



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**Validação da estimativa de precipitação do
Hidroestimador para o Estado de Minas Gerais**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Isabela Helena Costa

Itajubá, MG, Brasil

2020

Validação da estimativa de precipitação do Hidroestimador para o Estado de Minas Gerais

por

Isabela Helena Costa

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas.

Orientador: Prof. Enrique Vieira Mattos

**Itajubá, MG, Brasil
2020**

Universidade Federal de Itajubá Instituto
de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

VALIDAÇÃO DA ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO DO
HIDROESTIMADOR PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS

elaborada por

Isabela Helena Costa

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas

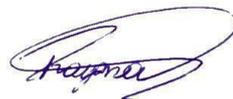
Comissão Examinadora:



Enrique Vieira Mattos, Dr. (UNIFEI)
(Presidente/Orientador)



Michelle Simões Reboita, Dr^a.
(UNIFEI)



Rayana Santos Araújo Palharini, MSc.

(INPE)

Itajubá, 17 de novembro de 2020.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer minha família: minha mãe, por sempre me apoiar nas minhas ideias malucas e ser minha fonte inesgotável de amor. Meu avô Joaquim, por ser o melhor homem do mundo e minha inspiração de vida. Minha avó Graça, por me criar tão bem e aguentar meu mau humor mais que o resto do mundo. Minha madrinha Gilma e minha tia Gilda, por sempre serem tão boas comigo; e todos que de sangue ou não sabem que meu coração bate por eles.

Aos meus amigos de infância que apesar dos anos e das brigas sempre estiveram ao meu lado, em especial ao Iago por ser meu melhor amigo em qualquer lugar do mundo.

A todos os funcionários do Colégio Objetivo de Pouso Alegre, por terem me ensinado muito mais que matemática, biologia, geografia e afins, me ensinaram a reconhecer meus privilégios e ter caráter para julgar tudo por pontos de vista diferentes do meu. Em especial, gostaria de agradecer ao professor Alexandre Cruz das Chagas, por ter grande influência na minha escolha de universidade.

A todos os professores da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), principalmente os do curso de Ciências Atmosféricas, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Enrique Vieira Mattos, por tanta paciência e carinho nos últimos meses.

As famílias que a UNIFEI me proporcionou: Hatos, Munhoz e Leo, meus irmãos de alma. Gabi Abranches, Aline Abranches, Thais Abranches, Gabriel Bonafé e Ana Clara Marcondes, por estarem ao meu lado nos momentos mais difíceis e nos mais divertidos. Cornélio, Vitória e Bernardo, por nunca terem me deixado desistir e sempre estarem dispostos a sair pra comer comigo. A República Laranjinhas, por serem meu lar. A Gestão 9 de Abril, do Diretório Central Estudantil, por serem os responsáveis pelo meu amor incondicional pela Unifei. A Black Bee Drones (ex-membros, membros e futuros membros), por sempre terem um ombro amigo e um ouvido paciente.

Por fim, a todas as pessoas não nomeadas aqui, mas que de alguma forma são parte de mim e responsáveis por eu ser a pessoa que sou hoje. Eu amo vocês.

Às três mães que a vida me deu
(a de sangue, a que foi duas vezes e a do coração)

“Depois da tempestade, as cores aparecem.”
Bono Vox, 1960

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

Validação da estimativa de precipitação do Hidroestimador para o Estado de Minas Gerais.

AUTORA: Isabela Helena Costa
ORIENTADOR: Prof. Enrique Vieira Mattos
Local e Data da Defesa: Itajubá, 17 de novembro de 2020.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a precipitação estimada pelo Hidroestimador para o Estado de Minas Gerais (MG). Como objetivos específicos foram avaliados a distribuição espacial e temporal da precipitação para o Estado de MG. Além de comparar a estimativa de precipitação do hidroestimador com as informações de cinco pluviômetros e a estimativa de precipitação proveniente em micro-ondas do produto MERGE para cinco municípios do Estado de MG para 2019. Os dois métodos em questão possuem grande diferença já que o Hidroestimador utiliza o canal do infravermelho e as saídas de modelo de previsão numérica de tempo, enquanto o modelo MERGE utiliza informações do canal de micro-ondas combinada com pluviômetros. Os dados do hidroestimador e MERGE possuem resolução temporal diária e a precipitação dos cinco pluviômetros (Itajubá, Belo Horizonte, Governador Valadares, Mocambinho e Uberlândia) foi acumulada de maneira diária somando-se a precipitação das 12 UTC do dia anterior até as 12 UTC do dia atual. A partir dos dados diários foram realizados os acumulados mensais, sazonais e anuais. Na primeira etapa de análise encontrou-se uma precipitação anual média de 2019 foi de 1321,7 mm pelo Hidroestimador e 1028,1 mm pelo MERGE, com máximos e mínimos na porção oeste e norte do Estado, respectivamente. O mês de dezembro (junho) apresentou o maior (menor) acumulado de precipitação com aproximadamente 271 mm/mês pelo Hidroestimador e 182,4 mm/mês pelo MERGE (0,2 mm/mês pelo Hidroestimador e 8,3 mm/mês pelo MERGE). A segunda etapa foi referente a comparação da precipitação estimada pelo hidroestimador com aquela do MERGE e pluviômetros. Para tanto, aplicou-se estatísticas de desempenho como RQME, BIAS, VIES, correlação de Pearson, índice de concordância de Willmott e o índice de desempenho criado por Camargo e Sentelhas. De acordo com índice de desempenho (0,01; 0,07; 0,08; 0,07; 0,21 para Itajubá, Belo Horizonte, Governador Valadares, Mocambinho e Uberlândia, respectivamente) o Hidroestimador apresentou baixo desempenho para o Estado de MG como um todo. Em contrapartida, o MERGE apresentou bom desempenho (0,90) para o leste do Estado (Governador Valadares), muito bom (0,80 e 0,77) para as regiões norte e do Triângulo Mineiro (Mocambinho e Uberlândia) e não satisfatório (0,51 e 0,37) para o centro e sul e Gerais (Belo Horizonte e Itajubá).

Palavras-chave: Hidroestimador. Modelo Merge. Minas Geras. Precipitação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Radiação no infravermelho saindo do topo de uma nuvem	10
Figura 2: Imagem de saída do Hidroestimador	12
Figura 3: Radiação no micro-ondas saindo do topo de uma nuvem	13
Figura 4: Imagem de saída MERGE	14
Figura 5: Relevo (m) do Estado de Minas Gerais e localização dos cinco pluviômetros utilizados no presente estudo.	17
Figura 6: Precipitação anual (mm/ano) para o Estado de Minas Gerais em 2019: a) Hidroestimador, b) MERGE e c) diferença de precipitação entre o Hidroestimador e o modelo MERGE.	22
Figura 7: Precipitação mensal (mm/mês) para o Estado de Minas Gerais em 2019 proveniente do Hidroestimador.	24
Figura 8: Precipitação mensal (mm/mês) para o Estado de Minas Gerais em 2019 proveniente do MERGE.....	25
Figura 9: Diferença mensal (mm/mês) de precipitação entre o Hidroestimador e o MERGE para o Estado de Minas Gerais em 2019.	26
Figura 10: Precipitação média mensal (mm/mês) proveniente do Hidroestimador (linha contínua azul) e MERGE (linha contínua vermelha) para o Estado de Minas Gerais em 2019.....	27
Figura 11: Precipitação média mensal (mm/mês) proveniente do a) Hidroestimador b) MERGE (linha tracejada preta) e para os pluviômetros de cinco cidades: Itajubá (barra azul), Belo Horizonte (barra vermelha), Mocambinho (barra roxa), Governador Valadares (barra verde) e Uberlândia (barra amarela) para o Estado de Minas Gerais em 2019.	28
Figura 12: Precipitação mensal (mm/mês) para: a) Itajubá, b) Belo Horizonte, c) Governador Valadares, d) Mocambinho e e) Uberlândia medida por pluviômetro (linha contínua preta) e estimada pelo Hidroestimador (linha contínua azul) e MERGE (linha contínua vermelha).....	29
Figura 13: Precipitação diária (mm/dia) para: a) Itajubá, b) Belo Horizonte, c) Governador Valadares, d) Mocambinho e e) Uberlândia medida por pluviômetro (linha contínua preta) e estimada pelo Hidroestimador (linha contínua azul) e MERGE (linha contínua vermelha).....	31

