e me acalmava nas horas de desesperos.

A todos os Professores e Professoras da Escola de Engenharia Civil e Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da UFG, e todos os que vieram antes, que pela grandeza da profissão que escolheram, além de me ensinarem o que aprenderam, me inspiraram para que eu seguisse meu sonho de fazer o mesmo.

A Mestre Laís Ledra da UDESC que sem nem me conhecer respondeu meus e-mails, me adicionou no WhatsApp e tirou algumas dúvidas e me tranquilizou.

Aos demais funcionários e funcionárias da UFG, da equipe da reitoria até a equipe da limpeza, essa instituição não seria a mesma se faltasse um de vocês.

Aos melhores chefes, Lorrán e Rafael por confiarem em mim e serem flexíveis com os meus horários e minhas faltas no trabalho, se não fosse isso não sei se teria conseguido conciliar tudo. E é claro, ao restante da equipe da Recol Ambiental, Lucas, Lara, Fernando, Ailton, Rodrigo e Kester, pelo companheirismo, pela paciência comigo e por tornarem meus dias no trabalho mais leve.

A toda a minha família que me acompanha e torce por mim, em especial as minhas primas mais próximas que tenho como irmãs, Mariana e Maria Luíza.

E por fim e não menos importante, meus amigos que se tornaram minha família em Goiânia, que me acolheram em suas casas, que estiveram comigo nos piores e melhores momentos desde 2011. Fernando, João Victor, Mariana (s), Marcia, Brenda, Vanessa, e em especial ao Jefferson, meu companheiro de mestrado, meu maior exemplo de resistência. As minhas “irmãs” formiga Kamila e Daiane, e a todos os outros amigos e amigas que fazem ou fizeram parte da minha vida, que levaram um pedacinho de mim e deixaram um pedacinho de si.

Gratidão, essa dissertação dedico a todos vocês.

RESUMO GERAL

A estimativa precisa e o monitoramento dos padrões de ocorrência da precipitação são essenciais para a modelagem de sistemas hidrológicos e para o planejamento e gestão dos recursos hídricos em diversos setores da sociedade. Falhas nos registros de séries de dados podem comprometer os estudos em aplicações práticas. Os avanços na física da precipitação são imprescindíveis para melhorar os modelos numéricos e dependem fortemente do teste de novas hipóteses por medições reais de precipitação, e a melhora das previsões está profundamente interligada com a capacidade de medir a precipitação. Neste sentido, a qualidade dos produtos de precipitação por satélite vem sendo melhorado significativamente nas últimas décadas, principalmente com o surgimento das missões: Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) e da Global Precipitation Measurement (GPM) que vem como um sucessor da missão TRMM, a fim de fornecer melhores estimativas globais de alta qualidade e resolução de precipitação. Este estudo teve como objetivo a comparação de estimativas de precipitação geradas pelo satélite GPM com dados observados em terra a fim de testar a eficácia destas estimativas de chuvas em relação a padrões temporais e espaciais e também comparar esses dados com métodos tradicionais de preenchimento de falhas de dados de pluviômetros para a geração de séries completas de dados. Os métodos de comparação foram aplicados para precipitação média nas bacias Meia Ponte e Rio dos Bois do Estado de Goiás para escalas diárias, mensais e anuais e os métodos de preenchimento de falhas foram analisados para a mesma região em dados diários e mensais. Os resultados encontrados foram satisfatórios para as análises mensais e anuais na região das duas bacias e os dados diários de precipitação, devido a sua maior variabilidade necessitam de mais estudos para refinamento das técnicas de modo a obter melhores resultados.

Palavras-chave: GPM, Pluviômetros, Regressão Linear Múltipla, Correlação.

ABSTRACT

Precise estimation and monitoring of rainfall occurrence patterns are essential for the modeling of hydrological systems and the planning and management of water resources in various sectors of society. Failures in data series records may compromise studies in practical applications. Advances in precipitation physics are imperative to improve numerical models and rely heavily on testing new hypotheses for actual precipitation measurements, and improved predictions are deeply intertwined with the ability to measure precipitation. In this sense, the quality of satellite precipitation products has been significantly improved in the last decades, especially with the emergence of the missions: Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) and the Global Precipitation Measurement (GPM) that comes as a successor to the TRMM mission in order to provide better global estimates of high quality and precipitation resolution. The objective of this study was to compare precipitation estimates generated by the GPM satellite with data observed on land in order to test the effectiveness of these rainfall estimates in relation to temporal and spatial patterns and to compare these data with traditional methods of filling data for the generation of complete series of data. The methods of comparison were applied for mean rainfall in the Meia Ponte and Rio dos Bois basins of the State of Goiás for daily, monthly and annual scales, and the failure completion methods were analyzed for the same region in daily and monthly data. The results were satisfactory for the monthly and annual analyzes in the region of the two basins and the daily precipitation data, due to their greater variability, they require more studies to refine the techniques in order to obtain better results.

Key words: GPM, Rain Gauges, Multiple Linear Regression, Correlation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1 Pluviômetros	3
1.2 Precipitação por Satélite	4
1.3 Preenchimento de Falhas	6
2. OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO	9
3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	9
4. REFERÊNCIAS	10
ARTIGO 1	13
1. Introdução	14
2. Material e Métodos	17
3. Resultados e Discussão	24
4. Conclusão	30
5. Referências	31
ARTIGO 2	34
1. Introdução	35
2. Materiais e métodos	38
3. Resultados e discussão	43
4. Conclusão	50
5. Referências	51
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54

1. INTRODUÇÃO GERAL

A precipitação é uma das variáveis mais importantes para a caracterização hidrológica de uma região. A determinação da sua quantidade, intensidade e distribuição espaço-temporal são cruciais no desenvolvimento de projetos de estruturas, estudos e modelagem hidrológica além de contribuir no planejamento e gestão dos recursos hídricos em diversos setores da sociedade (SANTANA; SOARES, 2016; TEEGAVARAPU; NAYAK, 2017).

Estimativas de fenômenos críticos e a probabilidade de ocorrência e período de retorno de eventos extremos de precipitação e seca são realizadas a partir de dados de precipitação (VICENTE-SERRANO et al., 2010). A obtenção desses dados é tradicionalmente realizada a partir de dados de postos pluviométricos, considerados como a fonte de dados de referência para as observações de precipitação por fornecerem um registro físico direto da precipitação em um determinado ponto (TAPIADOR et al., 2012).

No entanto, alguns problemas de medições são frequentes, principalmente em regiões de difícil acesso ou em desenvolvimento com falta de investimento tecnológico e de pessoal e também em áreas oceânicas (HUFFMAN et al., 2007). Além disso, existem situações em que a falta de dados é devida a problemas nos medidores, erros no registro de dados ou até erro humano, que acabam comprometendo a execução de modelos hidrológicos, que precisam de dados contínuos de precipitação. Deste modo, a estimativa de dados faltantes num conjunto de série de dados brutos faz-se um procedimento obrigatório em estudos de modelagem hidrológica (PAPPAS, 2014; TEEGAVARAPU; CHANDRAMOULI, 2005)

Os métodos para o preenchimento de falhas são usados para a construção de um conjunto de dados completos, e os mais usuais nesta etapa são: ponderação regional, regressão linear e potencial múltiplas, ponderação regional com base em regressões lineares e vetor regional (OLIVEIRA et al., 2010). No entanto, segundo Bertoni & Tucci (2007), tais métodos são mais recomendados para preenchimentos de falhas mensais e anuais. Contudo, os dados diários de precipitação são insumos básicos para os modelos hidrológicos e a maioria das séries diárias de dados de precipitação são curtas para a realização de análises significativas, além de apresentarem um número significativo de registros ausentes (BENNETT et al., 2007; HASANA; CROKEA, 2013).

Estimativas de dados diários para preenchimento de falhas são feitas a partir de estações meteorológicas locais, que em diversas vezes apresentam conjuntos de dados incompletos, com ausências de valores associados a erros sistemáticos e/ou aleatórios. Em vista disso, métodos para o preenchimento de falhas em nível diários são escassos e geralmente apresentam erros devido à grande variabilidade espaço-temporal da precipitação (KIM; RYU, 2015; SIMOLO et al., 2010)

Alguns métodos vem sendo explorados para o preenchimento de falhas de dados diários de precipitação, os quais incluem: substituição simples, regressão paramétrica, regressão classificada, regressão linear múltipla, correlação, ponderação regional, método de Theil, além das técnicas com algoritmos de redes neurais, que também são explorados para o preenchimento dos valores de precipitação ausentes (LO PRESTI; BARCA; PASSARELLA, 2010; MALEK et al., 2008).

Todos esses problemas e limitações dos sistemas operacionais de monitoramento de chuvas baseadas em pluviômetros ou redes nacionais de radar meteorológico, que não conseguem fornecer uma estimativa precisa da alta variabilidade de precipitação nos terrenos mais complexos, motivaram o desenvolvimento de alternativas aos métodos tradicionais, sendo a principal delas a metodologia baseada em Sensoriamento Remoto Orbital (SRO) (HUFFMAN et al., 2007; SEYYEDI et al., 2014). O SRO possibilita observações frequentes, colaborando com uma melhor compreensão dos eventos de precipitação, fornecendo uma plataforma ideal para medir a precipitação globalmente, inclusive em regiões onde a rede de observações na superfície não são satisfatórias (LIU; SHIH, 2013; SKOFRONICK-JACKSON et al., 2017).

Com o lançamento da missão Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) em 1997 e depois o lançamento do Global Precipitation Measurement (GPM) em 2014 a qualidade dos produtos de precipitação por satélite vem melhorando significativamente. Eles foram lançados a fim de fornecerem melhores estimativas de precipitação e de alta qualidade em melhor escala de tempo e a nível global (HASENAUER et al., 2014).

Para testar a eficácia das estimativas de chuvas em relação a padrões temporais e espaciais que são geradas por Sensoriamento Remoto, estes dados vêm sendo comparados de diferentes maneiras com os dados observado em pluviômetros. Essa comparação geralmente é realizada com a chuva média sobre uma região do espaço, como por exemplo, uma bacia hidrográfica, um município ou qualquer região de interesse (COLLISCHONN, 2015; OLIVEIRA et al., 2014; SANTANA; SOARES, 2016).

1.1 Pluviômetros

Existem vários tipos de pluviômetros, cada um com suas próprias limitações e pontos fortes conseguem representar com precisão as chuvas na escala de pontos, no entanto, são limitadas em descrever a distribuição espacial das chuvas dependendo da configuração e densidade da rede de pluviometria (STRANGWAYS, 2004).

O tipo de balde basculante é um dos tipos de pluviômetros mais comuns. Ele consiste tipicamente em uma área coletora que drena em baldes basculantes acoplados. Cada vez que um balde enche ele descarrega a água, produzindo então um sinal de um circuito elétrico. O balde então é substituído por outro balde e o processo se repete. Cada oscilação registrada corresponde então a um determinado volume de precipitação (TAPIADOR et al., 2012).

Menos comuns são medidores baseados na medição da precipitação pesando a água acumulada a diferentes taxas de amostragem, são instrumentos modernos, e mais caros. Existem outros tipos, tais como pluviômetros à base de sifão, mas virtualmente todos os bancos de dados de referência adequados para a pesquisa meteorológica e climática são constituídos por medidores de chuva de balde basculante ou medidores de acumulação de leitura direta (TAPIADOR et al., 2012).

Sendo um instrumento mecânico, os pluviômetros estão sujeitos a muitas fontes potenciais de erro. A correção de séries de dados de precipitação requer meteorologia local e dados de estações, que muitas vezes não estão disponíveis.

As fontes de erro são razoavelmente bem compreendidas e incluem, por exemplo, falhas elétricas e mecânicas, registro insuficiente de chuva intensa e / ou ventos fortes, sensibilidade reduzida a baixas taxas de precipitação, Susceptibilidade ao bloqueio parcial ou mesmo total da área de coleta por detritos biológicos, mudanças dinâmicas na calibração e vários graus de sensibilidade à taxa de chuva que muitas vezes requerem tempos de integração de 5 min a 15 min ou mais (HABIB et al., 2001, SIECK et al., 2007).

Além dos erros devidos a problemas instrumentais, há outras fontes de erro intrínseco que afetam pluviômetros. Os efeitos de fluxo de vento são um dos principais contribuintes para o erro, uma vez que modifica a área de medição de seção transversal efetiva e conseqüentemente introduz um viés nas leituras.

A turbulência induzida pelo indicador também influencia as medições e pode tornar as leituras não representativas da precipitação real. Além disso, à medida que a velocidade do vento aumenta rapidamente com a altura na camada limite, dois medidores de chuva em diferentes alturas medirão diferentes quantidades de precipitação, exigindo ajustes cuidadosos para criar mapas de chuva significativos (TAPIADOR et al., 2012).

Usando simulações numéricas e estimativas empíricas, Nespor et al. (2000) descobriram que quanto maior o bloqueio do fluxo de ar pelo corpo do indicador, maior o erro. Eles também descobriram que o erro é dependente do tamanho da gota e velocidade do vento, com erros maiores para a chuva com maiores frações de gotas menores e para velocidades de vento mais altas. Em outra experiência realizada por Ciach (2003), quinze pluviômetros colocados dentro de um quadrado de 8 m × 8 m registraram diferenças substanciais entre instrumentos idênticos, mesmo com tal proximidade.

Outra questão relacionada ao uso de pluviômetros para gerar bancos de dados globais é a variabilidade natural da precipitação. As diferenças na precipitação na escala do quilômetro são visíveis e aumentam nas áreas montanhosas devido às influências orográficas. A distribuição esparsa das medidas torna a interpolação necessária para fornecer estimativas em grandes áreas. Entretanto, a precipitação interpolada raramente é representativa do campo de chuva real.

Apesar de todas estas questões, pluviômetros ainda representam a grande maioria da instrumentação disponível para a construção de conjuntos de dados de precipitação de referência. Collischonn (2015) aponta em sua pesquisa que os dados de chuva medidos por pluviômetros são utilizados para estimar a chuva média sobre uma área utilizando métodos de interpolação.

No entanto, sua quantificação é mais complexa devido a variabilidade espaço-temporal, e sua qualidade pode ser comprometida dependendo da densidade espacial dos postos, que muitas vezes tendem a ser insuficientes, além de falhas nos registros dos dados, que comprometem as aplicações de técnicas de modelagem hidrológica ou climática.

1.2 Precipitação por Satélite

O produto de precipitação derivado de satélite surgiu como uma abordagem promissora na obtenção de estimativas de precipitação, principalmente em escala regional e global (XU; SHEN; DU, 2016). Estudos realizados destacam suas potencialidades em

múltiplos setores, como simulação hidrológica, gerenciamento de recursos hídricos, entre outros (BITEW; GEBREMICHAEL, 2011; GUO et al., 2016; KIM et al., 2016; LIU, 2015; YONG et al., 2010, 2015). Em regiões onde os pluviômetros são insuficientes e outras abordagens tradicionais como radar terrestre não funcionam bem, o produto de precipitação por satélite é ainda mais útil (LI et al., 2013).

A demanda por satélites que fazem estimativa da precipitação quantitativa observando as propriedades físicas e visíveis das nuvens com várias resoluções espaciais e temporais vem aumentando (HUFFMAN et al., 2007). De modo geral, para que se possa estimar os dados de precipitação de determinada região por sensoriamento remoto, os dados de diferentes sensores são combinados através de algoritmos (COLLISCHONN, 2015).

O conceito por trás dos algoritmos de precipitação de satélite de alta resolução é a combinação informações de microondas (MW) mais precisos (mas infrequentes), infravermelho (IR) mais frequente (mas indireto) e microondas mais observações de IR de várias missões de satélite, usando diferentes técnicas de fusão para aproveitar as forças complementares (TAPIADOR et al., 2012).

Enquanto os sensores de IR em satélites geostacionários fornecem estimativas de precipitação (inferidas de radiações na nuvem) em altas resoluções temporais (intervalos de até 15 minutos em algumas plataformas), os sensores de micro-ondas medem a precipitação das assinaturas radiativas mais diretamente ligados às partículas precipitantes (KUMMEROW et al., 2000).

Para obter um maior conhecimento da distribuição horizontal e vertical da precipitação sobre os trópicos, foi lançado em novembro de 1997 pelas agências espaciais do Japão (JAXA) e dos Estados Unidos (NASA) o satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Após 17 anos de atividade do TRMM e com base no seu sucesso, em 28 de fevereiro de 2014 a NASA e a JAXA implantaram o GPM (Global Precipitation Measurment) para avançar na medida da precipitação global, possibilitando melhores estimativas de precipitação com melhor resolução espacial e temporal (AL, 2014).

O GPM iniciado pela NASA e pela JAXA, lançado em fevereiro de 2014 como um sucessor mundial do TRMM, compreende num consórcio de agências espaciais internacionais, incluindo o Centro Nacional de Estudos da Índia (ISRO), a Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA), a Organização Europeia para Exploração de

Satélites Meteorológicos (EUMETSAT) entre outras (HUFFMAN, BOLVIN e NELKIN 2015, SHARIFI, STEINACKER e SAGHAFIAN 2016).

Baseado no sucesso do TRMM, o conceito GPM concentrou-se na implantação de um satélite “core”, que expande o alcance do TRMM não apenas em termos de cobertura global, mas também através de uma sofisticada instrumentação de satélites, intercalibração de conjuntos de dados de outros radiômetros de microondas, conjuntos de dados de precipitação combinados, latência reduzida para entrega de produtos de dados, acesso simplificado aos dados, expansão global esforços de validação do solo e aplicativos de usuários integrados, além de servir como um padrão de referência para unificar as medidas de precipitação (AL, 2014).

Através de estimativas melhoradas da precipitação a nível mundial, a missão GPM tem como objetivo, avançar nas medidas de precipitação a partir do espaço, melhorar o conhecimento dos sistemas de precipitação, na variabilidade do ciclo da água e disponibilidade de água doce, aprimorar a modelagem climática e hidrológica e as capacidades de prevenção e contribuir com melhorias na previsão do tempo e na reanálise em quatro dimensões (4D) (HOU et al. 2014).