Figura 14: Diferença da precipitação diária (mm/dia) entre o Hidroestimador e Pluviômetro e o MERGE e pluviômetro para as cidades de: a) Itajubá b) Belo Horizonte c) Governador Valadares d) Mocambinho	32
Figura 15 Histograma de frequência de ocorrência para precipitação diária (mm/dia) medida pelos pluviômetros (barra preta), Hidroestimador (barra azul) e MERGE (barra vermelha) para as cidades de a) Itajubá, b) Belo Horizonte, c) Governador Valadares, d) Mocambinho e Uberlândia.	33
Figura 16: Relação de dispersão entre a precipitação diária (mm/dia) estimada pelo (a, c, e, g e i) Hidroestimador e pluviômetros e (b, d, f, h e j) MERGE e pluviômetros para as cidades de Itajubá, Belo Horizonte, Governador Valadares, Mocambinho e Uberlândia.	35
Figura 17: Relação de dispersão entre a precipitação diária (mm/dia) estimada pelo Hidroestimador e MERGE em função da precipitação medida pelo pluviômetro instalado na cidade de Itajubá para: a) outono, b) inverno, c) primavera e d) verão.	38
Figura 18: Relação de dispersão entre a precipitação diária (mm/dia) estimada pelo Hidroestimador e MERGE em função da precipitação medida pelo pluviômetro instalado na cidade de Belo Horizonte para: a) outono, b) inverno, c) primavera e d) verão.	40
Figura 19: Relação de dispersão entre a precipitação diária (mm/dia) estimada pelo Hidroestimador e MERGE em função da precipitação medida pelo pluviômetro instalado na cidade de Governador Valadares para: a) outono, b) inverno, c) primavera e d) verão.	42
Figura 20: Relação de dispersão entre a precipitação diária (mm/dia) estimada pelo Hidroestimador e MERGE em função da precipitação medida pelo pluviômetro instalado na cidade de Mocambinho para: a) outono, b) inverno, c) primavera e d) verão.	44
Figura 21: Relação de dispersão entre a precipitação diária (mm/dia) estimada pelo Hidroestimador e MERGE em função da precipitação medida pelo pluviômetro instalado na cidade de Uberlândia para: a) outono, b) inverno, c) primavera e d) verão.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Legenda das cidades analisadas	17
Tabela 2: Dados utilizados	19
Tabela 3: Equações estatísticas utilizadas.....	20
Tabela 4: Classificação das correlações de acordo com o coeficiente r.	20
Tabela 5: Critério de interpretação do desempenho do modelo pelo índice c.....	21
Tabela 6: Estatísticas raiz do quadrado médio do erro (RQME), correlação de Pearson (r), VIES, BIAS, índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho (c) para os dados do Hidroestimador em relação aos pluviômetros e MERGE em relação aos pluviômetros.	37
Tabela 7: Estatísticas sazonais de raiz do quadrado médio do erro (RQME), correlação de Pearson (r), VIES, BIAS, índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho (c) para a precipitação do Hidroestimador e MERGE em relação ao pluviômetro instalado na cidade de Itajubá.....	39
Tabela 8: Estatísticas sazonais de raiz do quadrado médio do erro (RQME), correlação de Pearson (r), VIES, BIAS, índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho (c) para a precipitação do Hidroestimador e MERGE em relação ao pluviômetro instalado na cidade de Belo Horizonte.....	41
Tabela 9: Estatísticas sazonais de raiz do quadrado médio do erro (RQME), correlação de Pearson (r), VIES, BIAS, índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho (c) para a precipitação do Hidroestimador e MERGE em relação ao pluviômetro instalado na cidade de Governador Valadares.	43
Tabela 10: Estatísticas sazonais de raiz do quadrado médio do erro (RQME), correlação de Pearson (r), VIES, BIAS, índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho (c) para a precipitação do Hidroestimador e MERGE em relação ao pluviômetro instalado na cidade de Mocaminho.....	45
Tabela 11: Estatísticas sazonais de raiz do quadrado médio do erro (RQME), correlação de Pearson (r), VIES, BIAS, índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho (c) para a precipitação do Hidroestimador e MERGE em relação ao pluviômetro instalado na cidade de Uberlândia.	47

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

BH	-	Belo Horizonte
CPTEC	-	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CEPreMG	-	Centro de Previsão e Estudos de Tempo e Clima de Minas Gerais
CPC	-	Climate Prediction Center
R	-	Correlação de Pearson
FROGS	-	Frequent Rainfall Observations on GridS
GOES	-	Geostationary Operational Environmental Satellite
GPCC	-	Global Precipitation Climatology Centre
GPCP	-	Global Precipitation Climatology Project
GPM	-	Global Precipitation Measurement
D	-	Índice de concordância de Willmott
C	-	Índice de desempenho
IR	-	Infravermelho
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	-	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	-	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IMERG	-	Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM
\bar{E}	-	Média dos valores estimados
\bar{O}	-	Média dos valores observados
MW	-	Micro-ondas
MG	-	Minas Gerais
NASA	-	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	-	National Oceanic and Atmospheric Administration
N	-	Número de observações
RQME	-	Raiz do quadrado médio do erro
SRPs	-	Satellite rainfall products
TRMM	-	Tropical Rainfall Measuring Mission
UNIFEI	-	Universidade Federal de Itajubá
E_i	-	Valores de precipitação estimado pelo modelo
O_i	-	Valores de precipitação observado pelo pluviômetro
VIS	-	Visível
VCAN	-	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	-	Zona de Convergência do Atlântico Sul

Sumário

1. INTRODUÇÃO	6
1.1 OBJETIVOS	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. REGIÃO DE ESTUDO	15
3.2 DADOS HIDROESTIMADOR.....	17
3.3 DADOS MERGE	18
3.4 DADOS PLUVIÔMETROS.....	18
3.5 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DE MINAS GERAIS.....	19
3.6 COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO.....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO	22
4.1.2 Análise Mensal.....	23
4.1.3 Análise Diária	30
4.2 COMPARAÇÃO QUANTITATIVA DA ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITES E PLUVIÔMETROS.....	34
5. CONCLUSÃO.....	48
6. REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

A precipitação é um dos eventos atmosféricos mais importantes que ocorrem no planeta, pois é responsável pelo ciclo hidrológico. Estudos sobre a estimativa de precipitação são fundamentais para: balanço hídrico, climatologia, dimensionamento de obras hidráulicas para controle de cheias, drenagem urbana e do solo, modelagem e controle da erosão em áreas com agricultura intensificada, manejo conservacionista do solo, mapeamento de áreas com maior potencial para ocorrência de erosão do solo e inundações (MELLO E VIOLA, 2012).

O Estado de Minas Gerais (MG) está localizado na região Sudeste do Brasil, entre as latitudes 14°13'57" e 22°55'47" e as longitudes 39°51'24" e 51°02'56" e compreende uma área de 582.586 km², segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Devido a distância do oceano há uma maior amplitude do ciclo diurno da temperatura do ar. A topografia favorece o desenvolvimento de circulações de mesoescala (brisa de vale e montanha) que influenciam a direção e a intensidade do vento e condições úmidas a barlavento das áreas montanhosas e secas a sotavento destas (REBOITA et al., 2015). De acordo com Reboita et al. (2010), o regime pluvial do Estado de MG é afetado pela ocorrência de fenômenos atmosféricos importantes, que o caracterizam com um verão chuvoso (novembro-março) e um inverno seco (maio-setembro). Tais fenômenos consistem em precipitações frontais (frentes frias), precipitações convectivas e precipitações geradas pela influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

A precipitação frontal, também conhecida como precipitação ciclônica, é a precipitação originada a partir do encontro entre duas massas de ar: uma fria e seca e outra quente e úmida. As principais características da precipitação frontal são a duração e a intensidade. Normalmente, esse tipo de precipitação é de longa duração e sua intensidade pode variar (SOUSA, 2020).

Precipitação convectiva, também conhecida como precipitação de verão, ocorre devido à diferença de temperatura na superfície próxima às camadas da atmosfera terrestre (SOUSA, 2020). Ao ocorrer algum desequilíbrio das camadas de ar por algum fenômeno natural, o ar mais quente, menos denso, eleva-se às camadas mais altas da atmosfera, enquanto o ar frio desce, por ser mais denso. Quando o ar quente sobe, carrega consigo bastante umidade e sofre resfriamento. Ao resfriar-se, inicia-se o processo de condensação, podendo haver formação de nuvens de precipitação. A precipitação convectiva é de abrangência local e

característica de regiões tropicais (SOUSA, 2020). Esse tipo de precipitação geralmente tem pouca duração, contudo apresenta maior intensidade.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), é o principal sistema meteorológico do verão no Brasil responsável por um período prolongado de precipitação frequente e volumosa sobre parte das regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste (SOUSA, 2020). A ZCAS é caracterizada por uma banda de nebulosidade no verão do Hemisfério Sul no sentido noroeste-sudeste associada a uma região de convergência em baixos níveis. Esse fenômeno impacta diretamente o regime de precipitações no final da primavera e durante o verão do hemisfério sobre grande parte do Brasil, sendo em eventos de longos períodos de precipitação para parte do país ou em períodos de seca para outras partes do território brasileiro. Em muitas áreas do Sudeste e do Centro-Oeste, o elevado volume de precipitação produzido durante a atuação da ZCAS, que em média atua por um período de 4 a 10 dias, pode representar grande parte da precipitação do trimestre mais chuvoso do ano (SOUSA, 2020).

Os fenômenos atmosféricos supracitados possuem diferentes escalas espaciais e temporais, condicionando assim a precipitação a apresentar grande variabilidade na escala de espaço-tempo. Nesse contexto, os satélites têm se mostrado uma ferramenta fundamental para monitorar esses fenômenos.

A estimativa de precipitação por satélites surgiu da necessidade de se obter dados de regiões de dimensões continentais. Porém essas informações são de difícil acesso já que a instalação de estações meteorológicas como pluviômetros se torna inviável, bem como a sua manutenção devido a localização. Na década de 1970 surgiram as primeiras técnicas operando em diferentes escalas temporais e espaciais. As primeiras estimativas de precipitação utilizavam os canais do visível e infravermelho do espectro eletromagnético. Estas metodologias se baseiam em imagens feitas por vários satélites, em diversas bandas do espectro eletromagnético, como é o caso dos satélites da série *Geostationary Operational Environmental System* (GOES) e o satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) utilizado especificamente para a estimativa de precipitação nos trópicos usando os canais do micro-ondas.