Todo esse avanço científico, contribui na compreensão do ciclo da água e energia da Terra, melhorando a previsão de eventos extremos que causam riscos naturais, além de tornar as informações mais precisas e oportunas de precipitação beneficiando diretamente a sociedade (FERRARO et al., 2013; HUFFMAN et al., 2018; MATSUI et al., 2015).

1.3 Preenchimento de Falhas

O objetivo de um posto de medição de chuva é o de obter uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos. No entanto, períodos sem informações ou falhas nas observações podem ocorrer, como por exemplo, interrupções ocasionais de estações automáticas, falhas no instrumento e reorganizações de redes. (BERTONI; TUCCI, 2007).

Uma saída desta dificuldade seria excluir esses períodos com falhas da análise de dados ou ignorar o problema se o seu valor não for muito grande. No entanto, tais abordagens podem acabar desconsiderando informações valiosas e induzir pré-conceitos em vários estudos hidrológicos e climáticos (SIMOLO et al., 2010).

As limitações referentes aos dados disponíveis, tanto em termos de densidade de dados como em relação ao período de observações e das falhas existentes nas séries, também geram uma dificuldade na utilização de modelos hidrológicos (OLIVEIRA et al., 2008; OLIVEIRA; ANTONINI; GRIEBELER, 2008). E, apesar de vários estudos de métodos de preenchimento de falhas terem sido desenvolvidos e melhorados pelos pesquisadores, ainda é um desafio encontrar o melhor método de preenchimento dessas lacunas para aplicações amplas (KIM; RYU, 2016).

Em geral, esses modelos hidrológicos são desenvolvidos a partir de séries históricas disponíveis, e são avaliados em função da capacidade que desempenham na geração de dados com estatísticas similares às observadas nos dados históricos (OLIVEIRA et al., 2005).

Desta forma, considera-se que a aplicação de técnicas de modelagem no preenchimento de falhas na gestão dos recursos hídricos é uma ferramenta necessária para uma melhor compreensão do comportamento hidrológico, permitindo assim um aproveitamento consciente dos recursos hídricos (BARNETCHE & KOBIYAMA, 2006).

Fill (1987) e Bertoni & Tucci (2007) apresentam várias metodologias empregadas no reenchimento de falhas, que são considerados como métodos mais tradicionais, no entanto, eles as recomendam apenas para preenchimento de falhas mensais ou anuais, devido a melhor variabilidade de dados. Normalmente, valores diários são de difícil preenchimento devido à grande variação espacial e temporal da precipitação para os eventos de frequências médias e pequena.

As técnicas tradicionais para o preenchimento de lacunas nas séries de precipitação, seja nas escalas de tempo anuais, mensais ou diárias, baseiam-se principalmente na interpolação espacial, ou seja, os valores imputados em uma estação alvo são calculados usando observações sincrônicas de estações vizinhas (SIMOLO et al., 2010).

O método de Ponderação Regional (PR), por exemplo, é um dos mais simples e normalmente o mais utilizado para preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitação. Ele visa a homogeneização do período de informações e à análise estatística das precipitações. No entanto, apesar de simples, o preenchimento efetuado por esta metodologia apresenta algumas limitações, quando cada valor é visto isoladamente (OLIVEIRA et al., 2010).

Já o método de Vetor Regional (VR) consiste na determinação de uma série cronológica sintética, de índices pluviométricos mensais ou anuais, oriundos da extração por um método de máxima verossimilhança da informação contida nos dados de um conjunto de estações agrupadas regionalmente (OLIVEIRA et al., 2010).

Outros métodos menos tradicionais de preenchimento de falhas incluem interpolação espacial mais sofisticados, pois estimam as relações funcionais entre o alvo e as estações circundantes. Ao longo da história, muitos hidrólogos vêm aplicando métodos estatísticos e de interpolação para estimar os valores inexistentes nos registros de precipitação.

Alguns desses métodos que vem sendo comumente usados, principalmente pela sua simplicidade e facilidade na aplicação, como por exemplo, o Gauge Mean Estimator (GME) (MCCUEN 1998), a Ponderação Inversa da Distância (IDW) (TEEGAVARAPU; CHANDRAMOULI, 2005), e Krigagem (BORGA; VIZZACCARO, 1997; KIZZA et al., 2012; PLOUFFE; ROBERTSON; CHANDRAPALA, 2015)

No entanto, esses métodos de preenchimento de falhas mais atuais tendem a subestimar as magnitudes de precipitação e a superestimar o número de dias chuvosos em geral. Além disso, tem sido relatado em algumas aplicações a existência de autocorrelação negativa entre as estações meteorológicas mais próximas (SIMOLO et al., 2010).

Estes estudos indicam que os métodos de interpolação existentes, incluindo GME, IDW e Krigagem, podem ser melhorados para desenvolver uma melhor técnica de estimativa para o preenchimento de falhas. Teegavarapu e Chandramouli (2005), observaram que o método IDW pode ser melhorado pelo método do coeficiente de ponderação de correlação (CCWM) empregando uma relação de correlação da capacidade do indicador, de modo que Westerberg e Cols. (2010) utilizaram método CCWM para estimar os dados de precipitação ausentes.

Quanto ao preenchimento de falhas em nível diário, este constitui ainda um campo aberto à pesquisa. Na grande maioria dos casos, opta-se por não proceder ao preenchimento diário. No entanto, efetivada a análise de consistência em nível mensal, torna-se, muitas vezes, necessária a compatibilização dos totais mensais com os dados diários correspondentes.

Para o preenchimento de séries de dados de precipitação diária, Hasana & Crokea (2013) desenvolveram um método considerando dados de vinte estações pluviométricas

na Bacia de Brahmani, Rachi, na Índia. No estudo foi adotada a abordagem probabilística de Poisson-Gama (PG), o qual possui propriedades que modelam simultaneamente a ocorrência e a quantidade de chuva, que são componentes da precipitação diária. No entanto, foi verificado que o método subestima a variação nos dados de precipitação para grandes eventos de chuva.

Simolo et al. (2010) também apresentaram um novo método para estimar falhas nas séries de precipitação diária. O método é baseado num algoritmo de duas etapas, que utiliza um conjunto de informações de estações vizinhas. Na primeira etapa são separados os dias com chuva e sem chuvas, posteriormente, por meio de uma abordagem de regressão multilinear modificada, é estimada a quantidade de precipitação total para dias classificados com chuva. Este método tem como vantagem a não superestimação do número de dias chuvosos e a subestimação de eventos de precipitação intensa, que são efeitos colaterais típicos de abordagens baseadas em regressões comuns. Dessa forma, um único valor apresentado pela CME tem a capacidade de representar todo o evento.

2. OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar as técnicas de combinação entre precipitação por satélite e postos observados em Terra, a fim de criar um método de preenchimento de falhas de precipitação em níveis diários, mensais e anuais utilizando dados de satélite.

3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada na forma de artigos, os quais foram elaborados a partir dos resultados obtidos com a pesquisa de modo que os questionamentos apresentados fossem respondidos.

Artigo 1. Comparação de dados estimados do satélite GPM com método de Regressão Linear Múltipla e Correlação para Preenchimento de Falhas de Precipitação Diárias e Mensais. Esse artigo será submetido Water Resources Research² após o fim desta Dissertação.

Artigo 2. Análise do produto de precipitação IMERG-GPM em Bacias do Centro-Oeste Brasileiro considerando diferentes escalas temporais e espaciais. Esse artigo foi submetido na RBRH, Brazilian Journal of Water Resources¹.

4. REFERÊNCIAS

- AL, A. Y. H. ET. The global precipitation measurement mission. American Meteorological society, n. May, p. 701–722, 2014.
- BENNETT, N. D. et al. Patching and Disaccumulation of Rainfall Data for Hydrological Modelling. Int. Congress on Modelling and Simulation (MODSIM 2007), p. 2520–2526, 2007.
- BITEW, M. M.; GEBREMICHAEL, M. Evaluation of satellite rainfall products through hydrologic simulation in a fully distributed hydrologic model. v. 47, n. June, p. 1–11, 2011.
- BORGA, M.; VIZZACCARO, A. On the interpolation of hydrologic variables: Formal equivalence of multiquadratic surface fitting and kriging. Journal of Hydrology, v. 195, n. 1–4, p. 160–171, 1997.
- C DE OLIVEIRA, L. F. et al. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 11, p. 1186–1192, 2010.
- COLLISCHONN, W. Método de combinação de dados de precipitação estimados por satélite e medidos em pluviômetros para a modelagem hidrológica Merging rainfall gauges and satellite rainfall data for hydrology modeling, 2015. (Nota técnica).
- FERRARO, R. R. et al. An Evaluation of Microwave Land Surface Emissivities Over the Continental United States to Benefit GPM-Era Precipitation Algorithms. v. 51, n. 1, p. 378–398, 2013.
- GUO, H. et al. Early assessment of Integrated Multi-satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement over China. Atmospheric Research, v. 176–177, p. 121–133, 2016.
- HASANA, M.; CROKEA, B. Filling gaps in daily rainfall data: a statistical approach. Mssanz.Org.Au, n. December, p. 1–6, 2013.
- HASENAUER, S. et al. Journal of Geophysical Research : Atmospheres rainfall from satellite soil moisture data. p. 1–14, 2014.
- 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. 1, p. 38–55, 2007.
- HUFFMAN, G. J. et al. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG) Prepared by : n. February, 2018.
- KIM, J. P. et al. Hydrological Utility and Uncertainty of Multi-Satellite Precipitation Products in the Mountainous Region of South Korea. 2016.
- KIM, J.; RYU, J. H. Quantifying a Threshold of Missing Values for Gap Filling Processes in Daily Precipitation Series. Water Resources Management, v. 29, n. 11, p. 4173–4184, 2015.
- KIM, J.; RYU, J. H. A heuristic gap filling method for daily precipitation series. Water Resources Management, v. 30, n. 7, p. 2275–2294, 2016.
- KIZZA, M. et al. Estimating areal rainfall over Lake Victoria and its basin using ground-

- based and satellite data. *Journal of Hydrology*, v. 464–465, p. 401–411, 2012.
- KUMMEROW, C. et al. The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. *Journal of Applied Meteorology*, v. 39, n. 12, p. 1965–1982, 2000.
- LIU, J. K.; SHIH, P. T. Y. Topographic correction of Wind-Driven rainfall for landslide analysis in central Taiwan with validation from Aerial and satellite optical images. *Remote Sensing*, v. 5, n. 6, p. 2571–2589, 2013.
- LIU, Z. Comparison of versions 6 and 7 3-hourly TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA) research products. *Atmospheric Research*, v. 163, p. 91–101, 2015.
- LO PRESTI, R.; BARCA, E.; PASSARELLA, G. A methodology for treating missing data applied to daily rainfall data in the Candelaro River Basin (Italy). *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 160, n. 1–4, p. 1–22, 2010.
- MALEK, M. A. et al. Reconstruction of Missing Daily Rainfall Data Using Unsupervised Artificial Neural Network. v. 34, n. October, p. 616–621, 2008.
- MATSUI, T. et al. Satellite view of quasi-equilibrium states in tropical convection and precipitation microphysics. n. January 2002, p. 1959–1968, 2015.
- MCMILLAN, H. et al. Rainfall uncertainty in hydrological modelling: An evaluation of multiplicative error models. *Journal of Hydrology*, v. 400, n. 1–2, p. 83–94, 2011.
- OLIVEIRA, P. T. S. et al. Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado. *Water Resources Research*, v. 50, n. 9, p. 7100–7114, 2014.
- OLIVEIRA, L. F. C. DE et al. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás Maximum rainfall estimation methods for Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, n. 35, p. 620–625, 2008.
- OLIVEIRA, L. F. C. DE et al. Comparison of gap filling methodologies of annual historical series of rainfall. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 11, p. 1186–1192, 2010.
- OLIVEIRA, L. F. C. DE; ANTONINI, J. C. D. A.; GRIEBELER, N. P. Estimativas de chuvas intensas para o Estado de Goiás. *Engenharia Agrícola*, v. 28, n. 1, p. 22–33, 2008.
- PAPPAS, C. A quick gap-filling of missing hydrometeorological data. *Journal of Geophysical ...*, v. 119, p. 1–11, 2014.
- PLOUFFE, C. C. F.; ROBERTSON, C.; CHANDRAPALA, L. Comparing interpolation techniques for monthly rainfall mapping using multiple evaluation criteria and auxiliary data sources: A case study of Sri Lanka. *Environmental Modelling and Software*, v. 67, n. September, p. 57–71, 2015.
- SANTANA, A.; SOARES, D. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba. v. 21, p. 288–299, 2016.
- SEYYEDI, H. et al. Incorporating Surface Soil Moisture Information in Error Modeling of TRMM Passive Microwave Rainfall. v. 52, n. 10, p. 6226–6240, 2014.
- SIMOLO, C. et al. Improving estimation of missing values in daily precipitation series by a probability density function-preserving approach. *International Journal of Climatology*, v. 30, n. 10, p. 1564–1576, 2010.

- SKOFRONICK-JACKSON, G. et al. MEASUREMENT (GPM) MISSION. n. August, p. 1679–1696, 2017.
- STRANGWAYS, I. A. N. IMPROVING PRECIPITATION MEASUREMENT. v. 1460, p. 1443–1460, 2004.
- TAPIADOR, F. J. et al. Global precipitation measurement : Methods , datasets and applications. Atmospheric Research, v. 104–105, p. 70–97, 2012.
- TEEGAVARAPU, R. S. V; CHANDRAMOULI, V. Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. Journal of Hydrology, v. 312, n. 1–4, p. 191–206, 2005.
- TEEGAVARAPU, R. S. V; NAYAK, A. Evaluation of long-term trends in extreme precipitation : Implications of in-filled historical data use for analysis. Journal of Hydrology, v. 550, p. 616–634, 2017.
- VICENTE-SERRANO, S. M. et al. A complete daily precipitation database for northeast Spain: Reconstruction, quality control, and homogeneity. International Journal of Climatology, v. 30, n. 8, p. 1146–1163, 2010.
- XU, S.; SHEN, Y.; DU, Z. Tracing the Source of the Errors in Hourly IMERG Using a Decomposition Evaluation Scheme. p. 1–12, 2016.
- YONG, B. et al. Hydrologic evaluation of Multisatellite Precipitation Analysis standard precipitation products in basins beyond its inclined latitude band: A case study in Laohahe basin, China. Water Resources Research, v. 46, n. 7, p. 1–20, 2010.
- YONG, B. et al. Impact of Missing Passive Microwave Sensors on Multi-Satellite Precipitation Retrieval Algorithm. v. 16, p. 668–683, 2015.

ARTIGO 1

Comparação de diferentes métodos de preenchimento de falhas de dados diários e mensais e estimativas por satélite

Luíza Virgínia Duarte¹; Klebber Teodomiro Martins Formiga²

¹ Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, GO, Brasil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. E-mail: luizavirginiaduarte@gmail.com

² Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, GO, Brasil, Escola de Engenharia Civil e Ambiental. E-mail: klebber.formiga@gmail.com

RESUMO

As limitações referentes aos dados pluviométricos disponíveis, tanto em termos de densidade de dados como em relação ao período de observações e das falhas existentes nas séries, comprometem estudos hidrológicos. A estimativa precisa e o monitoramento dos padrões de ocorrência da precipitação são essenciais para a modelagem de sistemas hidrológicos e para o planejamento e gestão dos recursos hídricos em diversos setores da sociedade. Deste modo, um pré-processamento de conjunto de dados brutos para o preenchimento de falhas nas séries de dados faz-se um procedimento obrigatório em estudos hidrológicos. O preenchimento de falhas em nível diário constitui ainda um campo aberto à pesquisa. Este trabalho teve como objetivo a verificação da aplicabilidade de um método de preenchimento de falhas de dados diários e mensais registrados em pluviômetros considerando dados de Sensoriamento Remoto fornecidos pelo GPM, por meio do algoritmo IMERG e a comparação com outros dois métodos mais tradicionais a fim de determinar se as estimativas de satélite podem suprir essa falta de dados observados. Concluiu-se que comparado com os métodos estatísticos mais tradicionais os dados de satélite apresentam resultados satisfatórios, principalmente em escala mensal, para os dados diários, devido a maior variabilidade espaço-temporal, os dados de satélite conseguem definir bem as duas estações (seca e chuvosa), no entanto, tende a superestimar os dias de chuva e a subestimar eventos mais extremos.

Palavras-chave: GPM, Pluviômetros, Regressão Linear Múltipla, Correlação, Preenchimento de Falhas.

Comparison of different methods for gap filling daily and monthly data and estimates by satélites

ABSTRACT

Limitations on available rainfall data, both in terms of data density and in relation to the period of observations and faults in the series, compromise hydrological studies. Precise estimation and monitoring of rainfall occurrence patterns are essential for the modeling of hydrological systems and the planning and management of water resources in various sectors of society. Thus, a preprocessing of the raw data set for the filling of faults in the data series is a mandatory procedure in hydrological studies. Fault-filling at the daily level is still an open field on research. The objective of this work was to verify the applicability of a method of filling daily and monthly data faults registered in rain gauges considering data from Remote Sensing provided by the GPM, through the IMERG algorithm and the comparison with two other more traditional methods in order to determine whether satellite estimates can make up this lack of observed data. It was concluded that, compared to the more traditional statistical methods, the satellite data presented satisfactory results, mainly in monthly scale, for the daily data, due to the greater space-time variability, the satellite data can define well the two seasons (dry and rainy season), however, tends to overestimate rainy days and to underestimate more extreme events.

Key words: GPM, Rain Gauges, Multiple Linear Regression, Correlation, filling gaps.

1. Introdução

A precipitação é o principal elemento do ciclo da água e da energia global, além de contribuir na regularização do sistema climático (KIDD et al., 2012). É a componente chave no balanço hídrico de uma região e tem influência direta na atividade econômica local (DANELICHEN et al., 2013). A estimativa precisa e o monitoramento dos padrões de ocorrência da precipitação são essenciais para a modelagem de sistemas hidrológicos e para o planejamento e gestão dos recursos hídricos em diversos setores da sociedade (SANTANA; SOARES, 2016).

O uso dos dados de precipitação tem permitido gerar estimativas de fenômenos críticos e a probabilidade de ocorrência e período de retorno de eventos extremos de precipitação e seca de determinada magnitude e duração. Historicamente, as observações de precipitação têm sido um foco importante do gerenciamento dos recursos hídricos,

sendo essencial em alguns setores da sociedade, como por exemplo, a geração de energia elétrica, o abastecimento humano, a gestão agrícola e da água, ordenamento do território, programas de obras públicas, etc. (HOY et al., 2014; VICENTE-SERRANO et al., 2010).

A coleta de dados de chuva de uma região é tradicionalmente realizada a partir de dados de postos pluviométricos, considerados universalmente como a fonte de dados de referência para as observações de precipitação, pois fornecem um registro físico direto da precipitação em um determinado ponto (TAPIADOR et al., 2012). Mesmo oferecendo uma boa resolução temporal, a medição de chuva com pluviômetros pode não capturar a distribuição espacial em áreas muito extensas ou em regiões de difícil acesso que apresentam uma topografia complexa (FALCK et al., 2015; NÓBREGA; SOUZA; GALVÍNCIO, 2008; WAGNER et al., 2012). Além disso, devido ao mau funcionamento do aparelho ou até mesmo erro humano, podem ocorrer falhas no registro destes dados, comprometendo o desempenho dos modelos hidrológicos e ambientais (WAI; CHE, 2012).

As limitações referentes aos dados disponíveis, tanto em termos de densidade de dados como em relação ao período de observações e das falhas existentes nas séries, podem comprometer os estudos para aplicações práticas quando feita a análise de valores extremos, modelagem hidrológica e aplicação de métodos estatísticos como análise espectral, calibração de algoritmos e modelagem estocástica (OLIVEIRA et al., 2008; OLIVEIRA; ANTONINI; GRIEBELER, 2008). Em geral, esses modelos hidrológicos são desenvolvidos a partir de séries históricas disponíveis, e são avaliados em função da capacidade que desempenham na geração de dados com estatísticas similares às observadas nos dados históricos (OLIVEIRA et al., 2005). Assim, um pré-processamento de conjunto de dados brutos para o preenchimento de falhas nas séries de dados faz-se um procedimento obrigatório em estudos hidrológicos (PAPPAS, 2014).

Os métodos para o preenchimento de falhas são usados para a construção de um conjunto de dados completos, e os mais usuais nesta etapa são: ponderação regional, regressão linear e potencial múltiplas, ponderação regional com base em regressões lineares e vetor regional (OLIVEIRA et al., 2010). E outros que vem sendo comumente usados, principalmente pela sua simplicidade e facilidade na aplicação, como por exemplo, o Gauge Mean Estimator (GME) (MCCUEN 1998), a Ponderação Inversa da Distância (IDW) (TEEGAVARAPU; CHANDRAMOULI, 2005), e Krigagem (BORGA; VIZZACCARO, 1997; KIZZA et al., 2012; PLOUFFE; ROBERTSON; CHANDRAPALA, 2015)

No entanto, segundo Bertoni & Tucci (2007), tais métodos são mais recomendados para preenchimentos de falhas mensais e anuais. Contudo, os dados diários de precipitação são insumos básicos para os modelos hidrológicos e a maioria das séries diárias de dados de precipitação são curtas para a realização de análises significativas, além de apresentarem um número significativo de registros ausentes (BENNETT et al., 2007; HASANA; CROKEA, 2013).

Métodos para preenchimento de falhas em nível diário são escassos e geralmente apresentam erros devido à grande variabilidade espaço-temporal da precipitação. Isso porque, cada evento diário deve ser reconstruído, levando em consideração as características espaço-tempo e a quantidade de chuva (SIMOLO et al., 2010). As precipitações diárias são reconstruídas a partir de estações meteorológicas locais geridas pelos governos federal, estaduais e agências locais, que muitas das vezes apresentam conjuntos de dados incompletos, com ausência de valores que estão associados a erros sistemáticos e / ou aleatórios, tornando assim, as estimativas precisas da falta dos dados nos registros diários de precipitação uma tarefa difícil (KIM; RYU, 2015).

Alguns métodos vêm sendo explorados para o preenchimento de falhas de dados diários de precipitação, os quais incluem: regressão linear múltipla, método da correlação, substituição simples, regressão paramétrica, regressão classificada e o método de Theil, além das técnicas com algoritmos de redes neurais, que também são explorados para o preenchimento dos valores de precipitação ausentes (LO PRESTI; BARCA; PASSARELLA, 2010; MALEK et al., 2008).

Uma saída desta dificuldade seria excluir esses períodos com falhas da análise de dados ou ignorar o problema se o seu valor não for muito grande. No entanto, tais abordagens podem acabar desconsiderando informações valiosas e induzir pré-conceitos em vários estudos hidrológicos e climáticos (SIMOLO et al., 2010). Sendo assim, o preenchimento de falhas em nível diário constitui ainda um campo aberto à pesquisa.

Todos esses problemas e limitações dos sistemas operacionais de monitoramento de chuvas baseadas em pluviômetros ou redes nacionais de radar meteorológico, que não conseguem fornecer uma estimativa precisa da alta variabilidade de precipitação nos terrenos mais complexos, motivaram o desenvolvimento de alternativas aos métodos tradicionais, sendo a principal delas a metodologia baseada em Sensoriamento Remoto Orbital (SRO) (HUFFMAN et al., 2007; SEYYEDI et al., 2014). O SRO possibilita observações frequentes e em escala global, colaborando com uma melhor compreensão

dos eventos de precipitação, principalmente em regiões onde a rede de observações na superfície não são satisfatórias (LIU; SHIH, 2013)

Deste modo, esse trabalho traz como objetivo a verificação da aplicabilidade de um método de preenchimento de falhas de dados registrados em pluviômetros considerando dados de Sensoriamento Remoto fornecidos pelo GPM (Global Precipitation Measurement), através do algoritmo Integrated Multi-Satellite Retrievals para GPM (IMERG) e a comparação com outros dois métodos mais tradicionais a fim de determinar qual método apresenta melhor o preenchimento dos dados a nível diário e mensal.

2. Material e Métodos

2.1. Dados Pluviométricos

Os dados das estações pluviométricas escolhidas para este estudo foram obtidos no banco de dados Hidroweb da Agência Nacional das Águas (ANA). Inicialmente foram selecionadas 50 estações, relacionadas na tabela 1, que continham pelo menos, uma série de dados de 30 anos, localizadas na região sudeste do Estado de Goiás, tendo como referência as divisões hidrográficas do Rio dos Bois e Meia ponte e que podem ser visualizadas na figura 1.

Tabela 1. Estações Pluviométricas da rede da Agência Nacional das Águas aplicadas no estudo.

	Código	Estação	Longitude	Latitude	Altitude (m)
1	1548003	Pirenópolis	-48.966	-15.855	768
2	1648001	Ponte Alta Anápolis	-48.6	-16.143	883
3	1649000	Anicuns	-49.943	-16.465	657
4	1649001	Aragoiânia	-49.452	-16.912	878
5	1649004	Goianápolis	-49.02	-16.516	1007
6	1649006	Inhumas	-49.495	-16.347	746
7	1649009	Ouro Verde de Goiás	-49.198	-16.219	1077
8	1649010	Palmeiras de Goiás	-49.929	-16.803	605
9	1649012	Trindade	-49.488	-16.661	781
10	1650000	Cachoeira de Goiás	-50.649	-16.669	763
11	1650001	Córrego do Ouro	-50.557	-16.298	565
12	1650002	Isrraelândia	-50.906	-16.316	411
13	1650003	Turvânia	-50.133	-16.609	637
14	1651000	Caiapônia	-51.799	-16.95	700
15	1651001	Iporá	-51.083	-16.428	605
16	1748004	Marzagão	-48.683	-17.983	812
17	1749000	Edéia (Alegrete)	-49.93	-17.341	590
18	1749001	Fazenda Boa Vista	-49.691	-17.106	550
19	1749002	Joviânia	-49.626	-17.809	845
20	1749003	Morrinhos	-49.115	-17.733	808
21	1749004	Pontalina	-49.442	-17.517	650
22	1749005	Piracanjuba	-49.027	-17.289	779
23	1749009	Cromínia	-49.383	-17.285	694

24	1750000	Barra do Monjolo	-50.181	-17.732	458
25	1750001	Fazenda Nova do Turvo	-50.289	-17.079	529
26	1750003	Ponte Rio Verdão	-50.556	-17.541	526
27	1750004	Ponte Rodagem	-50.682	-17.325	551
28	1750008	Fazenda Paraíso	-50.774	-17.466	643
29	1750013	Parauna	-50.447	-16.949	684
30	1751001	Ponte Rio Doce	-51.397	-17.856	751
31	1751002	Benjamin Barros	-51.892	-17.695	726
32	1751004	Montividiu	-51.077	-17.365	734
33	1752006	Bom Jardim	-52.17	-17.718	894
34	1848000	Monte Alegre de Minas	-48.869	-18.872	732
35	1848004	Fazenda Cachoeira	-48.782	-18.698	742
36	1848006	Tupaciguara	-48.691	-18.601	904
37	1848007	Corumbazul	-48.859	-18.243	559
38	1848008	Brilhante	-48.903	-18.492	795
39	1848009	Xapetuba	-48.584	-18.863	878
40	1849000	Ituiutaba	-49.463	-18.941	498
41	1849002	Ipiacu	-49.949	-18.692	444
42	1849006	Avantiguara	-49.07	-18.772	794
43	1849016	Ponte Meia Ponte	-49.611	-18.339	483
44	1850001	Fazenda Aliança	-50.031	-18.105	451
45	1850002	Quirinópolis	-50.522	-18.501	443
46	1850003	Maurilândia	-50.337	-17.98	479
47	1851001	Campo Alegre	-51.094	-18.518	569
48	1851004	Pombal	-51.497	-18.093	651
49	1949003	Gurinhata	-49.788	-19.213	527
50	1949006	Ponte do Prata	-49.697	-19.035	455

Para análise dos métodos de preenchimento de falhas dos dados pluviométricos, fez-se necessário selecionar estações testes, as quais foram escolhidas conforme a disponibilidade de dados da própria estação e de estações vizinhas, que são necessários para os cálculos de estimativas. Para a avaliação dos métodos em níveis diários de precipitação foram selecionadas 6 estações e delas retiradas um ano de dados diários da série original para em seguida realizar as estimativas pelos diferentes métodos e então substituir a série ao longo do período.

A mesma metodologia foi aplicada para níveis mensais de precipitação, no entanto foram selecionadas apenas 4 das 6 estações testes. Vale ressaltar que mesmo utilizando as mesmas estações testes para as estimativas diárias e mensais, não significa que foram utilizadas as mesmas estações vizinhas para os cálculos, devido à grande variabilidade temporal da precipitação. A estações testes também estão representadas na figura.

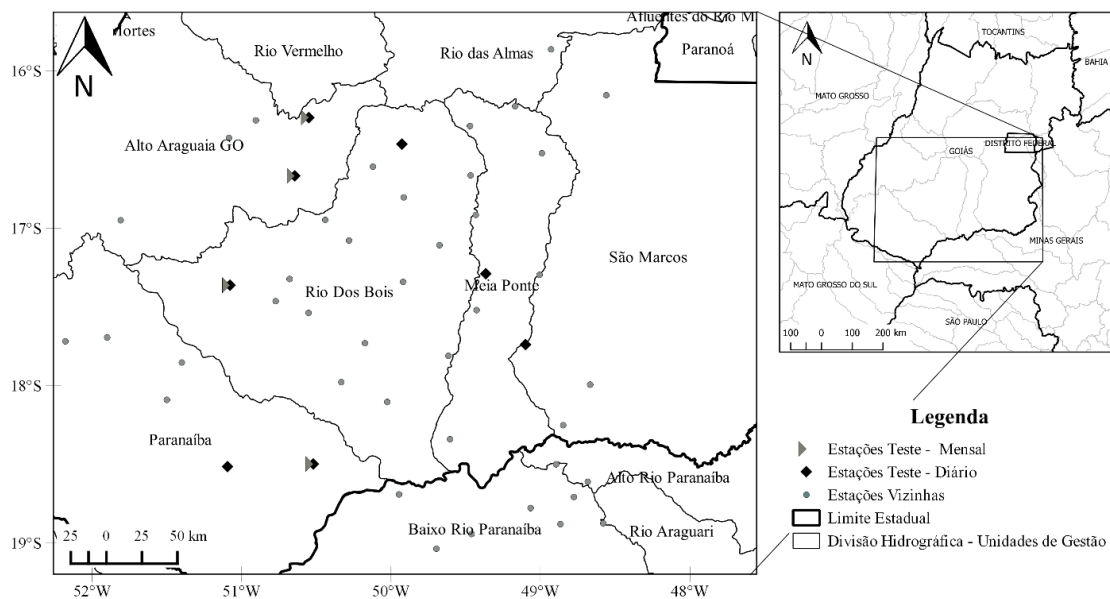


Figura 1. Localização das estações testes selecionadas para estimativas diárias e mensais e suas estações vizinhas.

2.2. Dados do satélite Global Precipitation Measurement (GPM)

O GPM, através do algoritmo Integrated Multi-Satellite Retrievals (IMERG) fornece estimativas de precipitação que combinam dados de todos os instrumentos passivos de microondas na constelação GPM, o qual destina-se a intercalar, mesclar e interpolar todas as estimativas de precipitação de microondas por satélite, juntamente com estimativas das observações infravermelhas calibradas, e outros dados de sensores potenciais com uma resolução espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ e temporal de 30 minutos para todo o mundo (HUFFMAN et al., 2014).

Os dados foram obtidos no site EarthData da NASA em formato HDF5 e depois convertidos para o formato TIFF pelo software ArcGis 10.1 e então foram extraídos para uma planilha os dados de precipitação estimados em mm/h a cada 30 minutos para cada pixel referente a localização de cada estação pluviométrica em estudo. Posteriormente foi feita a conversão dos dados para mm/dia considerando as medições das 7:00 horas da manhã de um dia até as 6:59 do dia seguinte, considerando que as leituras dos dados das estações são realizadas todos os dias às 7:00 da manhã.

2.2. Preenchimento de Falhas

A aplicação de técnicas de modelagem no preenchimento de falhas na gestão dos recursos hídricos é uma ferramenta necessária para uma melhor compreensão do comportamento hidrológico, permitindo assim um aproveitamento consciente dos recursos hídricos (BARNETCHE & KOBAYAMA, 2006).

As técnicas tradicionais para o preenchimento de lacunas nas séries de precipitação, seja nas escalas de tempo anuais, mensais ou diárias, baseiam-se principalmente na interpolação espacial, ou seja, os valores imputados em uma estação alvo são calculados usando observações sincrônicas de estações vizinhas (SIMOLO et al., 2010).

- **Regressão Linear Múltipla (RLM)**

A combinação linear de postos vizinhos é uma das maneiras mais simples de estimar dados faltantes. O método de preenchimento de falhas empregando RLM proposto por Tabony (1983), assume dados de estações vizinhas próximas da estação com falhas como condições explicativas. Neste caso, todas as estações vizinhas fornecidas no modelo são incluídas na equação de previsão dos dados faltantes.

Para a aplicação do modelo de RLM deve-se utilizar no mínimo duas variáveis independentes, onde a variável dependente (estação com falha) poderá estar relacionada com ‘n’ variáveis independentes, conforme descrito na equação 1 abaixo:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (1)$$

Onde:

Y_i é o valor estimado para a variável dependente no i-ésimo nível da variável independente;

β_0 é a constante de regressão (interseção do plano);

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$, são os coeficientes parciais da regressão;

x_1, x_2, \dots, x_n , o i-ésimo nível da variável independente x.

Os cálculos dos parâmetros $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$, são estimados pelo método dos Mínimos Quadrados, o qual utiliza uma abordagem matricial a fim de facilitar as operações. Para medir o ajustamento do modelo é importante alguns testes de hipótese para verificar se existe a relação linear entre a variável resposta y e o subconjunto de regressores x_n . Assim, estações são de acordo com seu limite de confiança de 95% e a estação com dados faltantes é preenchida com o valor previsto pelo modelo de regressão, utilizando estações vizinhas como variáveis independentes. (BIER; EROTILDES; FERRAZ, 2017).

O processo e a aplicação deste método foram realizados no software R na sua interface RStudio. Foi necessária uma análise individual para cada estação onde alguns critérios de seleção foram utilizados:

- Para cada estação teste foram selecionadas no mínimo duas estações vizinhas, as quais entraram na equação como variáveis independentes;
- Era necessário que as estações vizinhas não contivessem falhas no mesmo período que a estação teste;
- Inicialmente foram escolhidas as estações vizinhas mais próximas, que estivessem dentro de um raio de 100km. E somente caso não encontrasse estações vizinhas que atendessem aos critérios anteriores eram selecionadas estações mais distantes, até 150km;
- Enfim era avaliado o valor de P para cada coeficiente calculado. Ele indica a probabilidade de ocorrência de valores extremos em relação aos valores observados nas estatísticas do teste;
- Os coeficientes calculados que indicavam um valor de P maior que 0,5 eram rejeitados, por indicarem uma tendência de haver uma diferença significativa entre as estações;
- Quando um coeficiente (estação vizinha), era rejeitada no teste, essa estação era excluída da equação e o cálculo era refeito até que todas as estações relacionadas na equação apresentassem um valor de P significativo, ou seja, menor que 0,5.