O princípio da estimativa de precipitação através de sensoriamento em bandas no visível é o fato de que o brilho da luz do sol refletida por nuvens pode ser uma indicação razoável de sua espessura e conseqüentemente do volume de água

em seu interior (COLLISCHONN et al, 2007). Da mesma forma, temperaturas de topo de nuvens baixas estão associadas a um maior desenvolvimento vertical de uma nuvem e conseqüentemente a uma taxa de precipitação maior (COLLISCHONN et al, 2007). A temperatura do topo de uma nuvem pode ser obtida a partir de estimativas em bandas do infravermelho (PETTY, 1995). Contudo, foi comprovado que nem toda nuvem brilhante e nem toda nuvem com topo frio, ou seja, que possui baixa reflectância no canal infravermelho, está obrigatoriamente produzindo precipitação. De acordo com Wilheit, essa é a principal limitação das estimativas para o visível e o infravermelho. Com o passar do tempo os satélites foram equipados com sensores de micro-ondas que detectam a presença de água e/ou cristais de gelo nas nuvens, devido a isso as imagens no micro-ondas tem melhor desempenho do que as imagens no infravermelho e visível (RAMAGE et al., 2003).

Atualmente existem diversos satélites que fornecem produtos relacionados a precipitação, entre eles estão: i) a terceira geração da série *GOES* (satélites GOES-16 e GOES-17), *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 5th generation / Polar Operational Environmental Satellites* (satélites NOAA-19 e NOAA-20) e *Global Precipitation Measurement Mission (GPM)*, sucessor do satélite TRMM. No Brasil o algoritmo hidroestimador é um produto que opera no canal infravermelho do satélite GOES-16 e está operacional no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, <https://www.cptec.inpe.br/>). Embora de grande utilidade, as estimativas de precipitação do hidroestimador produzidas com dados do satélite GOES-16 ainda não foram validadas com medições de precipitação por estações de superfície e estimativa de precipitação em micro-ondas com alta (10 km) resolução espacial para o Estado de MG.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem objetivo validar a precipitação estimada pelo algoritmo Hidroestimador para o ano de 2019. Como objetivos específicos tem-se:

- 1) Caracterizar a distribuição espacial e temporal da precipitação no Estado de Minas Gerais;
- 2) Avaliar a precipitação estimada pelo Hidroestimador em relação as medidas de precipitação provenientes de pluviômetros;

3) Avaliar a precipitação estimada pelo Hidroestimador em relação as estimativas de precipitação realizada pelo algoritmo em micro-ondas passivo MERGE.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A relação entre a ocorrência e intensidade de precipitação e a temperatura radiométrica e o brilho do topo de nuvens é a base da maioria das técnicas para a estimativa de precipitação que usam observações feitas por satélites nas bandas do visível (VIS) e do infravermelho (IR). As técnicas mais simples usam correlações, lineares ou não lineares, entre a precipitação e a temperatura do topo das nuvens e associam a cada elemento de imagem IR um valor para a taxa de precipitação. (VICENTE E FERREIRA, 1998).

No infravermelho (Figura 1) a radiação não penetra as nuvens, havendo apenas a emissão de radiação do topo das nuvens. Devido a isso, essa estimativa é chamada de indireta, pois depende de métodos empíricos para ser estimada, utilizando a temperatura da nuvem para relacionar a quantidade de precipitação produzida. Não havendo assim a diferenciação dos hidrometeoros. Por sua natureza indireta não há um método padrão universalmente aplicável, pois técnicas utilizadas nos trópicos não serão igualmente validas para as regiões extratropicais, assim como técnicas desenvolvidas para estimar precipitação mensal podem não ser úteis para estimativas diárias (MATTOS, 2019).

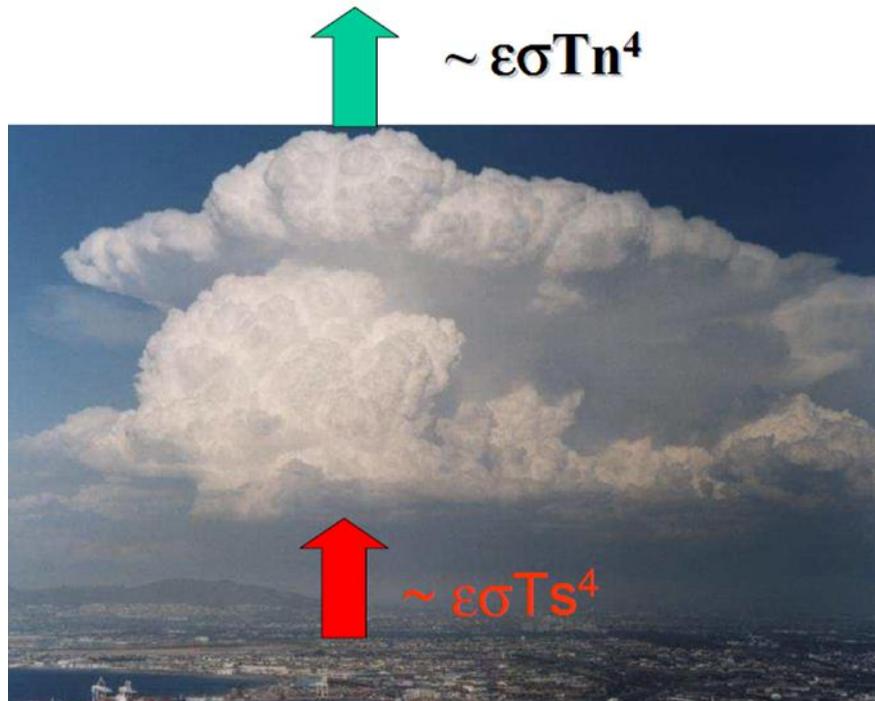


Figura 1: Representação da radiação em infravermelho (IR) sendo emitida pela superfície e pelo topo de uma nuvem. Fonte: MATTOS (2019).

Porém, existem incertezas no uso das informações dos canais VIS e IR. Pelo fato do comprimento de onda ser curto nesta faixa do espectro eletromagnético, as nuvens são opacas nestas bandas. Com isso, utilizam-se métodos empíricos e estatísticos a fim de relacionar de forma indireta a área em que está presente a nuvem com características convectivas com a quantidade de precipitação presente na mesma. Tais estimativas funcionam bem para nuvens convectivas, mas existem incertezas para nuvens não precipitáveis, na qual não funcionam bem para nuvens do tipo cirrus e nimbostratus, onde costuma ser superestimada e subestimada a precipitação, consequentemente.

Tradicionalmente as informações dos canais visível e infravermelho de satélites geoestacionários têm sido utilizadas para estimativa operacional de precipitação. A missão de satélites GOES é operada pela NOAA e controlada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Esses satélites geoestacionários encontram-se a cerca de 35.800 km da Terra, em órbita equatorial geossíncrona, com velocidade de deslocamento coincidente com a velocidade de rotação da Terra. Essas características orbitais permitem com que os satélites captem imagens de uma mesma porção da superfície terrestre e obtenham um amplo campo de visão. A rede de satélites GOES foi iniciada na década de 1970, com o lançamento de dois

satélites experimentais (SMS-1 e SMS-2) e desde 1975 colocou em órbita 15 satélites, sendo que atualmente somente 4 estão em atividades vinculadas ao programa. Os satélites levam a bordo vários instrumentos sensores, alguns específicos para serem utilizados em meteorologia (OSCAR, 2020).

As quatro técnicas principais de estimativa de precipitação através do infravermelho e visível são:

- i) Indexação de nuvens: é um método mais antigo e relaciona a taxa de precipitação específica para cada tipo de nuvem;
- ii) Bi-espectral: técnica que emprega informações provenientes do canal do IR e VIS;
- iii) Ciclo de vida: obtém uma relação entre a área da tempestade e a precipitação estimada por radar;
- iv) E por fim, o método a ser utilizado neste trabalho, o hidroestimador.

O Hidroestimador (Figura 2) é um algoritmo de estimativa de precipitação que está operacional no CPTEC/INPE. Ele utiliza um método inteiramente automático que aplica uma relação empírica exponencial entre a precipitação (estimada por radar) e a temperatura de brilho do topo das nuvens (extraídas do canal infravermelho do satélite GOES-16), gerando taxas de precipitação em tempo real. Através da tendência de temperatura da nuvem (e informações de textura) é utilizado um ajuste da área coberta pela precipitação. Variáveis como água precipitável, umidade relativa, orografia, paralaxe e um ajuste do nível de equilíbrio convectivo para eventos de topos quentes (SCOFIELD, 2001) são utilizadas para ajustar automaticamente a taxa de precipitação.