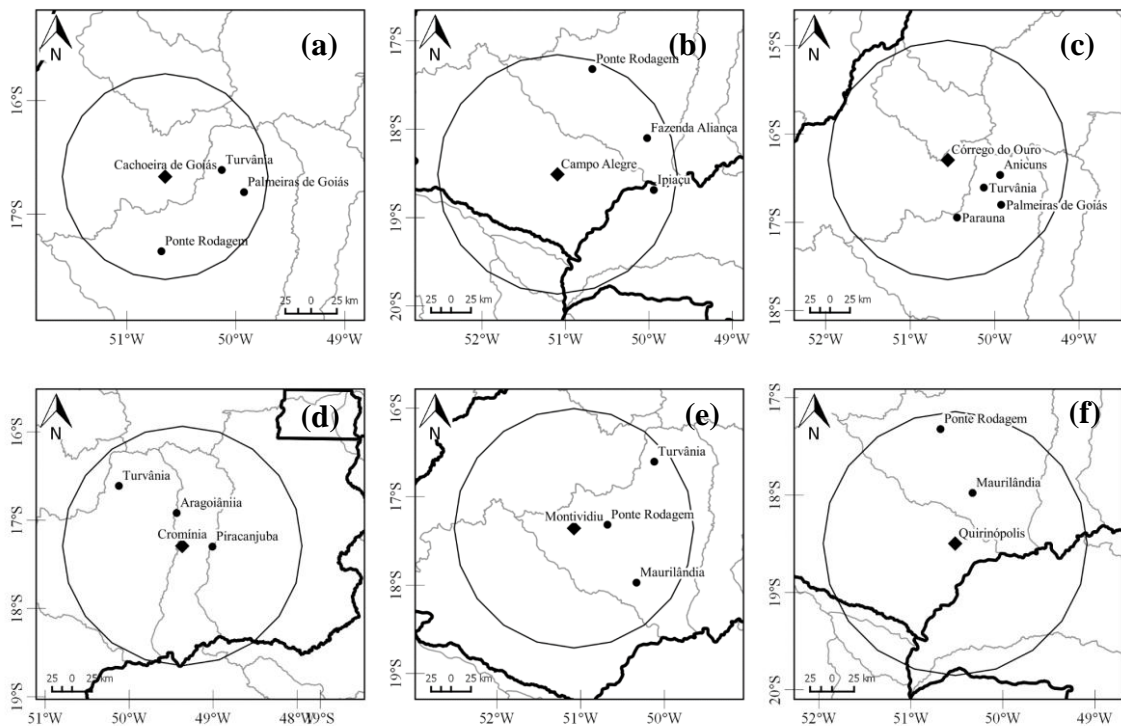


Figura 2. Localização das estações testes e suas respectivas estações vizinhas selecionadas para o modelo de RLM de estimativas Diárias de precipitação. Estações testes: (a) Cachoeira de Goiás, (b) Campo Alegre, (c) Córrego do Ouro, (d) Cromínia, (e) Montividiu e (f) Quirinópolis.

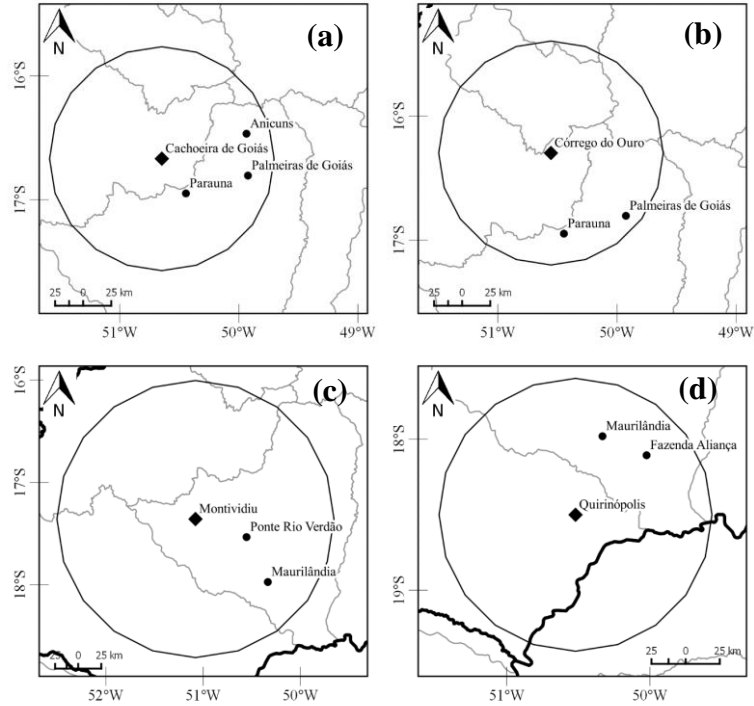


Figura 3. Localização das estações testes e suas respectivas estações vizinhas selecionadas para o modelo de RLM de estimativas Diárias de precipitação. Estações testes: (a) Cachoeira de Goiás, (b) Campo Alegre, (c) Córrego do Ouro, (d) Cromínia, (e) Montividiu e (f) Quirinópolis.

- **Correlação**

Para a aplicação do método das Correlações foi utilizado o pacote `hyfo` disponível na interface do Software RStudio. O pacote foi desenvolvido para o processamento de dados e visualização de previsões do clima, e em hidrologia, ele contém como uma das principais funções, o comando `fillGap`, que realiza o preenchimento instantâneo das falhas dos dados de precipitação.

Primeiro ele calcula o Coeficiente de Correlação de cada duas colunas de dados de chuva, que pode ser ordenado em escala diária, mensal ou anual.

A correlação é uma das medidas de relação entre duas variáveis aleatórias e pode ser denotada por:

$$\rho_{XY} = \frac{cov(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (2)$$

Onde:

$cov(X, Y)$ é a covariância entre as variáveis aleatórias X e Y;

$\sigma_X \sigma_Y$ correspondem aos desvios padrão da variável X e Y, respectivamente.

A matriz de correlação é obtida para cada 1ª, 2ª, até n coluna correlacionada. Deste modo, caso haja um valor ausente na coluna, ele obterá dados da 1ª, 2ª, até n coluna ordenadas.

Segundo, também é calculado entre cada duas colunas a Regressão Linear Simples, que é semelhante ao descrito no item anterior, porém, com apenas a constante de regressão β_0 , e um coeficiente angular na reta β , conforme equação 3.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 \quad (3)$$

Finalmente, é realizado o preenchimento da falha onde, por exemplo, na coluna A em uma certa data há um valor ausente, e pela ordem de correlação, significa que a coluna A primeiro deve receber valores da coluna B, no entanto, se a coluna B também contém falhas para essa mesma data, então a coluna A recebe os dados da coluna C, e assim sucessivamente. Ou seja, assumindo que o valor da coluna C existe, a coluna A será preenchida com o valor referente da coluna C multiplicado pelo coeficiente linear. (PACKAGE; HYDROLOGY; FORECASTING, 2018).

Segundo Hirsch et. al (1992), a correlação é uma grandeza utilizada para comparar as relações lineares entre pares de variáveis que possuem o intervalo sendo $-1 \leq \rho_{XY} \leq +1$, onde ρ_{XY} é a correlação entre a variável X e Y. Neste caso, a magnitude da correlação depende diretamente do valor da covariância, ou seja, se a covariância entre as variáveis for positiva, a correlação entre elas também será, e quanto mais próximo de 1, melhor a correlação entre as estações.

2.3. Comparação dos Métodos

Para a comparação quantitativa e do desempenho dos diferentes métodos aplicados para preenchimento de falhas diárias e mensais de precipitação, foram utilizados quatro tipos diferentes de medidas estatísticas, sendo eles:

- Erro Absoluto Médio - EAM

O Erro Absoluto Médio representa a amplitude média do erro. É representado pela equação 5:

$$EAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |E_i - O_i| \quad (5)$$

- Raiz do Erro Quadrático Médio - REQM

O REQM também mede a amplitude do erro médio, no entanto ele atribui maior peso aos erros maiores em relação ao EAM.

$$REQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2} \quad (6)$$

- BIAS

É o viés percentual, serve para expressar os erros sistemático ou tendencioso. Ele consegue quantificar as subestimações e superestimações dos valores estimados em relação as observações médias.

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \times 100 \quad (7)$$

- Coeficiente de Correlação - CC

O CC reflete o grau de correlação linear entre os valores estimados e observados.

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(E_i - \bar{E})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}} \quad (8)$$

Onde n é o número de dias, meses ou anos observados, nos quais os dados foram retirados da série original das estações vizinhas. O , são os valores observados e E os valores estimados pelo método de preenchimento de falhas.

3. Resultados e Discussão

3.1. Estimativas diárias:

A tabela 2 apresenta os resultados da comparação quantitativa dos métodos com as medidas estatísticas para cada estação, onde CC é o Coeficiente de Correlação, EAM o Erro Absoluto Médio, REQM a Raiz do Erro Quadrático Médio e Bias o viés percentual.

Tabela 2. Coeficiente de correlação (CC), erro absoluto médio (EAM), raiz do erro quadrático médio (REQM) e BIAS das estimativas diárias para cada um dos métodos em cada uma das estações testes. As melhores estimativas estão indicadas em negrito.

	CC			EAM			REQM			BIAS		
	RLM	COR	GPM	RLM	COR	GPM	RLM	COR	GPM	RLM	COR	GPM
Cachoeira de Goiás	0.31	0.20	0.22	3.72	3.45	4.92	7.39	7.77	11.06	-0.15	-0.50	0.28
Campo Alegre	0.29	0.47	0.44	5.37	4.70	5.46	14.61	14.07	14.27	-0.42	-0.68	-0.12
Córrego do Ouro	0.44	0.35	0.60	4.41	4.08	4.26	10.55	11.16	9.45	-0.36	-0.63	0.02
Cromínia	0.49	0.40	0.62	4.27	4.25	3.66	9.77	10.49	8.98	-0.28	-0.48	-0.06
Montividiu	0.39	0.43	0.60	3.59	3.30	3.19	7.81	7.66	7.37	-0.11	-0.41	0.19
Quirinópolis	0.46	0.42	0.72	4.00	3.83	3.17	8.98	9.35	7.12	-0.48	-0.63	-0.07

Para uma análise mais completa dos índices obtidos, abaixo estão plotados os dados observados com os dados gerados em cada método analisado para cada estação teste selecionada para 365 dias, do período de 01/09/2016 a 31/08/2017. Os conjuntos de dados observados (OBS) foram apresentados por linhas tracejadas azuis, os dados preenchidos pelo método de Regressão Linear Múltipla (RLM) estão representados pela linha de cor laranja, os do método de Correlação (COR) pela cor amarela e os dados obtidos pelo algoritmo IMERG do satélite GPM pela cor vermelha.

Na estação Cachoeira de Goiás (figura 4), o método que obteve melhores resultados estatísticos de comparação foi o da RLM. É perceptível no gráfico que ele é o que melhor se aproxima dos dados observados. Enquanto o método da correlação mesmo apresentando um EAM um pouco menor, subestima em 50% os dados observados.

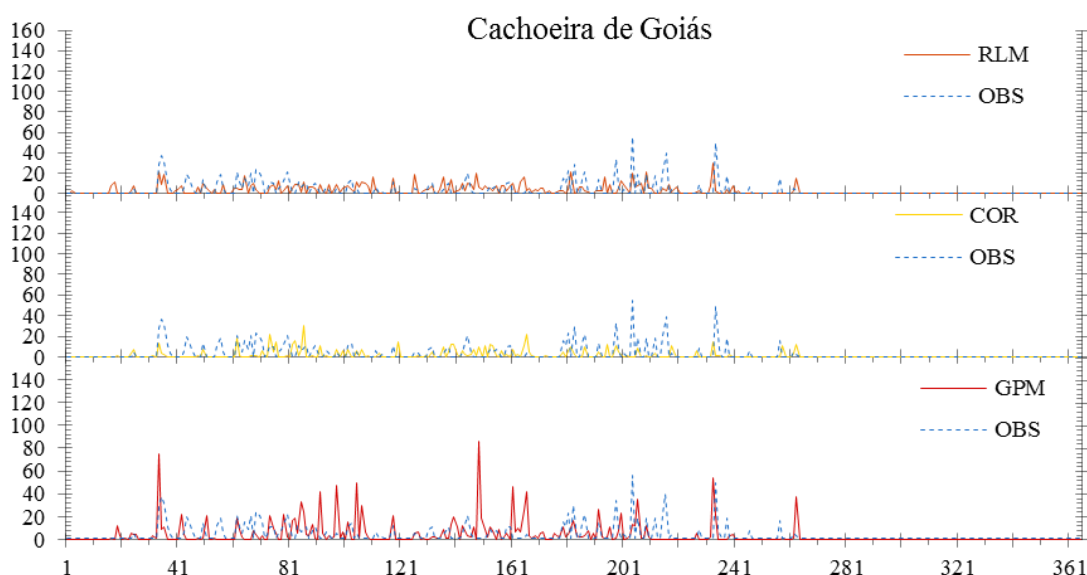


Figura 4. Comparação direta entre estimativas diárias de precipitação e dados observados para o período de 01/09/2016 a 31/08/2016 na estação de Cachoeira de Goiás.

Para a estação Campo Alegre os resultados estatísticos com menor erro médio e melhor coeficiente de correlação foi o método da Correlação, no entanto, o método apresenta uma tendência negativa de -68% dos dados estimados em relação aos observados, ou seja, ele não é bom para identificar eventos extremos, conforme pode ser observado na figura 5. Observa-se também que o satélite GPM foi o que melhor identificou estes eventos, entretanto, para a chuva máxima observado no ponto para esta

estação 152,3 mm, o GPM estimou um valor baixo de 35 mm e registou sua precipitação máxima para a região dias depois, de 121,2 mm, enquanto o valor observado foi de 53,7mm.

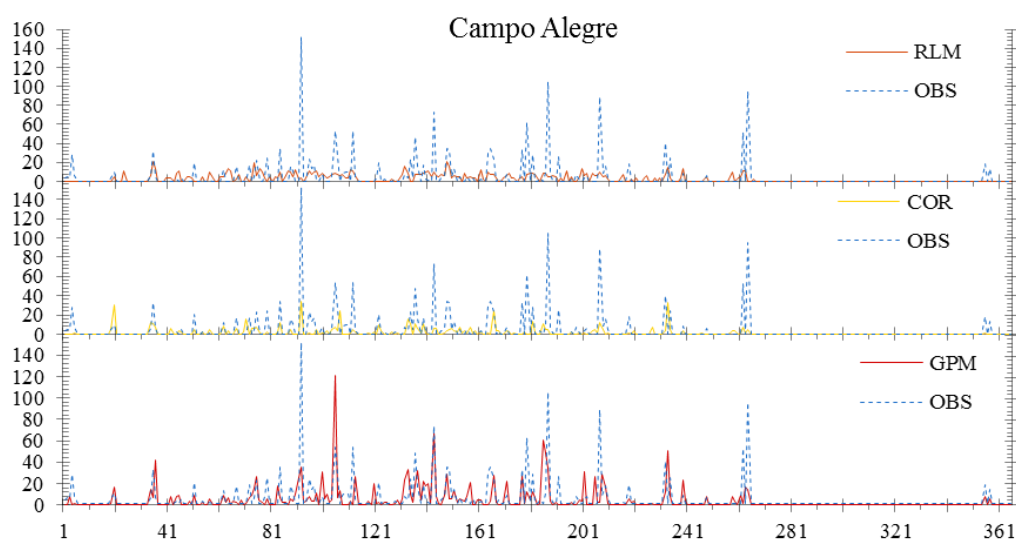


Figura 5. Comparação direta entre estimativas diárias de precipitação e dados observados para o período de 01/09/2016 a 31/08/2016 na estação de Campo Alegre.

Para as demais estações analisadas, tanto os resultados estatísticos (tabela 2) quanto a representação gráfica dos dados, apresentados nas figuras 6, 7, 8 e 9, mostraram melhor desempenho para o método de substituição direta dos dados utilizando as estimativas obtidas pelo algoritmo IMERG do satélite GPM para o pixel onde se encontra a estação referente. Com uma visão geral dos resultados, podemos concluir que o método preenche bem as falhas, no entanto, não consegue estimar quantidades de chuvas mais extremas na mesma época em que são observadas nos postos.

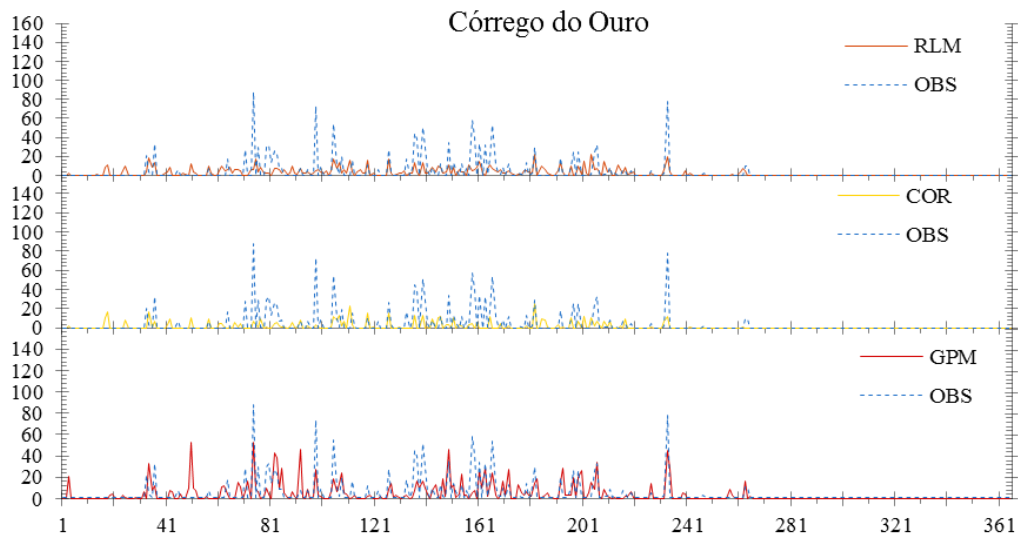


Figura 6. Comparação direta entre estimativas diárias de precipitação e dados observados para o período de 01/09/2016 a 31/08/2016 na estação de Córrego do Ouro.