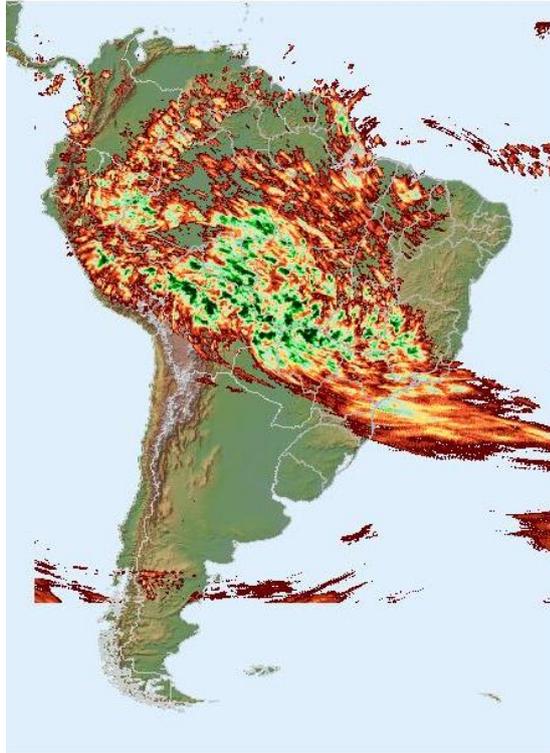


Figura 2: Imagem do hidroestimador para o dia 10 de dezembro de 2019. Fonte: CPTEC/INPE (2020).

Na região espectral do micro-ondas (MW) (Figura 3) o comprimento de onda é relativamente longo, o que faz com que a interação da radiação com nuvens seja fraca e a interação com gotas de precipitação seja forte. Isto favorece a eliminação da tendenciosidade característica dos métodos que usam imagens VIS e/ou IR (VICENTE e FERREIRA, 1998).

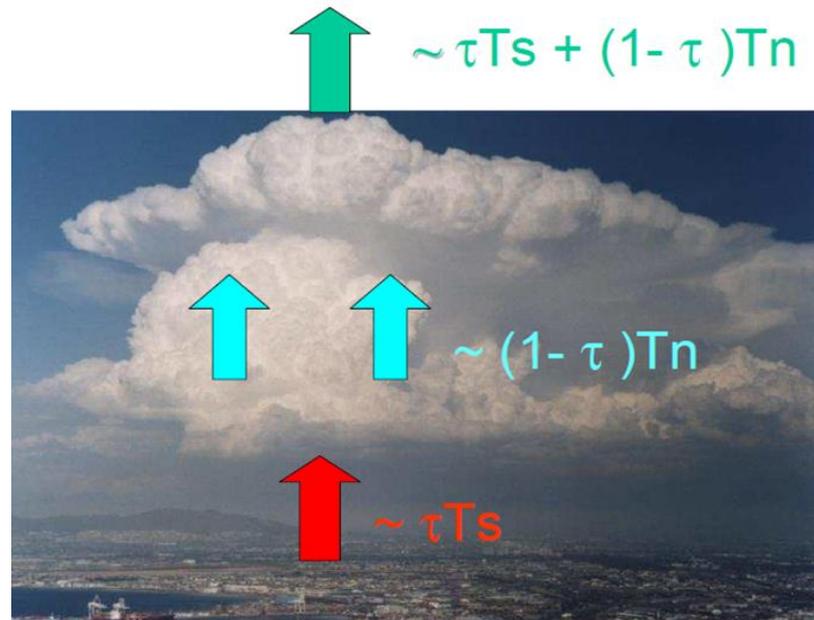


Figura 3: Representação da radiação em micro-ondas (MW) saindo da superfície, interagindo com os hidrometeoros da nuvem e saindo pelo topo de uma nuvem. Fonte: MATTOS (2019).

Uma técnica que emprega as informações de canais em micro-ondas para estimar a precipitação é o MERGE. O MERGE combina a precipitação observada por pluviômetros e a estimativa de precipitação de satélite proveniente dos dados do *Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG)*. Esses dados possuem resolução temporal de 30 minutos e resolução espacial de $0,1^\circ$. O IMERG possui uma área de abrangência que cobre 87% do globo, entre as latitudes de 60°N e 60°S e é executado em tempo real, estimando a precipitação em duas etapas, denominadas *early* e *late* respectivamente: a primeira utiliza apenas os dados que chegaram até o momento (atraso de aproximadamente 4 horas); já a segunda é processada após a chegada de mais dados e portanto é mais precisa (atraso de aproximadamente 12 horas). Portanto, o produto MERGE também estima a precipitação seguindo essas duas etapas, porém apenas a segunda é armazenada por possuir maior precisão. (ROZANTE et al., 2010). Um exemplo do produto MERGE é mostrado na Figura 4.

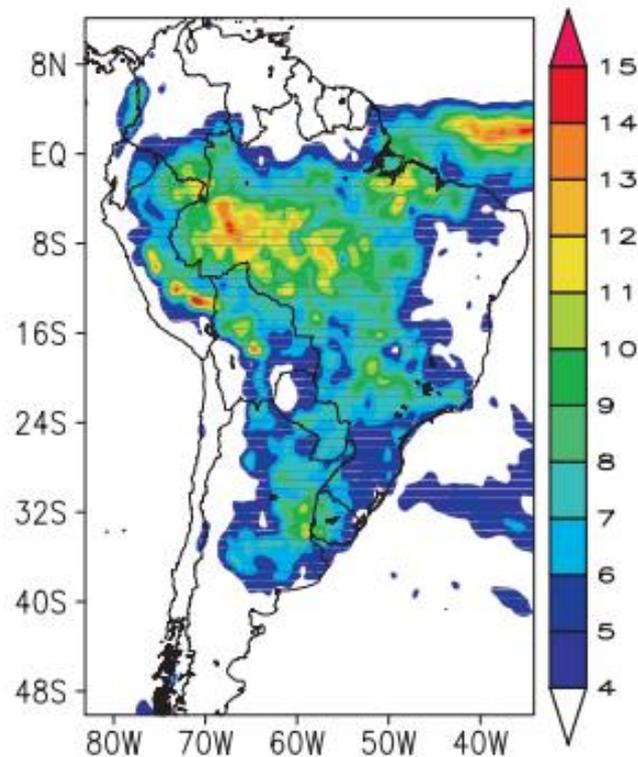


Figura 4: Imagem de saída do produto MERGE para o trimestre de verão. Fonte: ROZANTE et al. (2010).

No estudo apresentado por Torres et al. (2020) foram comparadas as estimativas de precipitação provenientes do MERGE, *Climate Prediction Center* (CPC), *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC) e *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) para as bacias hidrográficas do Rios Sapucaí e São Francisco. Os autores observaram que na escala mensal no período de 1998 a 2018, desconsiderando o MERGE que não estava ativo para este período, os outros três conjuntos possuem desempenho satisfatório, com destaque para o CPC. Em contrapartida, para o período de 2014 a 2018, onde o MERGE é considerado, este apresenta melhor desempenho nas escalas mensais e diárias em relação aos demais produtos avaliados.

Já o estudo de Palharini et al. (2020) teve como objetivo avaliar a capacidade dos produtos de estimativa de precipitação baseados em satélite para precipitação extrema na área tropical da América do Sul. Os autores utilizaram diferentes produtos de estimativa de precipitação por satélite (SRPs, do inglês *Satellite Rainfall Products*) a partir de um novo conjunto de dados denominado *Frequent Rainfall Observations on GridS* (FROGS). Estas estimativas foram comparadas com o conjunto de dados de pluviômetros do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

(INPE) para o período 2012-2016. Como principais resultados foram encontrados que os produtos sem ajuste pluviométrico tenderam a subestimar os menores valores e superestimar os maiores valores nas regiões Sul e Nordeste do Brasil. Dois dos SRPs (GSMAP e TAPEER) que não utilizam pluviômetros para realizar ajuste apresentaram melhor desempenho quando os valores máximos de precipitação ocorreram entre 75 mm e 100 mm. Além disso foi observado que os SRPs que utilizam medições no MW foram melhores do que os SRPs que utilizam apenas informações de IR. Porém, os três SRPs (CHIRP, CHIRPSg e PERSIANNg) que utilizam técnicas combinadas tenderam a superestimar os valores máximos na região Sul do Brasil. Esse estudo corrobora a hipótese de que o uso de estimativas de precipitação extremas por satélite não deve ser considerado globalmente, mas sim regionalmente, já que o desempenho de cada produto varia de acordo com as particularidades de cada região.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Região de Estudo

A região de estudo do presente trabalho é centrada no Estado de MG. Minas Gerais está localizada na Região Sudeste do Brasil, sendo o quarto estado com a maior área territorial (586 522,122 km²) e o segundo em quantidade de habitantes (cerca de 21 milhões). Seu território é subdividido em 853 municípios, possuindo a maior quantidade de municípios dentre os estados brasileiros.

A topografia mineira é bastante acidentada, sendo que alguns dos picos mais altos (atingindo aproximadamente 2,9 km) do país encontram-se em seu território. O estado também abriga a nascente de alguns dos principais rios do Brasil, o que o coloca em posição estratégica no que se refere aos recursos hídricos nacionais. Possui clima tropical, que varia de mais frio e úmido no sul até semiárido em sua porção setentrional. Atinge temperaturas mínimas (máximas) no inverno (verão) de aproximadamente 14°C (27°C) no sul do estado e 19°C (31°C) na sua porção noroeste. Todos esses fatores aliados propiciam a existência de uma rica fauna e flora distribuídas nos biomas que cobrem o Estado, especialmente o cerrado e a ameaçada Mata Atlântica (REBOITA et al., 2015).

Para comparação dos dados de precipitação provenientes do hidroestimador e MERGE foram escolhidas cinco estações pluviométricas em locais distintos no Estado de MG: i) Itajubá, ii) Belo Horizonte, iii) Governador Valadares, iv)

Mocambinho e v) Uberlândia. A localização dos cinco pluviômetros utilizados é mostrada na Figura 5 e complementada na Tabela 1.

A cidade de Itajubá está localizada na latitude de 22°30' e longitude 45°27' na porção sul do Estado de MG, com área territorial de 294.835 km². Sua população estimada em julho de 2019 era de aproximadamente 100 mil habitantes. Situado nos limites meridionais do clima temperado, sob influência da elevada altitude da região, o clima é do tipo temperado, com oscilações bruscas de temperatura, segundo as normais climatológicas do INMET.

O segundo pluviômetro está localizado na cidade de Belo Horizonte (BH), capital do estado de MG. Sua população estimada é de 2.501.576 habitantes e sendo o 6º município mais populoso do país e o mais populoso de seu estado. Com uma área de aproximadamente 331 km², possui uma geografia diversificada, com morros e baixadas. O clima de BH é classificado como tropical com estação seca, com verões moderadamente quentes e úmidos e invernos secos e agradáveis. O terceiro pluviômetro está localizado no município de Governador Valadares. Este município está localizado no Vale do Rio Doce e está situado a cerca de 320 km a leste da capital do estado. Ocupa uma área de pouco mais de 2.342 km² e sua população em 2020 foi de 281.046 habitantes, posicionando-se como o nono mais populoso do estado mineiro. O clima valadarense é caracterizado como tropical quente semiúmido, com temperatura média compensada anual de 24 °C e pluviosidade média de 990 mm/ano, concentrados entre os meses de outubro e março (IBGE, 2007).

O quarto pluviômetro está localizado no município de Mocambinho, distrito do município brasileiro de Porteirinha, no interior do estado de MG. Porteirinha é um município brasileiro no interior do estado de MG e localiza-se no norte mineiro e sua população estimada em 2018 era de 37.950 habitantes, com área de cerca de 1.749 km² e clima caracterizado como semiárido (IBGE, 2018). Por fim, o quinto e último pluviômetro está localizado em Uberlândia; cidade situada a oeste de BH. Sua população era de 699.097 habitantes em julho de 2020, segundo o IBGE, sendo o município mais populoso da região do Triângulo Mineiro e o segundo mais populoso de MG. Ocupa uma área de 4,1 mil quilômetros quadrados. O clima de Uberlândia é caracterizado como tropical, com diminuição de precipitações no inverno e temperatura média compensada anual em torno de 22 °C, o índice pluviométrico é

cerca de 1.600 milímetros no ano, concentrando-se nos meses de verão segundo as normais climatológicas do INMET.

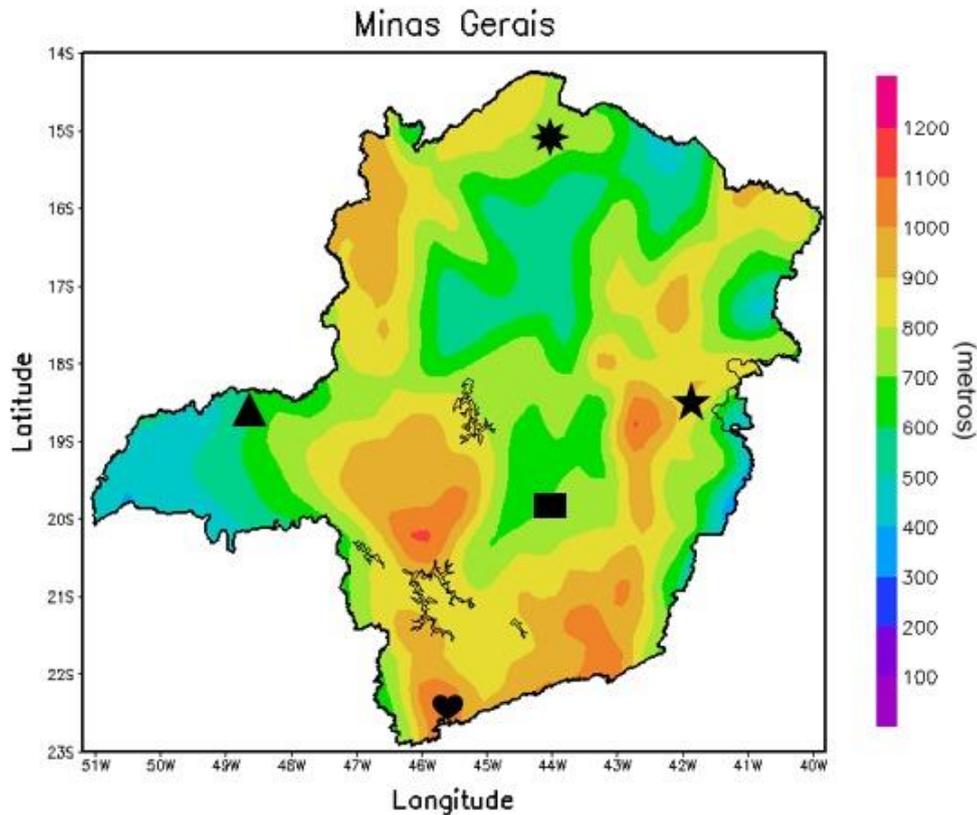


Figura 5: Relevo (m) do Estado de Minas Gerais e localização dos cinco pluviômetros utilizados no presente estudo: i) Itajubá (coração), ii) Belo Horizonte (quadrado), iii) Governador Valadares (estrela), iv) Mocambinho (asterisco) e v) Uberlândia (triângulo).

Tabela 1: Legenda das cidades analisadas

Cidade	Símbolo	Latitude	Longitude	Altitude
Itajubá	♥	22°30'	45°27'	850 m
Belo Horizonte	■	19°48'	43°57'	852 m
Governador Valadares	★	18°51'	41°56'	166 m
Mocambinho	✳	16°01'	43°01'	252 m
Uberlândia	▲	18°54'	48°15'	887 m

3.2 Dados Hidroestimador

Foram utilizados os dados de precipitação obtidos pelo algoritmo hidroestimador para o ano de 2019. Os dados de entrada no hidroestimador são imagens em infravermelho do satélite GOES-16 que têm resolução espacial de

menos de 2 km e resolução temporal de 15 minutos, e água precipitável e umidade relativa entre 0 e 500 mb proveniente de modelo de previsão numérica de tempo. O banco de dados também possui o acumulado de precipitação por dia. O acumulado diário representa a precipitação acumulada das 1200 UTC do dia anterior até às 1200 UTC do dia atual. Os dados foram disponibilizados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados estão disponíveis em: <http://ftp.cptec.inpe.br/goes/goes16/hidroest/>.

3.3 Dados Merge

O produto MERGE foi criado pelo CPTEC do INPE. Esse produto é obtido a partir da combinação entre a precipitação observada por pluviômetros e a precipitação estimada por satélite. O CPTEC utiliza as estimativas do *Global Precipitation Measurement* (GPM), cujos dados são produzidos com frequência temporal de 30 minutos e resolução espacial de 0,1°. As saídas também são disponibilizadas diariamente, tendo como variável a precipitação acumulada em 24 horas (das 12:00 às 12:00 UTC), cobrindo a América do Sul e oceanos adjacentes. Os dados estão disponíveis em: <http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/tempo/MERGE/>.

3.4 Dados pluviômetros

Para cidade de Itajubá foram utilizadas as medidas de precipitação realizadas pelo pluviômetro localizado na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) (latitude 22°30' e longitude 45°27') para o ano de 2019. Esses dados estão com frequência temporal de 10 minutos e foram fornecidos pelo Centro de Previsão e Estudos de Tempo e Clima de Minas Gerais (CEPreMG). Para os dados de pluviômetro foi realizado o acumulado de precipitação das 09:00 horas (horário local) (1200 UTC) do dia anterior até as 09:00 horas do dia atual (1200 UTC), para que estivessem no mesmo intervalo de acumulação de precipitação dos dados de satélite. Os dados estão disponíveis em: <https://meteorologia.unifei.edu.br/>

Os dados dos pluviômetros localizados nos municípios de Belo Horizonte, Governador Valadares, Mociminho e Uberlândia foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o ano de 2019. Esses dados já foram disponibilizados em formato diários (somados das 1200 UTC do dia anterior às 1200 UTC do dia em questão), estando assim todos os dados no mesmo

intervalo de acumulação de precipitação dos dados dos satélites. Os dados estão disponíveis em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. A Tabela 2 resume as características dos dados utilizados no presente estudo.

Tabela 2: Dados utilizados

Nome	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Website
Hidroestimador	2 km	Diária (12 às 12UTC)	http://ftp.cptec.inpe.br/goes/goes16/hidroest/
MERGE	10 km	Diária (12 às 12 UTC)	http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/tempo/MERGE/
Pluviômetros	Pontual	10 min	https://meteorologia.unifei.edu.br/ https://bdmep.inmet.gov.br/

3.5 Distribuição espacial e temporal de precipitação no Estado de Minas Gerais

Os dados diários do Hidroestimador e MERGE estavam em resolução espacial diferentes (2 km versus 10 km). Assim, os dados do Hidroestimador foram interpolados para uma grade com resolução espacial de 10 km. Foi aplicado uma máscara, para restringir os dados para apenas aqueles delimitados exatamente pelo contorno do Estado de MG. Foram produzidos acumulados diários, mensais, sazonais e anuais de precipitação para os dados de precipitação do Hidroestimador e MERGE para o Estado de MG como um todo. Para os cinco pluviômetros também foram realizados acumulados diários, mensais, sazonais e anuais de precipitação.