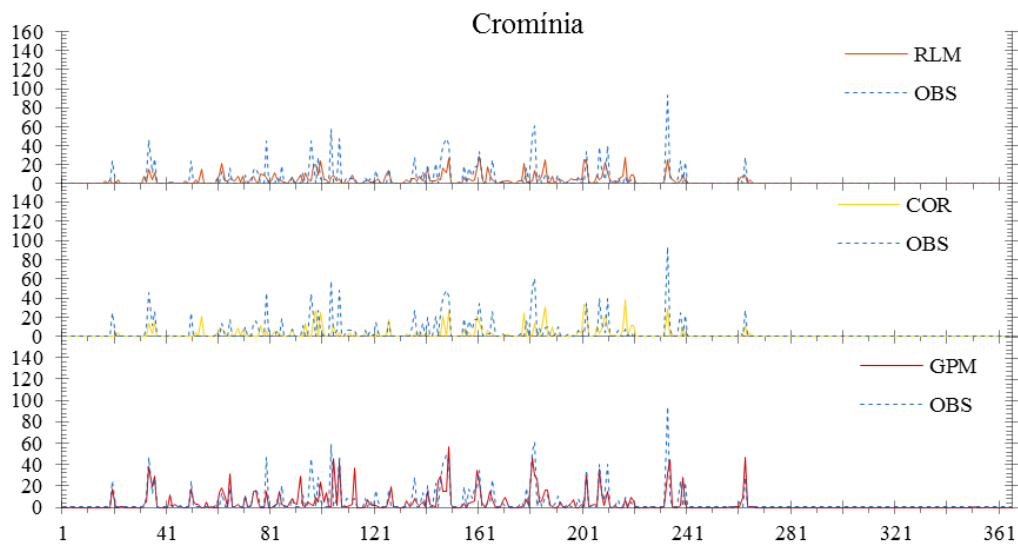


Figura 7. Comparação direta entre estimativas diárias de precipitação e dados observados para o período de 01/09/2016 a 31/08/2016 na estação de Cromínia.

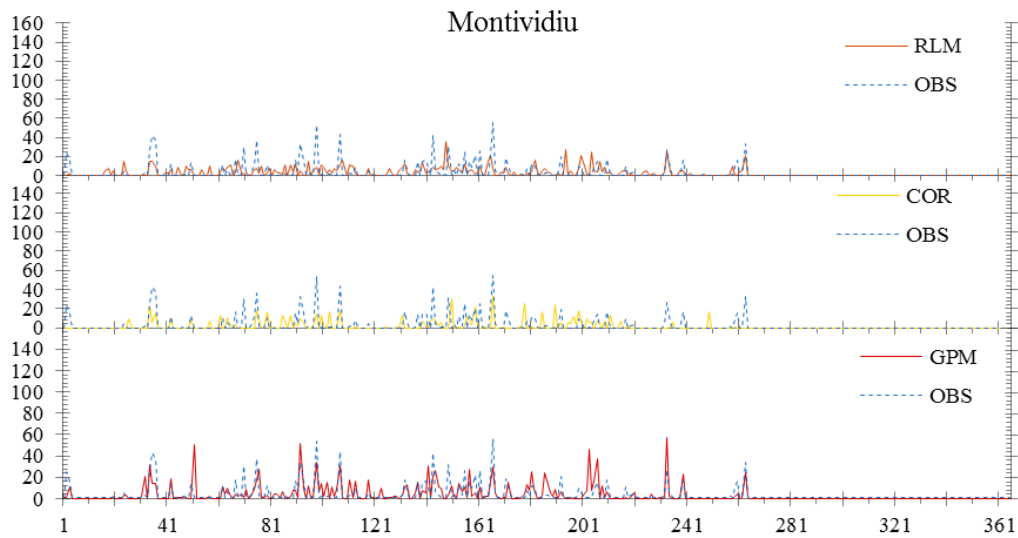


Figura 8. Comparação direta entre estimativas diárias de precipitação e dados observados para o período de 01/09/2016 a 31/08/2016 na estação de Montividiu.

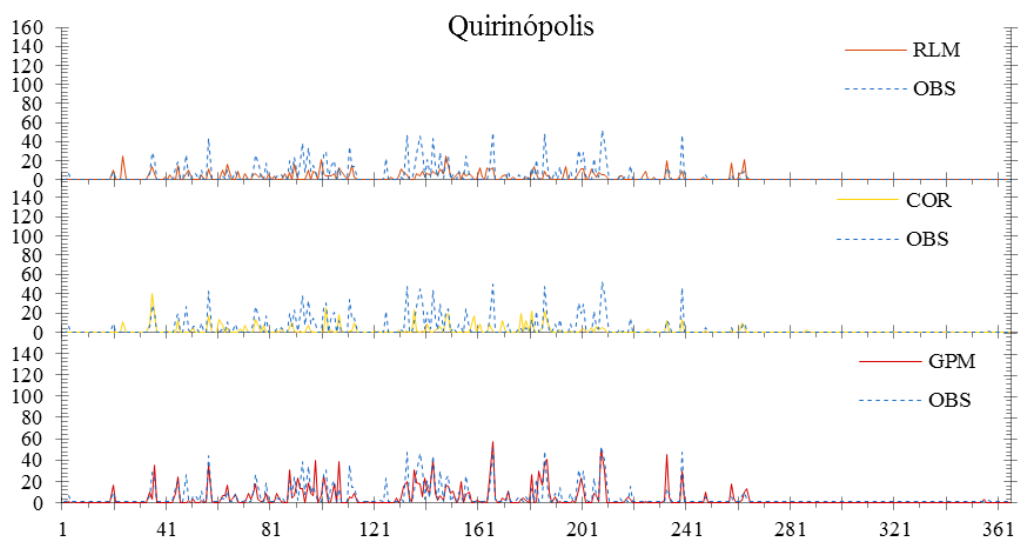


Figura 9. Comparação direta entre estimativas diárias de precipitação e dados observados para o período de 01/09/2016 a 31/08/2016 na estação de Quirinópolis.

SIMOLO et al., (2010) em sua análise de preenchimento de falhas de dados diários de precipitação, encontrou coeficientes de correlação que variaram de 0,55 a 0,71 e explicou que as análises estatísticas podem ser afetadas devido à grande quantidade de zeros na série de dados e também a falta de correspondência dos dados diários em estações vizinhas.

O método de estimativa por satélite não depende de estações vizinhas, porém, deve-se levar em consideração que o dado observado pelo pluviômetro é pontual,

enquanto o do satélite é espacial, aproximadamente 11km², o que pode justificar a não detecção de eventos extremos mais pontuais, do mesmo modo que outros eventos podem ser estimados por satélite e não registrados por estações pluviométricas, dependendo da sua distribuição.

3.2. Estimativas Mensais:

Para as estimativas mensais foram usadas no estudo 4 estações testes. Na tabela 3 são verificadas os coeficientes de correção (CC), o erro absoluto médio (EAM) a raiz do erro quadrático médio (REQM) e o BIAS percentual.

Tabela 3. Coeficiente de correlação (CC), erro absoluto médio (EAM), raiz do erro quadrático médio (REQM) e BIAS das estimativas mensais para cada um dos métodos em cada uma das estações testes. As melhores estimativas estão indicadas em negrito.

	<u>CC</u>			<u>EAM (mm)</u>			<u>REQM (mm)</u>			<u>Bias (%)</u>		
	RLM	COR	GPM	RLM	COR	GPM	RLM	COR	GPM	RLM	COR	GPM
Cachoeira de Goiás	0.83	0.72	0.70	41.24	49.05	54.45	65.16	67.61	79.34	-0.30	-0.03	0.28
Córrego do Ouro	0.89	0.95	0.93	46.17	42.11	33.47	61.98	61.42	47.36	-0.10	-0.27	0.02
Montividiu	0.93	0.78	0.87	19.51	32.36	33.07	29.31	57.47	49.28	0.12	0.05	0.19
Quirinópolis	0.88	0.77	0.97	41.28	56.90	31.25	62.76	85.23	40.84	-0.04	-0.14	-0.07

Entre todas as estações, o método que obteve resultados menos satisfatórios foi o de correlação. O método da RLM apresentou melhores resultados para as estações de Cachoeira de Goiás e Montividiu, enquanto para as estações do Córrego do Ouro e Quirinópolis foi o método do GPM. Na média entre todas as estações, o método que apresentou os melhores resultados foi o de RLM para a estação de Montividiu, com o menor valor do EAM de 19,51 mm, um erro médio percentual de 17%, considerando a precipitação mensal média de todas as estações de 111,52 mm, para as outras estações o erro médio percentual foi 37% para a Cachoeira de Goiás e Quirinópolis e de 41% para a do Córrego do Ouro.

Nas figuras 10 a, b, c e d podemos observar os gráficos das estimativas para as precipitações mensais considerando os 3 métodos para cada uma das estações teste do período de setembro de 2016 a agosto de 2017. Observa-se que com exceção da estação

de Cachoeira de Goiás que apresentou valores observados abaixo da média para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, as estimativas não foram boas para esses meses.

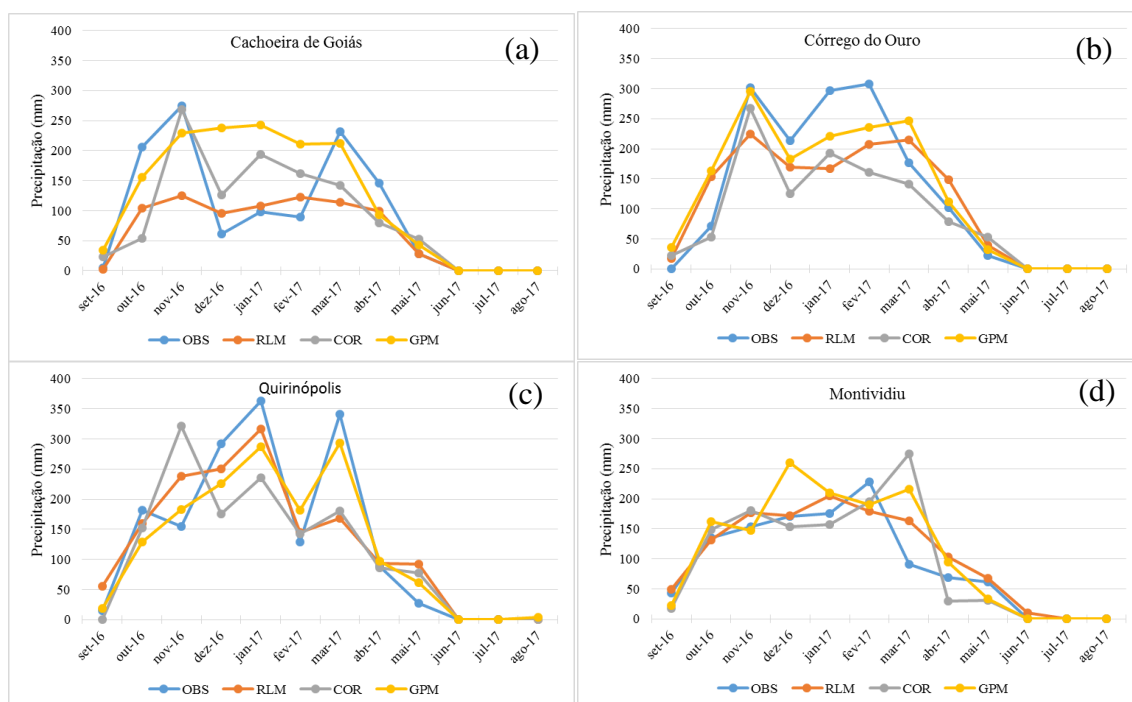


Figura 10. Gráficos com as estimativas para as séries mensais de precipitação no período de setembro de 2016 a agosto de 2017 com os três métodos para cada uma das estações testes: a) Cachoeira de Goiás, b) Córrego do Ouro, c) Montividiu e d) Quirinópolis.

De modo geral, tanto o satélite GPM quanto o método de RLM estimam bem os dados observados para níveis mensais de precipitação, no entanto, vale ressaltar que mesmo os dados de satélite sendo consistentes e apresentando bons resultados, ele possui uma série histórica muito curta em relação aos dados medidos por estações pluviométricas.

4. Conclusão

Com a realização de estimativas utilizando diferentes métodos para preenchimento de falhas diárias e mensais para a região sudeste de Goiás, os métodos que apresentaram melhores resultados foram as estimativas do Satélite GPM e da RLM.

Para o método da Regressão Linear múltipla, as informações sobre as propriedades estatísticas das quantidades históricas de precipitação da estação teste e a quantidade de precipitação das estações vizinhas foram consideradas no processo, enquanto que para o satélite GPM o valor da falha é preenchido observando somente o

pixel referente a região da estação selecionada. Os dois métodos representam bem as estações de seca e de chuva região.

Os métodos aplicados para o preenchimento de falha de dados diários não obtiveram resultados satisfatórios, apresentando erros estatísticos elevados, subestimando a variabilidade dos dados, não conseguindo capturar eventos mais extremos. A quantidade de estações vizinhas e correspondentes influencia no método da RLM, o que não é possível em determinadas regiões, devido à falta de investimentos para colocação de aparelhos ou até mesmo pela dificuldade no acesso. O satélite GPM oferece uma vantagem em relação a isso, pois ele estima a precipitação para todo o globo, no entanto, ele estima a precipitação para uma área de aproximadamente 11km², o que também pode não prever eventos extremos.

Para as estimativas mensais de precipitação ambos os resultados foram satisfatórios, e os produtos baseados em satélites devem assumir cada vez mais um papel importante no preenchimento de falhas de dados, principalmente em regiões mais longes e de difíceis acesso. Hoje essas estimativas ainda não oferecem registros a longo prazo, mas no futuro elas se tornarão ainda mais úteis. As pesquisas nessa área são importantes para avaliar o desenvolvimento dos algoritmos de estimativas dos satélites. Uma comparação destes dados considerando dados médios de precipitação numa bacia hidrográfica podem gerar melhores estimativas em relação aos dados observados.

5. Referências

- AL, A. Y. H. ET. The global precipitation measurement mission. American Meteorological society, v. n. May, p. 701–722, 2014.
- BENNETT, N. D. et al. Patching and disaccumulation of rainfall data for hydrological modelling. In: Int. Congress on Modelling and Simulation (MODSIM 2007), 2007, Cidade-estado, Anais..., p. 2520–2526, 2007.
- BIER, A. A.; EROTILDES, S.; FERRAZ, T. Comparação de Metodologias de Preenchimento de Falhas em Dados Meteorológicos para Estações no Sul do Brasil Comparison of Gap Filling Methodologies for Meteorological Data in Southern Brazil Stations. Revista, v. n. , p. 215–226, 2017.
- BORGA, M.; VIZZACCARO, A. On the interpolation of hydrologic variables: Formal equivalence of multiquadratic surface fitting and kriging. Journal of Hydrology, v. 195, n. 1–4, p. 160–171, 1997.
- DANELICHEN, V. H. DE M. et al. TRMM satellite performance in estimated rainfall over the midwest region of Brazil. Revista Brasileira de Climatologia, v. 12, n. 1, p. 22–31, 2013.

- FALCK, A. S. et al. Propagation of satellite precipitation uncertainties through a distributed hydrologic model: A case study in the Tocantins-Araguaia basin in Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 527, p. 943–957, 2015.
- HASANA, M.; CROKEA, B. Filling gaps in daily rainfall data: a statistical approach. *Mssanz.Org.Au*, nome revista, v. n. December, p. 1–6, 2013.
- 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. 1, p. 38–55, 2007.
- KIDD, C. et al. Intercomparison of High-Resolution Precipitation Products over Northwest Europe. *Journal of Hydrometeorology*, v. 13, n. 1, p. 67–83, 2012.
- KIM, J.; RYU, J. H. Quantifying a Threshold of Missing Values for Gap Filling Processes in Daily Precipitation Series. *Water Resources Management*, v. 29, n. 11, p. 4173–4184, 2015.
- KIZZA, M. et al. Estimating areal rainfall over Lake Victoria and its basin using ground-based and satellite data. *Journal of Hydrology*, v. 464–465, p. 401–411, 2012.
- LIU, J. K.; SHIH, P. T. Y. Topographic correction of Wind-Driven rainfall for landslide analysis in central Taiwan with validation from Aerial and satellite optical images. *Remote Sensing*, v. 5, n. 6, p. 2571–2589, 2013.
- LO PRESTI, R.; BARCA, E.; PASSARELLA, G. A methodology for treating missing data applied to daily rainfall data in the Candelaro River Basin (Italy). *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 160, n. 1–4, p. 1–22, 2010.
- MALEK, M. A. et al. Reconstruction of Missing Daily Rainfall Data Using Unsupervised Artificial Neural Network. *nome revista*, v. 34, n. October, p. 616–621, 2008.
- NÓBREGA, R. S.; SOUZA, Ê. P. DE; GALVÍNCIO, J. D. Análise Da Estimativa De Precipitação Do Trmm Em Uma Sub-Bacia Da Amazônia Ocidental. *Revista de Geografia - Recife*, v. 25, n. 1, p. 6–20, 2008.
- OLIVEIRA, L. F. C. DE et al. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás Maximum rainfall estimation methods for Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, n. 35, p. 620–625, 2008.
- OLIVEIRA, L. F. C. DE et al. Comparison of gap filling methodologies of annual historical series of rainfall. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 11, p. 1186–1192, 2010.
- OLIVEIRA, L. F. C. DE; ANTONINI, J. C. D. A.; GRIEBELER, N. P. Estimativas de chuvas intensas para o Estado de Goiás. *Engenharia Agrícola*, v. 28, n. 1, p. 22–33, 2008.
- PACKAGE, T.; HYDROLOGY, T.; FORECASTING, C. Package “hyfo”. 2018.
- PAPPAS, C. A quick gap-filling of missing hydrometeorological data. *Journal of Geophysical*, v. 119, p. 1–11, 2014.
- PLOUFFE, C. C. F.; ROBERTSON, C.; CHANDRAPALA, L. Comparing interpolation techniques for monthly rainfall mapping using multiple evaluation criteria and auxiliary data sources: A case study of Sri Lanka. *Environmental Modelling and Software*, v. 67, n. September, p. 57–71, 2015.
- SANTANA, A.; SOARES, D. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no

- Estado da Paraíba. revista v. 21, p. 288–299, 2016.
- SEYYEDI, H. et al. Incorporating Surface Soil Moisture Information in Error Modeling of TRMM Passive Microwave Rainfall. revista, v. 52, n. 10, p. 6226–6240, 2014.
- SIMOLO, C. et al. Improving estimation of missing values in daily precipitation series by a probability density function-preserving approach. International Journal of Climatology, v. 30, n. 10, p. 1564–1576, 2010.
- TAPIADOR, F. J. et al. Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. Atmospheric Research, v. 104–105, p. 70–97, 2012.
- TEEGAVARAPU, R. S. V; CHANDRAMOULI, V. Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. Journal of Hydrology, v. 312, n. 1–4, p. 191–206, 2005.
- VICENTE-SERRANO, S. M. et al. A complete daily precipitation database for northeast Spain: Reconstruction, quality control, and homogeneity. International Journal of Climatology, v. 30, n. 8, p. 1146–1163, 2010.
- WAGNER, P. D. et al. Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. Journal of Hydrology, v. 464–465, p. 388–400, 2012.
- WAI, K.; CHE, C. A comparative analysis of soft computing techniques used to estimate missing precipitation records. revista, v. , n. p. 18–21, 2012.