3.6 Comparação entre as estimativas de precipitação

Nesta etapa foi realizada a comparação entre as estimativas de precipitação do Hidroestimador versus pluviômetro e modelo MERGE e pluviômetro. Para isto, considerando a escala diária de precipitação foi extraído os *pixels* do Hidroestimador e do modelo MERGE que estiveram numa distância menor que 4 km da localidade de cada pluviômetro. Para os pixels que satisfizeram esse critério e que possuíam precipitação maior que 0 mm/dia foram utilizados e calculado a precipitação média.

Posteriormente foram aplicadas estatísticas para os dados diários estimados pelo Hidroestimador e pelo modelo MERGE e os observados pelo pluviômetro. Assim, foi possível realizar a validação por meio de estatísticas como (Tabela 3, 4 e 5): i) raiz do quadrado médio do erro (RQME), ii) BIAS, iii) correlação de Pearson (r),

iv) VIES v) índice de concordância de Willmott (d) (WILLMOTT et al., 1985) e vi) índice de desempenho (c) criado por Camargo e Sentelhas (1997).

Tabela 3: Equações estatísticas utilizadas

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{nd} (E_i - O_i)^2}{nd}}$$

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^{nd} E_i - \sum_{i=1}^{nd} O_i}{\sum_{i=1}^{nd} O_i}$$

$$r = \frac{\sum (E_i - \bar{E})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum (E_i - \bar{E})^2 (O_i - \bar{O})^2}}$$

$$VIES = \frac{\sum (E_i - O_i)}{n}$$

$$d = 1 - \left(\frac{\sum (E_i - O_i)^2}{\sum (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right)$$

$$c = r * d$$

Em que: E_i são os valores de precipitação estimado pelo modelo; O_i são os valores de precipitação observado pelo pluviômetro; \bar{E} é a média dos valores estimados; \bar{O} é a média dos valores observados; p , o número de observações.

Tabela 4: Classificação das correlações de acordo com o coeficiente r .

Valor de r	Desempenho
0,0 a 0,1	Muito Baixo
0,1 a 0,3	Baixo
0,3 a 0,5	Moderado
0,5 a 0,7	Alto
0,7 a 0,9	Muito Alto
0,9 a 1,0	Quase Perfeito

Tabela 5: Critério de interpretação do desempenho do modelo pelo índice c.

Valor de c	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
< 0,40	Péssimo

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Distribuição Espacial e Temporal da Precipitação

4.1.1 Análise Anual

A Figura 6 mostra a precipitação para 2019 para o Estado de MG estimada pelo Hidroestimador (Figura 6a) e Merge (Figura 6b) e a diferença da precipitação entre o Hidroestimador e MERGE (Figura 6c). Pode-se observar que no Hidroestimador as maiores precipitações (entre 1400 e 2000 mm/ano) se encontraram na região do Triângulo Mineiro, oeste do estado, próximo as divisas ao noroeste e sudoeste e na divisa com o Espírito Santo e Rio de Janeiro. Em contrapartida, as menores precipitações se encontram no nordeste do estado, com menos de 400 mm de precipitação anual. Para o modelo MERGE os valores de precipitação anual estimados têm menor intensidade (300 mm/ano, de acordo com a Figura 6c), porém os pontos de máxima e mínima precipitação são semelhantes em relação ao Hidroestimador.

Ao analisar a Figura 6c é possível observar que o Hidroestimador superestima a precipitação na maior parte do estado de Minas Gerais, exceto em quatro regiões: extremo sul de Minas Gerais, divisa nordeste com a Bahia e duas regiões no interior do estado, um ao sul com menor distribuição espacial e intensidade e outro ao norte com cerca de 200 mm anuais de diferença.

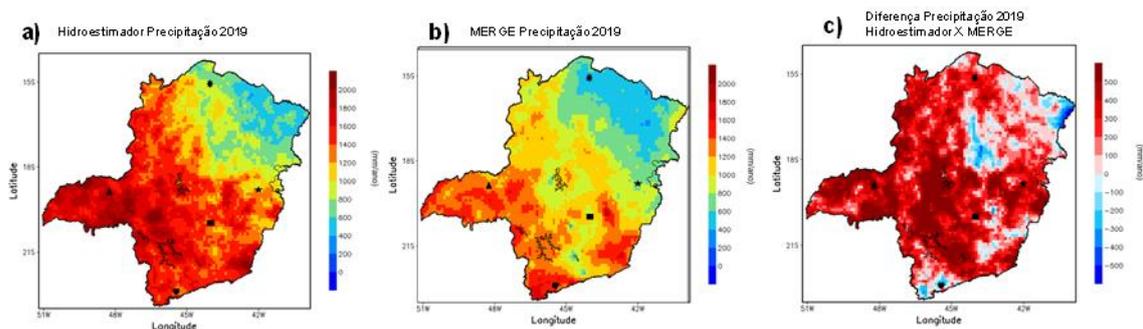


Figura 6: Precipitação anual (mm/ano) para o Estado de Minas Gerais em 2019: a) Hidroestimador, b) MERGE e c) diferença de precipitação entre o Hidroestimador e o MERGE.

4.1.2 Análise Mensal

No Estado de MG os meses com maiores precipitações são os meses de verão para o Hemisfério Sul (dezembro, janeiro e fevereiro), além do mês que antecede (novembro) e sucede (março) o verão. Analisando a Figura 7, observa-se que o Hidroestimador obteve para os meses de novembro a março (Figuras 7b, 7c, 7k e 7l) para quase todo o Estado de MG valores maiores que 200 mm mensais. Com exceção de janeiro (Figura 7a), em que a precipitação diminui consideravelmente para cerca de 20 mm/mês na região leste, enquanto na parte oeste os valores de precipitação variam entre 100 e 200 mm. Em contrapartida, os meses de inverno (junho, julho e agosto) a precipitação é baixa (20 mm/mês) ou inexistente para todo o estado (Figuras 7f, 7g e 7h).

Nota-se que na porção nordeste do Estado há baixa taxa de precipitação o ano todo, sendo os menores valores registrados no Estado não atingindo mais de 60 mm mensais, com exceção dos meses chuvosos destacados anteriormente (novembro, dezembro, fevereiro e março). Isso pode estar relacionado ao fato do clima do local ser mais semelhante ao nordeste do país. Em abril as maiores precipitações se localizam no Triângulo Mineiro, entre 140 e 200 mm no mês e se deslocam para o centro do estado no mês seguinte com menor intensidade, entre 100 e 160 mm no mês.

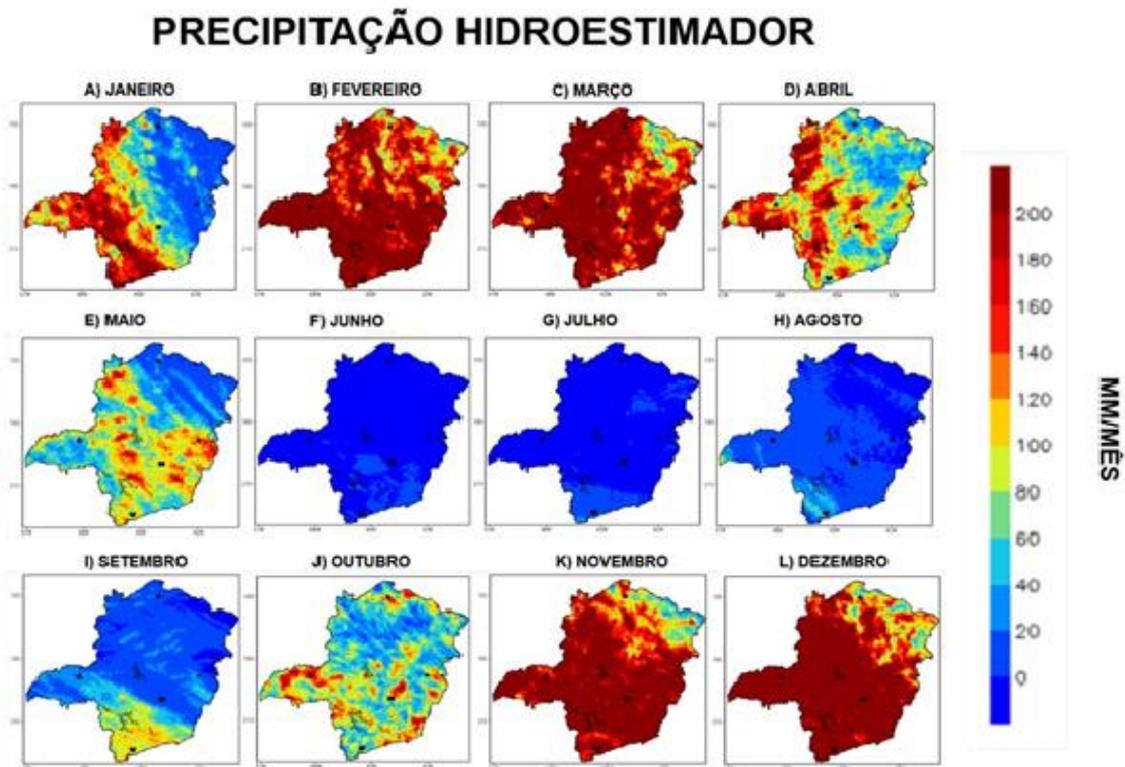


Figura 7: Precipitação mensal (mm/mês) para o Estado de Minas Gerais em 2019 proveniente do Hidroestimador.