ARTIGO 2

Análise do produto de precipitação IMERG-GPM em Bacias do Centro-Oeste Brasileiro considerando diferentes escalas temporais e espaciais

Luíza Virgínia Duarte^a, Klebber Teodomiro Martins Formiga^b

^a Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, GO, Brasil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária.

^b Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, GO, Brasil, Escola de Engenharia Civil e Ambiental.

RESUMO:

Os Produtos de precipitação derivados de estimativas de satélite vem surgindo como uma abordagem promissora para a obtenção de estimativas de precipitação, possibilitando observações com precisão a longo prazo e da dinâmica do ciclo da água, da escala global à escala local. A qualidade desses produtos vem melhorando significativamente nas últimas décadas, principalmente com o surgimento das missões TRMM e do seu sucessor GPM. O objetivo deste estudo foi avaliar as estimativas de precipitação a nível diário, mensal e anual fornecidas pelo algoritmo IMERG Versão 05 do GPM, com os dados observados pelas estações pluviométricas da ANA em bacias do Centro-Oeste Brasileiro. Para a comparação dos dados foi feita a espacialização dos dados das estações pluviométricas por meio de método Geoestatístico utilizando a técnica de Krigagem Ordinária interpolando os dados para grades de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ correspondente as grades especializadas do satélite GPM. Os dados avaliados quantitativamente por meio de métricas estatísticas como o CC, o EAM, REQM e o Bias. Os resultados obtidos pelas estimativas de precipitação do satélite GPM são consistentes e apresentam boa correlação, chegando a 0,99 para dados mensais, e com valores de EAM e REQM relativamente baixo, conseguindo reproduzir satisfatoriamente o regime de chuva das Bacias.

Palavras-chave: *IMERG GPM; Precipitação; Pluviômetros; Avaliação, Estatística.*

IMERG-GPM Precipitation Product Analysis in the Brazilian Midwest Basins Considering Different Time and Space Scalesanalysis

ABSTRACT:

Precipitation products derived from satellite estimates have emerged as a promising approach to obtain precipitation estimates, enabling accurate long-term observations and water cycle dynamics from the global scale to the local scale. The quality of these products has improved significantly in the last decades, especially with the emergence of TRMM missions and its successor GPM. The objective of this study was to evaluate the daily, monthly and annual precipitation estimates provided by IMERG Version 05 of the GPM, with the data observed by the rainfall stations of the ANA in the basins of the Midwest Brasileiro. In order to compare the data, the spatialization of the data of the rainfall stations was done by means of the Geostatistical method using the Ordinary Kriging technique, interpolating the data for grids of $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ corresponding to the specialized grids of the GPM satellite. The data were evaluated quantitatively by means of statistical metrics such as CC, EAM, REQM and Bias. The results obtained by the GPM satellite precipitation estimates are consistent and present a good correlation, reaching 0.99 for monthly data, and with relatively low EAM and REQM values, successfully reproducing the basin rainfall regime.

Key words: IMERG GPM; Precipitation; Rain gauges; assessment; Statistic.

1. Introdução

A compreensão da variabilidade espaço-temporal das precipitações é essencial para análises hidrológicas quantitativas, como previsão de eventos intensos de precipitação ou calibração e validação de modelos hidrológicos, os quais conseguem prever cheias para gerenciamento e operações de geração de energia, estimativas para demanda de água de abastecimento, sistemas de alerta para deslizamentos de terra, além dos modelos para agricultura, onde a programação da irrigação depende das chuvas recentes e esperadas em um futuro próximo, principalmente em ambientes semiáridos (MCMILLAN et al., 2011). Sendo assim, grande parte das atividades ligadas a gestão dos recursos hídricos e estudos ambientais carecem de análises de estimativas de chuva o mais próximo do real ocorrida sobre uma região.

As estimativas de precipitação são utilizadas para a assimilação de modelos hidrológicos globais e regionais. No campo da avaliação das mudanças climáticas, além da importância intrínseca de detectar mudanças na disponibilidade de água no futuro, as estimativas de precipitação sobre a terra e os oceanos são fundamentais para fechar o ciclo global da água (TAPIADOR et al., 2012).

Tradicionalmente, as observações de precipitação são feitas através de pluviômetros disponíveis que em geral têm servido como a principal fonte de dados de precipitação para várias aplicações em modelos hidrológicos por medirem diretamente a precipitação. No entanto, redes de medição no solo tendem a ser distribuídos de forma desigual ou são escassos, o que dificulta a capacidade de capturar a variabilidade espacial e temporal dos sistemas de precipitação, especialmente em áreas afastadas e áreas rurais, onde estas redes de medição são, em alguns casos, inexistentes (NING et al., 2016). Além disso, tais sistemas de observações têm sofrido com a ausência de observações históricas de precipitação, os quais tem dificultado a utilização contínua e generalizada da modelagem hidrológica, principalmente em países em desenvolvimento (ANAGNOSTOU et al., 2010).

Neste contexto, o produto de precipitação derivado de satélite surgiu como uma abordagem promissora para a obtenção de estimativas de precipitação, principalmente por possibilitar a observação com precisão a longo prazo e a dinâmica das variáveis-chave que regem os processos do ciclo da água, da escala global à escala local (XU; SHEN; DU, 2016). Estudos realizados destacam suas potencialidades em múltiplos setores, como simulação hidrológica, gerenciamento de recursos hídricos, entre outros (BITEW; GEBREMICHAEL, 2011; GUO et al., 2016; KIM et al., 2016; LIU, 2015; YONG et al., 2010, 2015). Em regiões onde os pluviômetros são insuficientes e outras abordagens tradicionais como radar terrestre não funcionam bem, o produto de precipitação por satélite é ainda mais útil (LI et al., 2013).

A qualidade dos produtos de precipitação por satélite vem melhorando significativamente nas últimas décadas, principalmente com o surgimento das missões: Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) e da Global Precipitation Measurement (GPM) que vem como um sucessor da missão TRMM, a fim de fornecer melhores estimativas globais de alta qualidade e resolução de precipitação (HASENAUER et al., 2014), que são amplamente utilizadas para vários fins, como por exemplo, o

monitoramento e previsão do tempo em tempo real, modelagem hidrológica, estudos climáticos, entre outros (OLIVEIRA et al., 2016).

O GPM iniciado pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) juntamente com a JAXA (Japanese Aerospace Exploration Agency) foi lançado em fevereiro de 2014, compreende num consórcio de agências espaciais internacionais, incluindo o Centro Nacional de Estudos da Índia (ISRO), a Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA), a Organização Europeia para Exploração de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT) entre outras (HUFFMAN, BOLVIN e NELKIN 2015, SHARIFI, STEINACKER e SAGHAFIAN 2016).

Através de estimativas melhoradas da precipitação a nível mundial, a missão GPM tem como objetivo, avançar nas medidas de precipitação a partir do espaço, melhorar o conhecimento dos sistemas de precipitação, na variabilidade do ciclo da água e disponibilidade de água doce, aprimorar a modelagem climática e hidrológica e as capacidades de prevenção e contribuir com melhorias na previsão do tempo e na reanálise em quatro dimensões (4D) (HOU et al. 2014).

Esta demanda por satélites que fazem estimativa da precipitação quantitativa observando as propriedades físicas e visíveis das nuvens com várias resoluções espaciais e temporais vem aumentando (HUFFMAN et al., 2007). De modo geral, para que se possa estimar os dados de precipitação de determinada região por sensoriamento remoto, os dados de diferentes sensores são combinados através de algoritmos (COLLISCHONN, 2015).

O Integrated Multi-Satellite Retrievals para GPM (IMERG) é um algoritmo unificado que fornece estimativas de precipitação que combinam dados de todos os instrumentos passivos de microondas na constelação GPM. Ele destina-se a intercalar, mesclar e interpolar todas as estimativas precipitação de microondas por satélite, juntamente com estimativas das observações IR calibradas, e outros dados de sensores potenciais com uma resolução espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ e temporal de 30 minutos para as eras TRMM e GPM em todo o mundo (HUFFMAN et al., 2014).

Um estudo feito por Tang et al. (2016) revelou que o produto IMERG tem um melhor desempenho que os produtos TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA) 3B42V7 e 3B42RT em uma resolução diária e sub-diária. Sharifi, Steinacker e Saghafian (2016) compararam o IMERG diário com o TRMM diário para quatro regiões

do Irã e mostram que o IMERG geralmente possui melhor desempenho na estimativa de chuva. (TANG et al., 2016).

Todo esse avanço científico, contribui na compreensão do ciclo da água e energia da Terra, melhorando a previsão de eventos extremos que causam riscos naturais, além de tornar as informações mais precisas e oportunas de precipitação beneficiando diretamente a sociedade (FERRARO et al., 2013; HUFFMAN et al., 2018; MATSUI et al., 2015).

Para testar a eficácia das estimativas de chuvas em relação a padrões temporais e espaciais que são geradas por Sensoriamento Remoto, estes dados vêm sendo comparados de diferentes maneiras com os dados observado em pluviômetros. Essa comparação é realizada com a chuva média sobre uma região do espaço, como por exemplo, uma bacia hidrográfica, um município ou qualquer região de interesse (COLLISCHONN, 2015; OLIVEIRA et al., 2014; SANTANA; SOARES, 2016).

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar as estimativas de precipitação a nível diário, mensal e anual fornecidas pelo algoritmo IMERG Versão 05 do GPM, com os dados observados pelas estações pluviométricas da Agencia Nacional das Águas (ANA) para as bacias hidrográficas do Rio dos Bois e Rio Meia Ponte que fazem parte da Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos estado de Goiás a fim de verificar se as estimativas fornecem boa resposta tanto em termos médios sobre a bacia quanto em termos de campos de precipitação.

2. Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

Fazem parte da área de estudo dessa pesquisa a bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte, localizada no centro-sul do Estado de Goiás e a Bacia do Rio dos Bois que é localizada na posição meridional do Estado (Figura 1). Esta região foi escolhida em virtude da disponibilidade de dados dos últimos anos, onde os dados GPM são disponíveis.

A bacia hidrográfica do Rio Meia ponte possui uma área de 14.819,232 Km², ocupando um espaço correspondente a 3,6% de todo o território Goiano é uma região acentuadamente populosa com aproximadamente 3,131 milhões de habitantes concentrados nos municípios de Goiânia, Aparecida de Goiânia, Anápolis, Senador

Canedo e Itumbiara (IBGE,2016). Apresenta um clima do tipo tropical úmido, onde possui uma estação seca dos meses de abril a setembro e outra chuvosa de outubro a março. A temperatura varia de 17° a 31° e a precipitação média anual vai de 1,400 a 1,600 mm (PERH,2015).

Com 35.435 Km² a bacia hidrográfica do Rio dos Bois ocupa uma área correspondente a 9% do Estado de Goiás. Estão inseridos parcial ou totalmente cerca de 43 municípios e aproximadamente 651,391 habitantes. Santos, Bayer e Carvalho, 2008 descreveram o clima da região com duas estações bem definidas, a seca de maio a setembro e a chuvosa de outubro a abril. A temperatura varia entre 18° e 30° e sua pluviosidade média anual vai de 1,400 mm a 1,800mm.

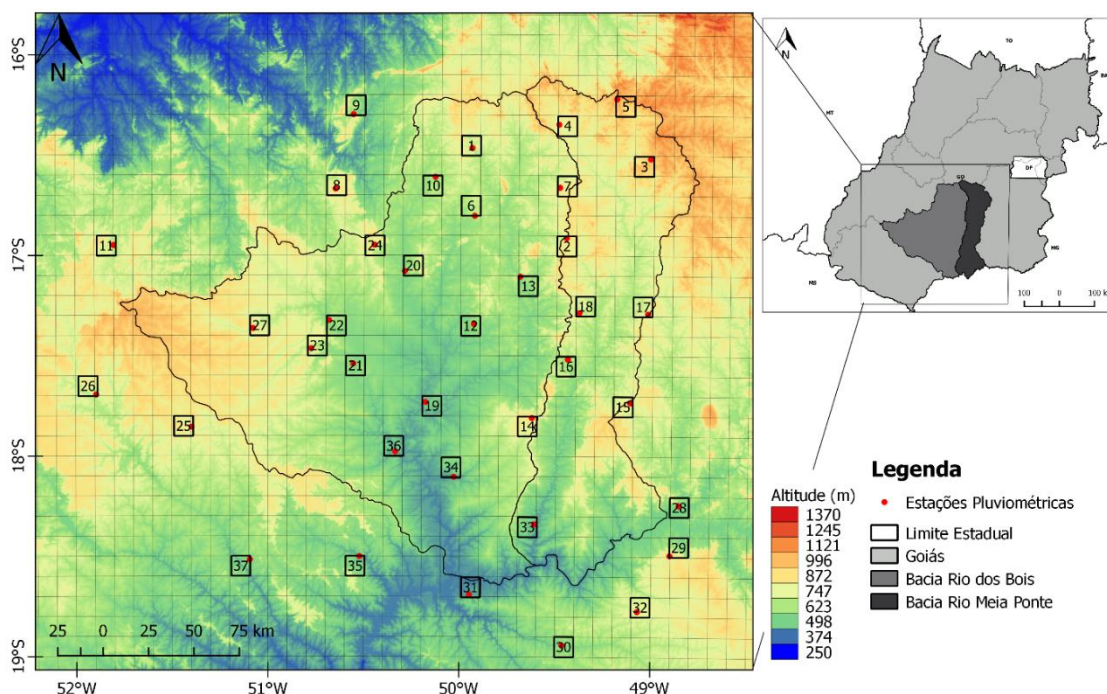


Figura 1. Mapa de localização das Bacias Meia Ponte e Rio dos Bois, pluviômetros, elevação e estratégias de amostragem usadas neste estudo. Quadrados pretos representam as 37 estações selecionadas correspondentes para comparação da precipitação com os Pixels do GPM de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$.

2.2 Dados das Estações Pluviométricas

O volume pluviométrico é medido por pluviômetros, um instrumento simples e de fácil operação. Ele quantifica o total precipitado por unidade de área em um determinado tempo. A chuva que cai no pluviômetro vai para uma proveta marcada com linhas que definem diretamente uma altura em milímetros, e o nível da água corresponde ao volume da chuva em determinada área.

Os pluviômetros representam a grande maioria da instrumentação disponível para a construção de conjuntos de dados de precipitação de referência (COLLISCHONN, 2015). No entanto, sua quantificação é mais complexa devido a variabilidade espaço-temporal, e sua qualidade pode ser comprometida dependendo da densidade espacial dos postos, que muitas vezes tendem a ser insuficientes, além de falhas nos registros dos dados, que comprometem as aplicações de técnicas de modelagem hidrológica ou climática.

Os dados das estações pluviométricas selecionadas para essa pesquisa foram obtidos no banco de dados Hidroweb da Agência Nacional das Águas (ANA). Foram selecionadas inicialmente 37 estações (tabela 1) que continham uma série histórica de dados de 1988 a 2017 e que estavam dentro ou próximas da área de estudo (Figura 1), depois foi feita a análise de consistência dos dados e o preenchimento das falhas. As estações que apresentaram uma precipitação média anual muito abaixo do esperado (menor que 1000 mm) para a região foram retiradas das análises. Por fim, restaram 33 estações, das quais foram avaliados os dados de setembro de 2016 a agosto de 2017, considerado como o ano hidrológico de 2017.

A série histórica de 30 anos foi utilizada para o tratamento dos dados, possibilitando uma melhor correlação dos elementos na etapa de preenchimento das falhas. Quanto as estações que não estão dentro das duas bacias, estas contribuíram para o cálculo da chuva média, quando feita a espacialização dos dados.

Tabela 1: Relação das estações pluviométricas selecionadas para cálculo da chuva média nas bacias e comparação com os dados estimados pelo satélite GPM.

	Código	Estação	Longitude	Latitude	Altitude (m)
1	1649000	Anicuns	-49.9428	-16.4653	657
2	1649001	Aragoiânia	-49.4522	-16.9119	878
3	1649004	Goianápolis	-49.0203	-16.5164	1007
4	1649006	Inhumas	-49.495	-16.3467	746
5	1649009	Ouro Verde de Goiás	-49.1978	-16.2186	1077
6	1649010	Palmeiras de Goiás	-49.9286	-16.8031	605
7	1649012	Trindade	-49.4878	-16.6611	781
8	1650000	Cachoeira de Goiás	-50.6492	-16.6694	763
9	1650001	Córrego do Ouro	-50.5567	-16.2983	565
10	1650003	Turvânia	-50.1328	-16.6094	637
11	1651000	Caiapônia	-51.7994	-16.9497	700
12	1749000	Edéia (Alegrete)	-49.9303	-17.3414	590
13	1749001	Fazenda Boa Vista	-49.6908	-17.1056	550
14	1749002	Joviânia	-49.6264	-17.8094	845
15	1749003	Morrinhos	-49.1153	-17.7328	808
16	1749004	Pontalina	-49.4417	-17.5169	650
17	1749005	Piracanjuba	-49.0272	-17.2894	779

18	1749009	Cromínia	-49.3828	-17.2847	694
19	1750000	Barra do Monjolo	-50.1808	-17.7322	458
20	1750001	Fazenda Nova do Turvo	-50.2894	-17.0792	529
21	1750003	Ponte Rio Verdão	-50.5561	-17.5414	526
22	1750004	Ponte Rodagem	-50.6819	-17.3253	551
23	1750008	Fazenda Paraíso	-50.7742	-17.4658	643
24	1750013	Paraúna	-50.4469	-16.9489	684
25	1751001	Ponte Rio Doce	-51.3967	-17.8564	751
26	1751002	Benjamin Barros	-51.8922	-17.695	726
27	1751004	Montividiu	-51.0767	-17.3647	734
28	1848007	Corumbazul	-48.8586	-18.2425	559
29	1848008	Brilhante	-48.9028	-18.4922	795
30	1849000	Ituiutaba	-49.4631	-18.9411	498
31	1849002	Ipiaçu	-49.9486	-18.6919	444
32	1849006	Avantiguara	-49.0697	-18.7719	794
33	1849016	Ponte Meia Ponte	-49.6114	-18.3394	483
34	1850001	Fazenda Aliança	-50.0314	-18.1047	451
35	1850002	Quirinópolis	-50.5219	-18.5011	443
36	1850003	Maurilândia	-50.3372	-17.9797	479
37	1851001	Campo Alegre	-51.0936	-18.5178	569

2.3 Dados do Satélite - GPM

O Integrated Multi-satellite Retrievals para GPM (IMERG) é o algoritmo unificado dos Estados Unidos (EUA) que fornece o produto de precipitação multisatélite para a equipe do GPM. Ele está na sua versão 05 de nível 03, onde produz um conjunto de dados a cada meia hora com uma resolução de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$. O algoritmo é projetado para favorecer o conjunto internacional de satélites relevantes à precipitação a fim de criar um longo registro de estimativas de precipitação de tempo / espaço uniformemente quadriculadas para o globo, conforme exemplificado na figura 2 (HUFFMAN et al., 2018).