A Figura 8 para o MERGE reforça os padrões de precipitação citados anteriormente para a Figura 7. Porém observa-se uma menor intensidade em relação ao Hidroestimador, como também foi notado no campo anual, com exceção dos meses de inverno (junho, julho agosto) como pode ser notado na Figura 9. Ao analisar o ciclo mensal de precipitação proveniente do MERGE podemos notar uma maior variação da precipitação nos meses chuvosos (novembro a março) em MG, com os menores valores de precipitação no norte do Estado (120 mm/mês) e os maiores valores no Triângulo Mineiro e sul de MG (>200mm/mês). Como destacado anteriormente, no mês de janeiro (Figura 8a) há queda de precipitação no Estado, não ultrapassando os 140 mm mensais em nenhum ponto do estado. Para os meses de inverno (Figuras 8f, 8g e 8h) a precipitação se mantém com menos de 40 mm mensais, como na figura anterior. Contudo, na Figura 8h há um ponto em destaque, onde há uma estimativa de mais de 200 mm/mês de precipitação, porém de acordo com a climatologia do local, essa exceção pode estar associada a algum erro no modelo.

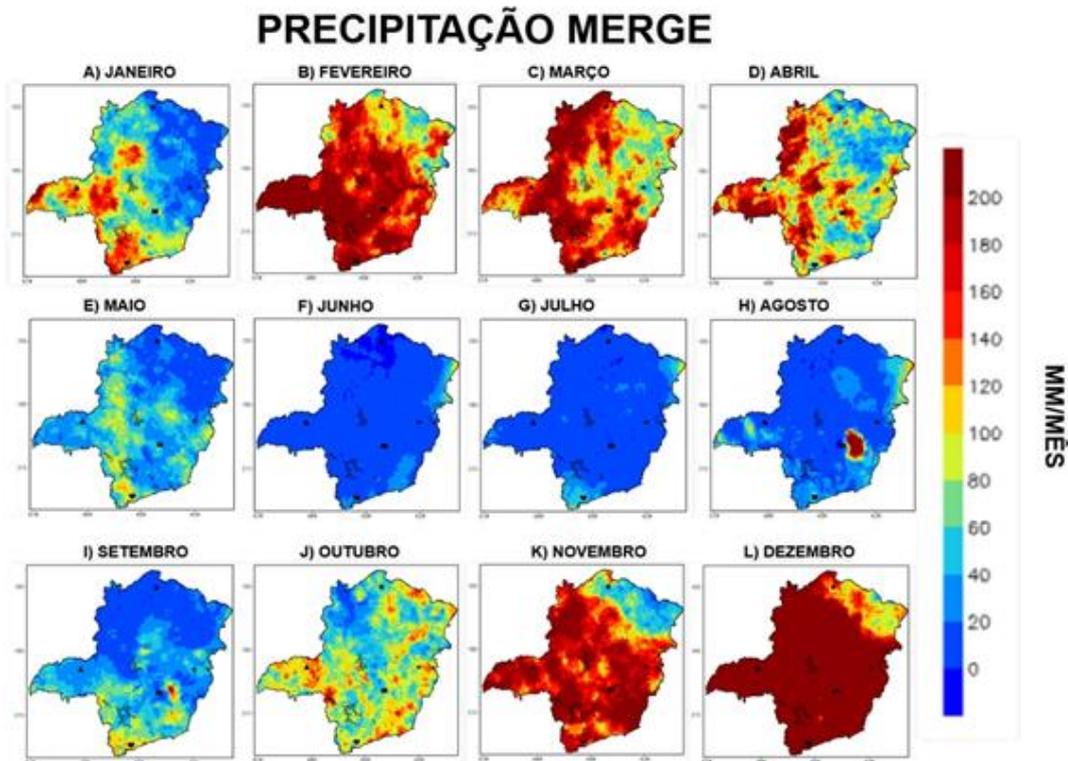


Figura 8: Precipitação mensal (mm/mês) para o Estado de Minas Gerais em 2019 proveniente do MERGE.

Considerando que o MERGE representa o valor mais próximo do verdadeiro (provado posteriormente), este foi utilizado como base para realizar a comparação do Hidroestimador.

A diferença mensal entre o Hidroestimador e o modelo MERGE mostra que no verão (Figura 9a, 9b e 9l) há uma subestimativa do MERGE, com exceção de algumas regiões na Figura 9a, onde o MERGE superestima em maior parte do Estado. Para os meses de outono (Figuras 9c, 9d e 9e) há alta superestimativa para o Hidroestimador (cerca de 50 mm/mês) em março e diminui ao passar dos meses até maio, porém ainda com pontos com superestimativa de 50 mm/mês. Para o inverno (Figuras 9f, 9g e 9h) há uma subestimativa do Hidroestimador principalmente nas fronteiras do Estado, porém em seu interior os dois modelos se equiparam, já que de acordo com a climatologia não há precipitação. Na Figura 9h já há subestimativa do Hidroestimador no Triângulo Mineiro, fronteira com a Bahia e no ponto citado anteriormente como possível erro e superestimativa no sul do Estado e no nordeste do Estado. Por fim, na primavera (Figuras 9i, 9j e 9k) há subestimativa (entre 10 e 50 mm) do Hidroestimador em setembro na maior parte do Estado,

porém com o passar dos meses o padrão passa a ser de superestimativa (mais de 50mm) com novembro possuindo poucos pontos de subestimativa.

DIFERENÇA PRECIPITAÇÃO HIDROESTIMADOR X MERGE

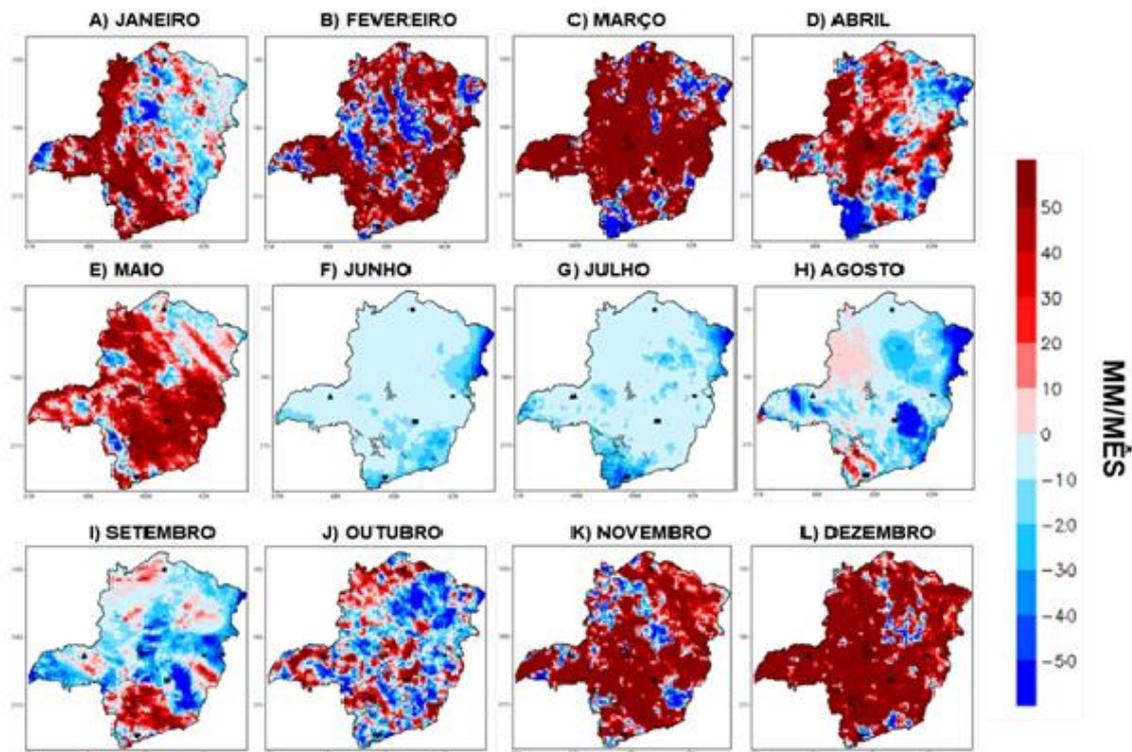


Figura 9: Diferença mensal (mm/mês) da precipitação entre o Hidroestimador e o MERGE para o Estado de Minas Gerais em 2019.