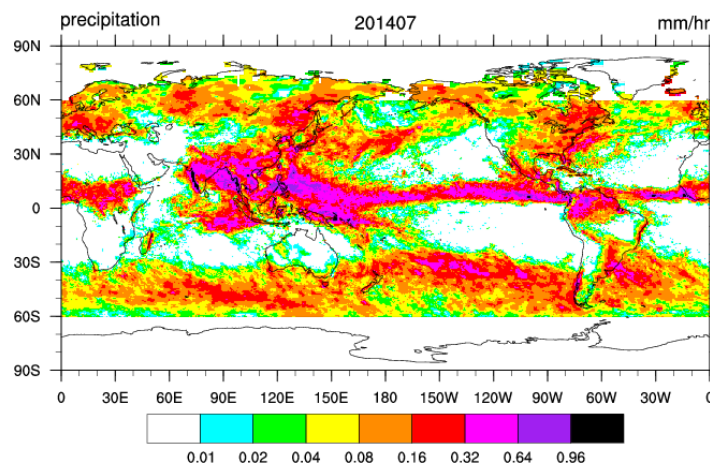


Figura 2. Figura 2: Amostra da Versão IMERG do GPM.

Fonte: National Center for Atmospheric Research Staff (Eds).

Para a análise, foi necessário importar os dados de precipitação do IMERG GPM do formato HDF5 fornecidos pela NASA para o software ArcGIS, onde foi extraído o produto “precipitationCal”, o qual fornece a estimativa calibrada da precipitação. O período selecionado foi o ano hidrológico de 2017 com dados de resolução temporal de 30 minutos e espacial que vai de -52° a 19°S a -19° a 16° a oeste, abrangendo as bacias do Rio dos Bois e Meia Ponte. Os dados foram extraídos para uma tabela e convertidos de mm/h para mm/dia, mm/mês e mm/ano e então comparados com os dados obtidos por pluviômetros.

2.4 Interpolação dos Dados

Os dados de precipitação derivados dos pluviômetros foram interpolados para grades uniformes, com resolução correspondente as do satélite GPM, de 0,1° (aproximadamente 11 km). A interpolação foi feita por meio de método Geoestatístico utilizando a técnica de Krigagem Ordinária, a qual utiliza a variável contínua para gerar um plano com um elemento aleatório espacialmente correlacionado (BORGA; VIZZACCARO, 1997). A variância espacial da precipitação interpolada é usada na função que é definida usando um modelo de semivariograma, o qual indica a correlação espacial entre diferentes observações em diferentes distâncias, conseguindo reproduzir melhor o desempenho anisotrópico da distribuição espacial da chuva. O método é considerado superior e um dos mais eficazes para os dados de precipitação, comparado a outras técnicas de interpolação numérica (PLOUFFE; ROBERTSON; CHANDRAPALA, 2015).

A partir das séries de chuva dos pluviômetros foram extraídas médias diárias de precipitação sobre as duas bacias além das séries de precipitação calculada para cada célula a partir da grade interpolada 0,1° x 0,1°. Deste modo, foi capaz calcular estatísticas comparativas em cada grade, o que possibilita a identificação de regiões nas bacias com maior ou menor correspondência entre as precipitações medidas pelos pluviômetros e estimadas pelo satélite. As comparações foram feitas para as séries de chuva média de pluviômetros e do satélite GPM no período entre 01/09/2016 a 31/08/2017.

2.4 Comparação dos Dados

Para avaliar quantitativamente o desempenho do produto de precipitação por satélite e as observações dos dados pluviométricos, foram selecionadas algumas métricas

estatísticas que são comumente usadas (BIONDI et al., 2012) e estão relacionados na tabela 2:

Tabela 2: Lista dos Índices Estatísticos de validação usados para Comparar os Produtos de Precipitação com nas observações dos Pluviômetros e das estimativas do satélite GPM.

Índices Estatístico	Descrição	Equação	Valor Perfeito
Coefficiente de Correlação (CC)	Avalia o grau de concordância entre as medidas de precipitação baseadas em satélite e as observadas em terra	$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(E_i - \bar{E})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}}$	1
Erro Absoluto Médio – (EAM) mm	Representa a amplitude média do erro	$EAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i - O_i $	0
Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) mm	Mede a magnitude do erro médio	$REQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}$	0
Viés Relativo (Viés) %	Expressa os erros sistemático ou tendencioso	$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \times 100$	0

Notação: n é o número amostras, O os valores observados nos pluviômetros e E os valores estimados pelo IMERG GPM.

3. Resultados e discussão

3.1 Comparação Diária

A partir dos dados de precipitação estimados por satélite e da grade interpolada dos pluviômetros, foi calculada a precipitação média diária sobre a bacia Meia Ponte (figura 3) e a bacia do Rio dos Bois (figura 4), no período de 01/09/2016 a 31/08/2017. Para as duas bacias as figuras mostram que, em termos médios, o GPM faz uma estimativa satisfatória, além de determinar corretamente a ausência de chuva, representando de forma correta a variação entre as estações secas e chuvosas características das duas regiões.

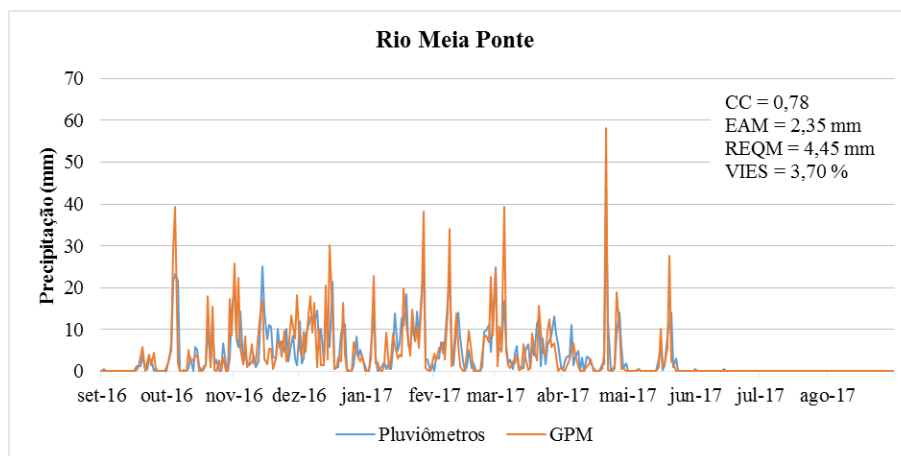


Figura 3. Comparação entre a precipitação média diária a partir dos pluviômetros e do GPM sobre a bacia do Rio Meia Ponte, período de 1/09/2016 a 31/08/2017.

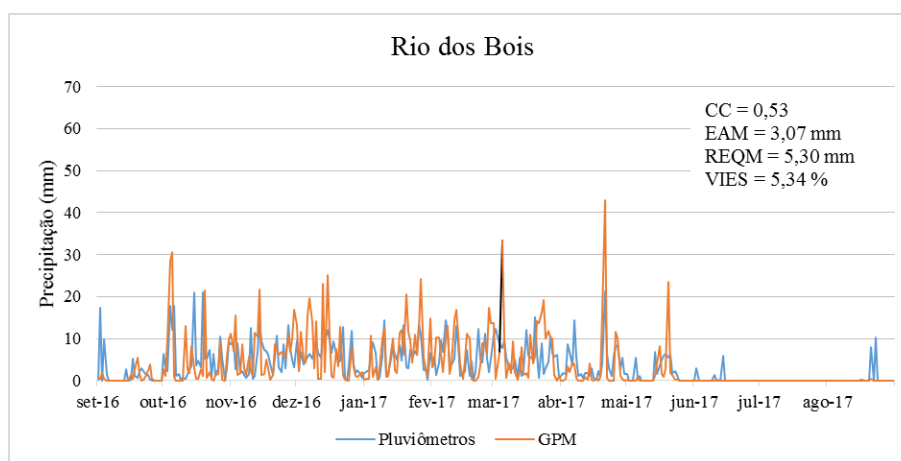


Figura 4. Comparação entre a precipitação média diária a partir dos pluviômetros e do GPM sobre a bacia do Rio dos Bois, período de 1/09/2016 a 31/08/2017.

A Analisando individualmente cada uma das bacias observa-se uma correlação forte de 0,78 entre os dados pluviométricos e os estimados por satélite para a bacia do Rio Meia Ponte, enquanto que para a bacia dos Rios dos Bois apresenta uma correlação média de 0,53. OS REQM e o EAM também apresentam melhores resultados com menores erros para a primeira bacia.

Os dois diagramas da figura 5 representam a dispersão dos dados estimados pelo GPM e os observados pelos pluviômetros para as duas bacias. O valor de R^2 de 0,61 para a bacia do Meia Ponte significa que os dados têm uma boa relação entre si enquanto para a bacia do Rio dos Bois essa representação é baixa.

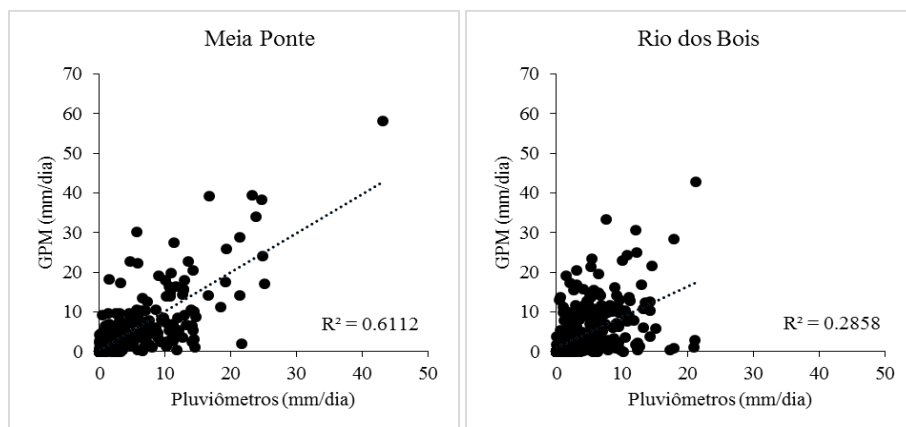


Figura 5. Comparação das estimativas de precipitação entre IMERG GPM e Pluviômetros para as bacias do Meia Ponte e Rio dos Bois para o período de 01/09/2016 a 31/08/2017.

De modo geral, pode-se considerar que a comparação entre os valores estimados e os observados apresentam um resultado satisfatório para as duas bacias e que as estimativas do satélite GPM superestimaram as observações dos pluviômetros em cerca de 3,70% e 5,34% para a primeira e segunda bacia, respectivamente. Collischonn e Allasia, 2007 fizeram um estudo do desempenho do satélite TRMM (anterior ao GPM), em relação as precipitações observadas por pluviômetros para a bacia do Paraguai e perceberam que o TRMM além de acompanhar a variação sazonal também apresentava uma tendência de superestimar a precipitação em 8%, considerando os resultados como satisfatórios. Collins, 2015 em seu estudo diz que quando comparado medições de satélite e radar com dados observados em estações no solo, são encontrados fortes vieses relacionados aos regimes de precipitação.

Também foram feitas comparações da precipitação diária para cada estação pluviométrica interpolada relacionada com o pixel do GPM. Foram calculados os índices estatísticos para cada estação, como o CC, EAM, REQM e o Viés percentual (tabelas 2 e 3). Os resultados apresentam em relação ao EAM e o REQM um comportamento semelhante para cada estação e maior em relação aos dados médios para cada bacia. Já os Vieses calculados mostram uma variação maior entre uma estação e outra e na maioria delas apresentam uma tendência de superestimação dos dados de satélites comparados aos dados pluviométricos.

Tabela 2: Índices estatísticos dos eventos diários de precipitação Bacia do Rio Meia Ponte (01 de setembro de 2016 a 31 de agosto de 2017)

	CC	EAM (mm)	REQM (mm)	Viés (%)
Cromínia	0,59	3,31	7,29	3,10
Goianópolis	0,63	3,40	6,78	4,57
Inhumas	0,53	3,47	7,21	6,01
Meia Ponte	0,57	3,37	7,79	-1,03

Tabela 3: Índices estatísticos dos eventos diários de precipitação Bacia do Rio Dos Bois (01 de setembro de 2016 a 31 de agosto de 2017)

	CC	EAM (mm)	REQM (mm)	Viés (%)
Barra do Monjolo	0,61	3,15	6,99	22,05
Edeia (alegrete)	0,40	4,04	9,82	1,32
Fazenda Aliança	0,49	3,45	7,55	2,28
Fazenda Boa Vista	0,65	3,22	6,42	-0,24
Fazenda Nova do Turvo	0,44	3,61	8,86	7,95
Fazenda Paraíso	0,39	3,81	8,54	3,37
Joviânia	0,70	3,04	6,36	11,24
Muarilândia	0,46	3,44	7,84	9,68
Montividiu	0,50	3,34	7,37	25,18
Palmeiras de Goiás	0,58	3,37	6,71	14,25
Paraúna	0,41	4,08	10,56	1,32
Ponte Rodagem	0,41	3,87	8,92	11,31

Para Os resultados também apresentam um coeficiente de correlação para cada estação que vai de moderado (0,39) a forte (0,70). No entanto, a maioria das estações apresentam uma correlação moderada, que fica entre 0,40 e 0,70 e em suma, com uma correlação mais fraca comparada aos dados médios para cada bacia.

Os melhores resultados, tanto na comparação dos dados médios quanto para cada estação – pixel foram obtidos para a Bacia do Rio Meia Ponte, o que pode ser justificado pela espacialização e disponibilidade de dados em relação a área de estudo.

3.2 Comparação Mensal

As comparações dos dados mensais também foram feitas para cada estação pluviométrica com a grade correspondente e com a média para cada bacia. Em ambos, os índices estatísticos foram calculados e os resultados são melhores e mais satisfatórios em relação aos obtidos na comparação de dados diário, um resultado que já era esperado, considerando a alta variabilidade espacial e temporal da chuva em escalas menores.

A Figura 6, apresenta as séries mensais para os resultados na comparação para cada estação da bacia do Meia Ponte e a figura 7, apresenta os resultados obtidos para as estações presentes na bacia do Rio dos Bois. É possível observar que em todas as estações o coeficiente de correlação calculado foi acima de 0,9, representando uma ótima concordância entre as medidas de precipitação baseadas em satélite e as observadas em terra. As estimativas por satélite em grande parte superestimaram as estimativas de precipitação em relação aos pluviômetros, em até 25,18% na estação de Montividiu, e subestimou um pouco na estação Meia Ponte e na estação da Fazenda Boa Vista. Nas figuras estão apresentados todos os índices estatísticos calculados para cada estação.

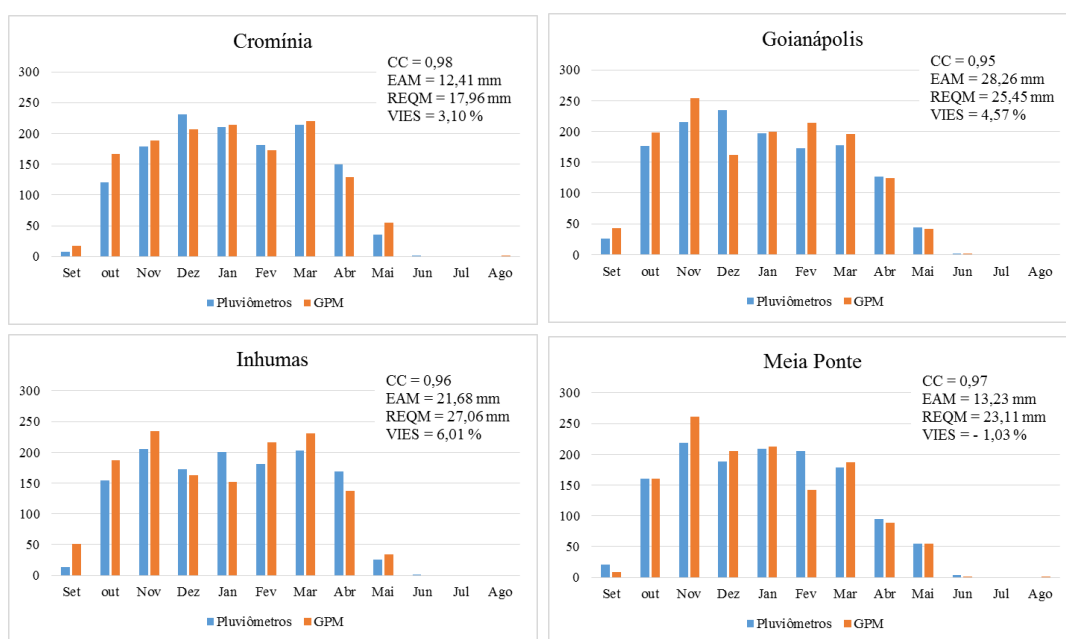


Figura 6. Séries mensais das estimativas de precipitação em mm por satélite e interpoladas para cada estação pluviométrica referente localizadas na Bacia Meia Ponte no período de Set-16 a Ago-17.

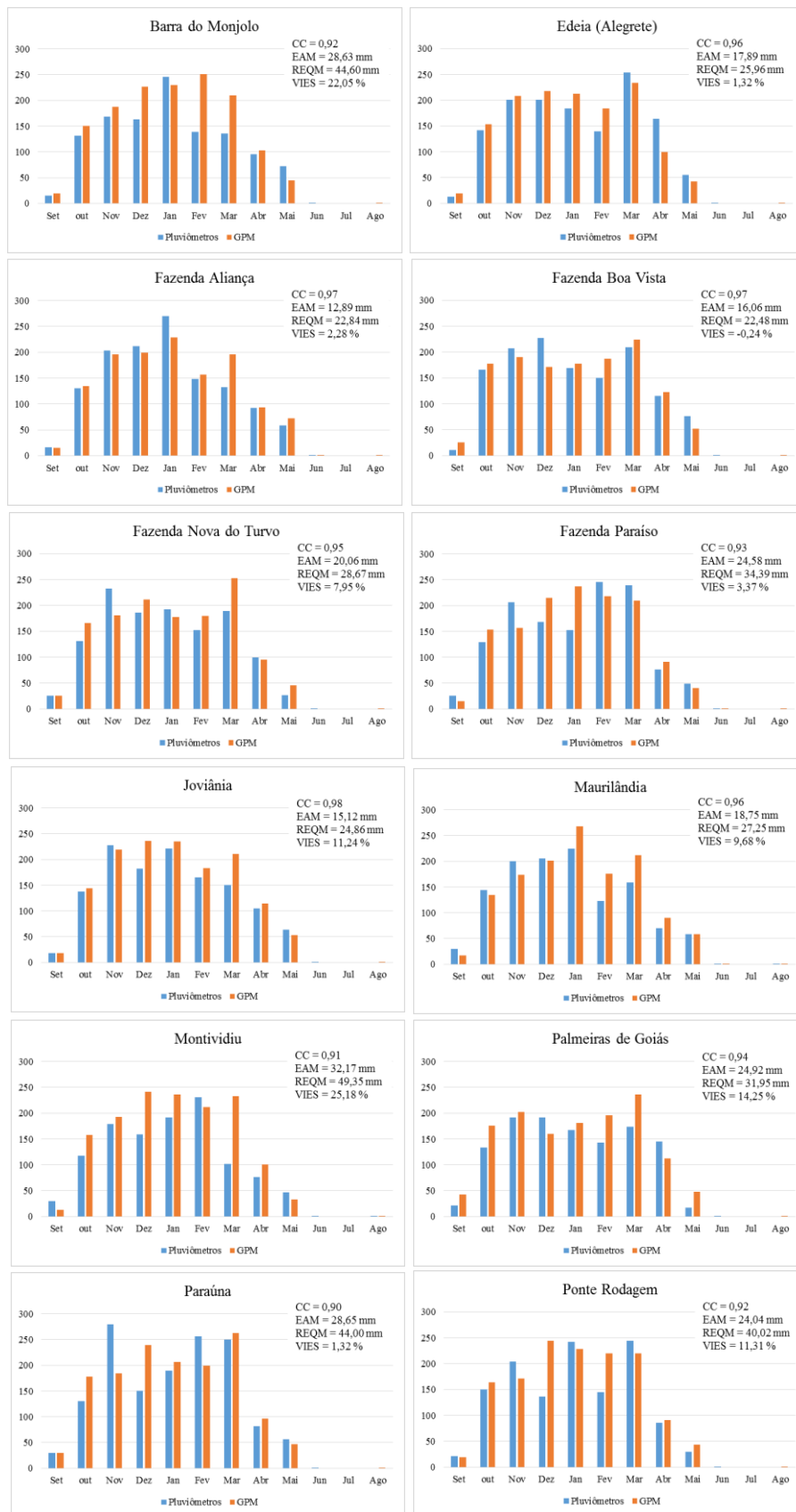


Figura 7. Séries mensais das estimativas de precipitação em mm por satélite e interpoladas para cada estação pluviométrica referente localizadas na Bacia do Rio dos Bois no período de Set-16 a Ago-17.

Na comparação das precipitações médias nas duas bacias, os resultados obtiveram um coeficiente de correlação que avalia o grau de concordância entre as medidas de precipitação baseadas em satélite e as observadas em terra de 0,99 e o valor R^2 o qual determina o quanto um modelo representa o outro de 0,98 para a bacia do Meia Ponte e de 0,99 para a bacia do Rio dos Bois, como pode ser observado nos diagramas de dispersão apresentados na figura 8.

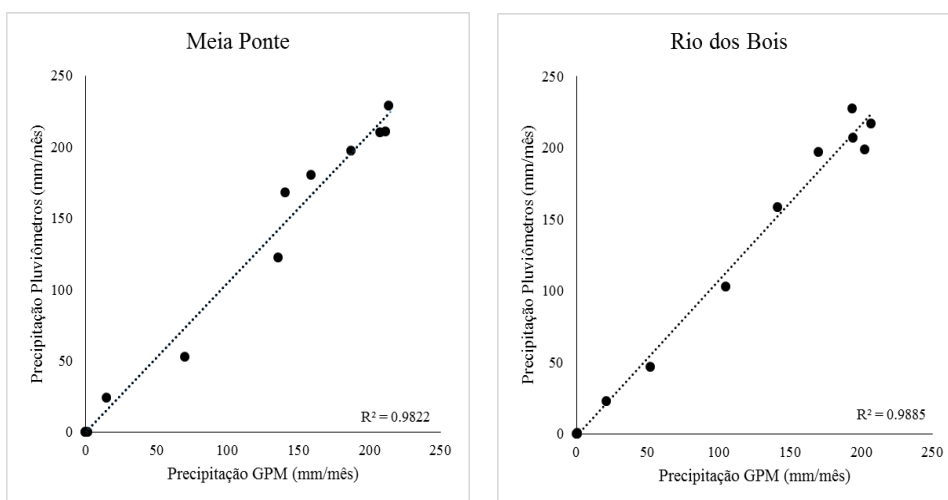


Figura 8. Diagrama dos dados de precipitação observada e estimada por meio do produto GPM, para o período de setembro de 2016 a agosto de 2017

Em relação aos outros índices estatísticos, a bacia do Meia Ponte apresentou um EAM de 10,9 mm e o REQM de 13,51 mm e uma tendência pouco superior das estimativas de satélite de 4,31% em relação aos dados observados, enquanto a bacia do Rio dos Bois teve um EAM menor de 9,55 mm e um REQM maior de 14,64 mm e uma tendência de superestimação da estimativa por satélite de 7,46% calculado pelo viés percentual.

Gadelha et al., 2017 fez a comparação dos dados estimados pelo GPM com os dados de pluviômetros para o litoral da Paraíba e também encontrou correlações muito fortes, da ordem de 95%. (GADELHA et al., [s.d.]). Em um estudo feito sobre o continente chinês também foram comparados dados do GPM com uma rede de 840 pluviômetros em escalas diárias e mensais, e os resultados foram capazes de capturar o padrão espacial geral da precipitação para a região. Além disso, foi detectado uma maior sensibilidade do GPM em condições de ausência de chuva e melhor eficiência em capturar o comportamento de eventos extremos (NING et al., 2016).

3.3 Comparação Anual

A distribuição espacial da precipitação média anual para o ano hidrológico de 2017, nas duas bacias em estudo, estão representadas na figura 9. É possível observar superestimação da precipitação estimada pelo satélite, uma vez que a precipitação máxima interpolada foi aproximadamente 1400mm enquanto a estimada por satélite foi próxima de 1600mm.

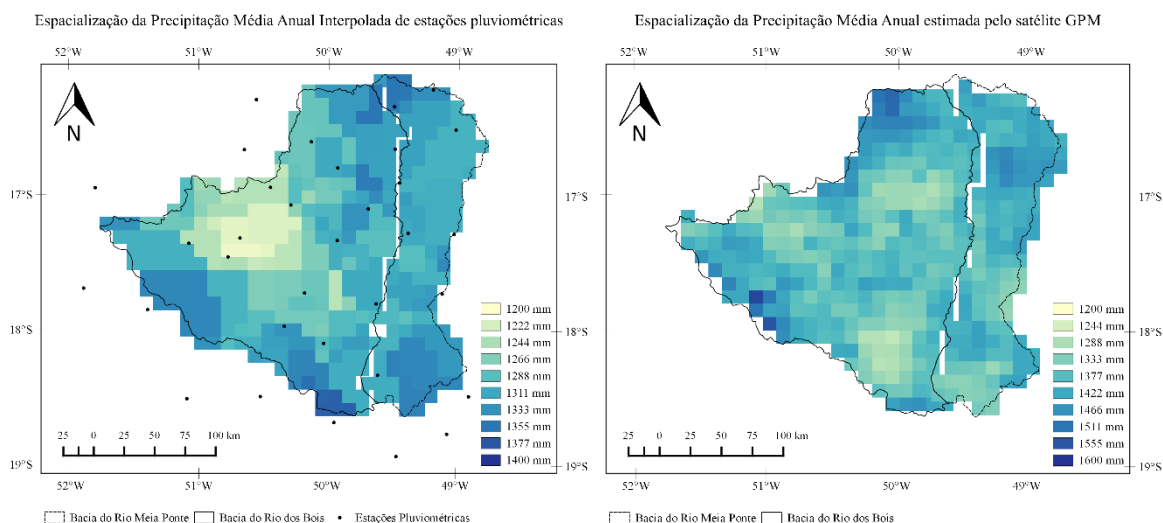


Figura 9. Espacialização da precipitação média anual de 2017 para as Bacias do Rio dos Bois e do Meia Ponte interpolada com dados pluviométricos e estimada pelo satélite GPM.

Estudos apresentaram que o GPM tem uma boa capacidade de descrever padrões espaciais de precipitação e que a intensidade da chuva e a sua variabilidade espacial, em grande parte relacionada a sazonalidade, tem influência significativa na capacidade do GPM em resolver padrões locais de precipitação (MAHMUD et al., 2017).

4. Conclusão

Tendo O GPM vem fornecendo uma nova geração de produtos de precipitação global, os quais podem ser aproveitados em várias áreas de estudos da hidrologia, climatologia e superfície terrestre. Neste artigo, a versão 05 do produto IMERG de precipitação por satélite da era GPM foi avaliado comparando-o com os dados diários das estações de precipitação durante um período de dose meses de setembro de 2016 a agosto de 2017.

Este estudo avaliou o campo de precipitações e a precipitação média obtida das estimativas de precipitação do satélite GPM com o campo de precipitações e a

precipitação média obtida a partir da rede pluviométrica existente nas bacias do Rio Meia Ponte e Rio dos Bois localizadas no Centro-Oeste Brasileiro.

O método de Kriging para a interpolação dos dados de precipitação para toda a área da bacia e com grades especializadas de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ de modo que correspondesse com os a estimativa espacial dos dados de satélite apresentou resultados satisfatórios com boa correlação entre os dados observados e estimados.

Os resultados obtidos pelas estimativas de precipitação do satélite GPM são consistentes e apresentam boa correlação, conseguindo reproduzir satisfatoriamente o regime de chuva das duas bacias. Na maioria dos casos ele superestima a precipitação, obtendo melhores resultados quando comparados para toda a área da bacia e não pontualmente. Há uma dispersão maior dos dados para eventos de chuvas mais intensas.

As estimativas por satélite apresentam vantagens em relação aos dados dos pluviômetros por não apresentarem falhas e ter sua uma quantidade mais expressiva de dados devido a sua variabilidade espaço-temporal, no entanto, ainda não possuem uma série histórica consistente, o que é importante para modelagem hidrológica.

5. Referências

- ANAGNOSTOU, E. N. et al. Benchmarking High-Resolution Global Satellite Rainfall Products to Radar and Rain-Gauge Rainfall Estimates. *Geoscience And Remote Sensing*, v. 48, n. 4, p. 1667–1683. 2010.
- BIONDI, D. et al. Validation of hydrological models : Conceptual basis , methodological approaches and a proposal for a code of practice. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 42–44, p. 70–76. 2012.
- BITEW, M. M.; GEBREMICHAEL, M. Evaluation of satellite rainfall products through hydrologic simulation in a fully distributed hydrologic model. *Water Resources Research*, v. 47, p. 1–11, June. 2011.
- BORGA, M.; VIZZACCARO, A. On the interpolation of hydrologic variables: Formal equivalence of multiquadratic surface fitting and kriging. *Journal of Hydrology*, v. 195, n. 1–4, p. 160–171. 1997.
- COLLINS, F. Performance of the GPM Passive Microwave Retrieval in the Balkan Flood. *Journal Of Hydrometeorology*, v16 .p. 2501–2519. 2015.
- COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 59, n. 1, p. 93–99. 2007.
- COLLISCHONN, W. Método de combinação de dados de precipitação estimados por satélite e medidos em pluviômetros para a modelagem hidrológica Merging rainfall gauges and satellite rainfall data for hydrology modeling, (Nota técnica).

2015.

- FERRARO, R. R. et al. An Evaluation of Microwave Land Surface Emissivities Over the Continental United States to Benefit GPM-Era Precipitation Algorithms. *Geoscience And Remote Sensing*, v. 51, n. 1, p. 378–398. 2013.
- GADELHA, A. N. et al. Comparação da precipitação estimada pelo GPM com dados de pluviômetros no litoral do Estado da Paraíba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22, 2017, Florianópolis, SC, Anais... ABRH, 2017.
- GUO, H. et al. Early assessment of Integrated Multi-satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement over China. *Atmospheric Research*, v. 176–177, p. 121–133. 2016.
- 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. 1, p. 38–55. 2007.
- HUFFMAN, G. J. et al. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG). National Aeronautics and Space Administration, v. 5.2, February, 2018.
- KIM, J. P. et al. Hydrological Utility and Uncertainty of Multi-Satellite Precipitation Products in the Mountainous Region of South Korea. *Remote Sensing*, v 8. , p 1 - 19. 2016.
- LIU, Z. Comparison of versions 6 and 7 3-hourly TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA) research products. *Atmospheric Research*, v. 163, p. 91–101. 2015.
- MAHMUD, M. R. et al. How Effective is the New Generation of GPM Satellite Precipitation in Characterizing the Rainfall Variability over Malaysia. *Journal of Atmospheric Sciences*. v. 53, n. 3, p. 375–384. 2017.
- MATSUI, T. et al. Satellite view of quasi-equilibrium states in tropical convection and precipitation microphysics. *Geophysical Research Letters*, v. n. p. 1959–1968, jan . 2015.
- MCMILLAN, H. et al. Rainfall uncertainty in hydrological modelling: An evaluation of multiplicative error models. *Journal of Hydrology*, v. 400, n. 1–2, p. 83–94. 2011.
- NING, S. et al. Assessment of the Latest GPM-Era High-Resolution Satellite Precipitation Products by Comparison with Observation Gauge Data over the Chinese Mainland. *Water Resources Research*, v. 8 n. 481 p. 1-17. 2016.
- PLOUFFE, C. C. F.; ROBERTSON, C.; CHANDRAPALA, L. Comparing interpolation techniques for monthly rainfall mapping using multiple evaluation criteria and auxiliary data sources: A case study of Sri Lanka. *Environmental Modelling and Software*, v. 67, n. , p. 57–71, September. 2015.
- SHARIFI, E.; STEINACKER, R.; SAGHAFIA, B. Assessment of GPM-IMERG and Other Precipitation Products against Gauge Data under Different Topographic and Climatic Conditions in Iran : Preliminary Results. *Remote Sensing*, v.135 . n.8 p. 1-24. 2016.
- SANTOS, F. P.; BAYER, M.; CARVALHO, T. M. Compartimentação pedológica da bacia do rio dos bois, municípios de Cezarina, Varjão, Guapó e Palmeiras de Goiás

- (GO), e sua relação com a suscetibilidade e risco à erosão laminar. *Journal of Experimental Psychology: General*, v. 136, n. 1, p. 23–42. 2008.
- TANG, G. et al. Evaluation of GPM Day-1 IMERG and TMPA Version-7 legacy products over Mainland China at multiple spatiotemporal scales. *Journal of Hydrology*, v. 533, p. 152–167. 2016.
- TAPIADOR, F. J. et al. Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. *Atmospheric Research*, v. 104–105, p. 70–97. 2012.
- XU, S.; SHEN, Y.; DU, Z. Tracing the Source of the Errors in Hourly IMERG Using a Decomposition Evaluation Scheme. *Atmosphere*, v 7. n.161 p. 1–12. 2016.
- YONG, B. et al. Hydrologic evaluation of Multisatellite Precipitation Analysis standard precipitation products in basins beyond its inclined latitude band: A case study in Laohahe basin, China. *Water Resources Research*, v. 46, n. 7, p. 1–20. 2010.
- YONG, B. et al. Impact of Missing Passive Microwave Sensors on Multi-Satellite Precipitation Retrieval Algorithm. *Remote Sensing* v. 16, p. 668–683. 2015.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho contou com limitações em relação a quantidade de estações existentes, distribuição espacial a grande quantidade de falhas nas medições, por exemplo, das 50 estações selecionadas, apenas 6 puderam ser utilizadas para análise de dados diários devido a metodologia de aplicação do modelo de Regressão Linear Múltipla, que dependia de estações vizinhas, e que as mesmas não tivessem falhas nos mesmos dias do que a estação modelo.

As estimativas por satélite apresentam vantagens em relação aos dados dos pluviômetros por não apresentarem falhas e ter sua uma quantidade mais expressiva de dados devido a sua variabilidade espaço-temporal, no entanto, ainda não possuem uma série histórica consistente, o que é importante para modelagem hidrológica

A pesquisa demonstrou que os dados estimados por satélite trazem um resultado satisfatório em relação aos dados observados em terra para dados mensais e anuais, no entanto, a maioria das séries diárias de dados de precipitação dos pluviômetros são muito curtas para realizar análises confiáveis e expressivas e possuem um número significativo de registros ausentes.

É importante a continuidade das pesquisas nessa área, para que os modelos de estimativa sejam avaliados e melhorados a fim de gerar dados mais consistentes e representativos que melhor representem a quantidade, intensidade e distribuição espaço-temporal da chuva, que são cruciais no desenvolvimento de modelagem hidrológica além de contribuir no planejamento e gestão dos recursos hídricos em diversos setores da sociedade.