A Figura 10 mostra a precipitação média mensal para o Estado de MG proveniente do Hidroestimador e MERGE. Os resultados mostram que os maiores valores de precipitação ocorrem de novembro a abril, porém em janeiro houve uma redução na precipitação, ocorrendo apenas 91,1 mm/mês de acordo com o Hidroestimador e 67,6 mm/mês de acordo com o modelo MERGE. Enquanto o mês de fevereiro registrou 227,6 mm/mês e 180,5 mm/mês, de acordo com o Hidroestimador e o modelo MERGE, respectivamente. Porém os maiores valores para os dois métodos ocorrem em dezembro, com 271,1 mm/mês e 182,4 mm/mês, estimados pelo Hidroestimador e pelo modelo MERGE, respectivamente. Apesar da observação de uma superestimativa na precipitação pelo Hidroestimador em relação ao modelo MERGE, há uma similaridade no comportamento mensal entre ambos os

algoritmos, ou seja, observa-se um aumento dos valores de precipitação em outubro e decaindo em março, com valores próximos de abril a setembro.

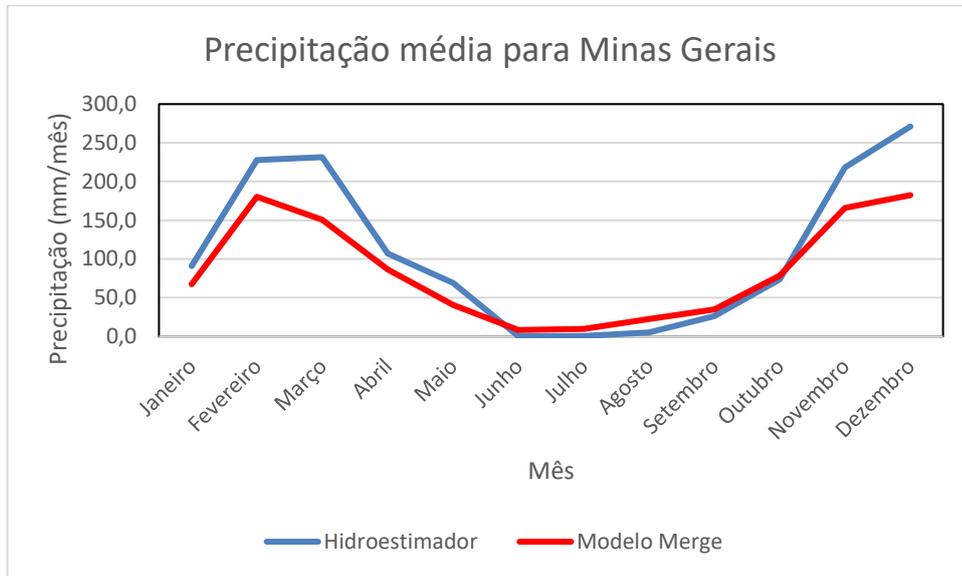


Figura 10: Precipitação média mensal (mm/mês) proveniente do Hidroestimador (linha contínua azul) e MERGE (linha contínua vermelha) para o Estado de Minas Gerais em 2019.

Na Figura 11a, a linha pontilhada representa a média mensal de precipitação para MG, enquanto as barras coloridas são a média mensal de precipitação para as cidades analisadas. Nota-se que em janeiro para o Hidroestimador, as cidades de Mocambinho e Governador Valadares não apresentam precipitação se comparado ao valor mensal de Minas Gerais, já Itajubá e Uberlândia a estimativa de precipitação foi maior do que a do estado e de Belo Horizonte coincide com a precipitação do Estado. Em maio a cidade de Governador Valadares teve a estimativa de 134,55 mm no mês, enquanto o valor estimado para o Estado foi de apenas 69,13 mm no mês. Em contrapartida, para dezembro o valor estimado para MG foi de aproximadamente 271 mm no mês e para a cidade de Uberlândia foi de 518,85 mm no mês. O mês mais chuvoso para a cidade de Mocambinho foi março (263,78 mm/mês) representando mais de 30% do valor total de precipitação anual do local.

A Figura 11b representa a comparação da estimativa de precipitação para MG e para a localidade dos cinco pluviômetros para as demais cidades, assim como a figura anterior, porém para o MERGE. Para esse modelo a precipitação da cidade de Itajubá está acima da média do Estado em todos os meses e as cidades de

Mocambinho e Governador Valadares estão abaixo da média do estado no ano todo. Como na figura anterior, Belo horizonte é a cidade em que a média mensal mais se aproxima da média mensal de precipitação do Estado.

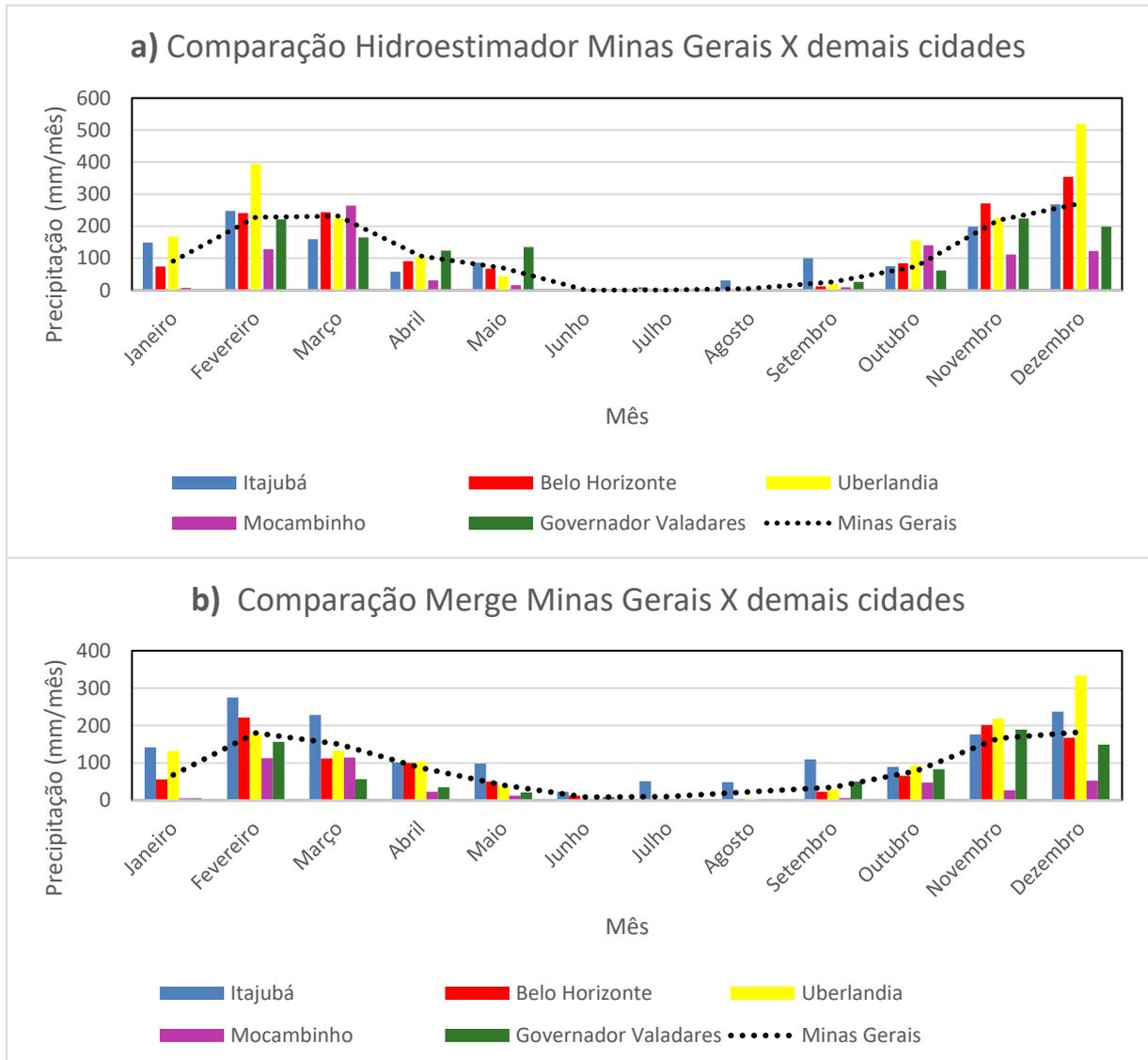


Figura 11: Precipitação média mensal (mm/mês) proveniente do a) Hidroestimador b) MERGE (linha tracejada preta) e para os pluviômetros de cinco cidades: Itajubá (barra azul), Belo Horizonte (barra vermelha), Mocambinho (barra roxa), Governador Valadares (barra verde) e Uberlândia (barra amarela) para o Estado de Minas Gerais em 2019.

Na Figura 12 podemos comparar a precipitação mensal registrada pelos pluviômetros alocados em: a) Itajubá, b) Belo Horizonte, c) Governador Valadares, d) Mocambinho e e) Uberlândia. Para todas as cidades o modelo MERGE apresenta estimativas de precipitação mais próximas as medidas dos pluviômetros do que o

Hidroestimador em relação aos pluviômetros. Para a cidade de Belo Horizonte (Figura 9b) com exceção do mês de março e dezembro o Hidroestimador se equipara bem ao pluviômetro. Para as cidades de Governador Valadares, Mocambinho e Uberlândia (Figuras 12c, 12d e 12e) o Hidroestimador superestima (cerca de 50mm, 150mm e 200mm, respectivamente) o pluviômetro em todos os meses, com exceção do inverno. Em contrapartida, para a cidade de Itajubá (Figura 12a), em alguns meses o Hidroestimador apresenta uma superestimativa (janeiro, novembro e dezembro) e em outros meses uma subestimativa (fevereiro, março, abril, maio, setembro e outubro) em relação ao pluviômetro.

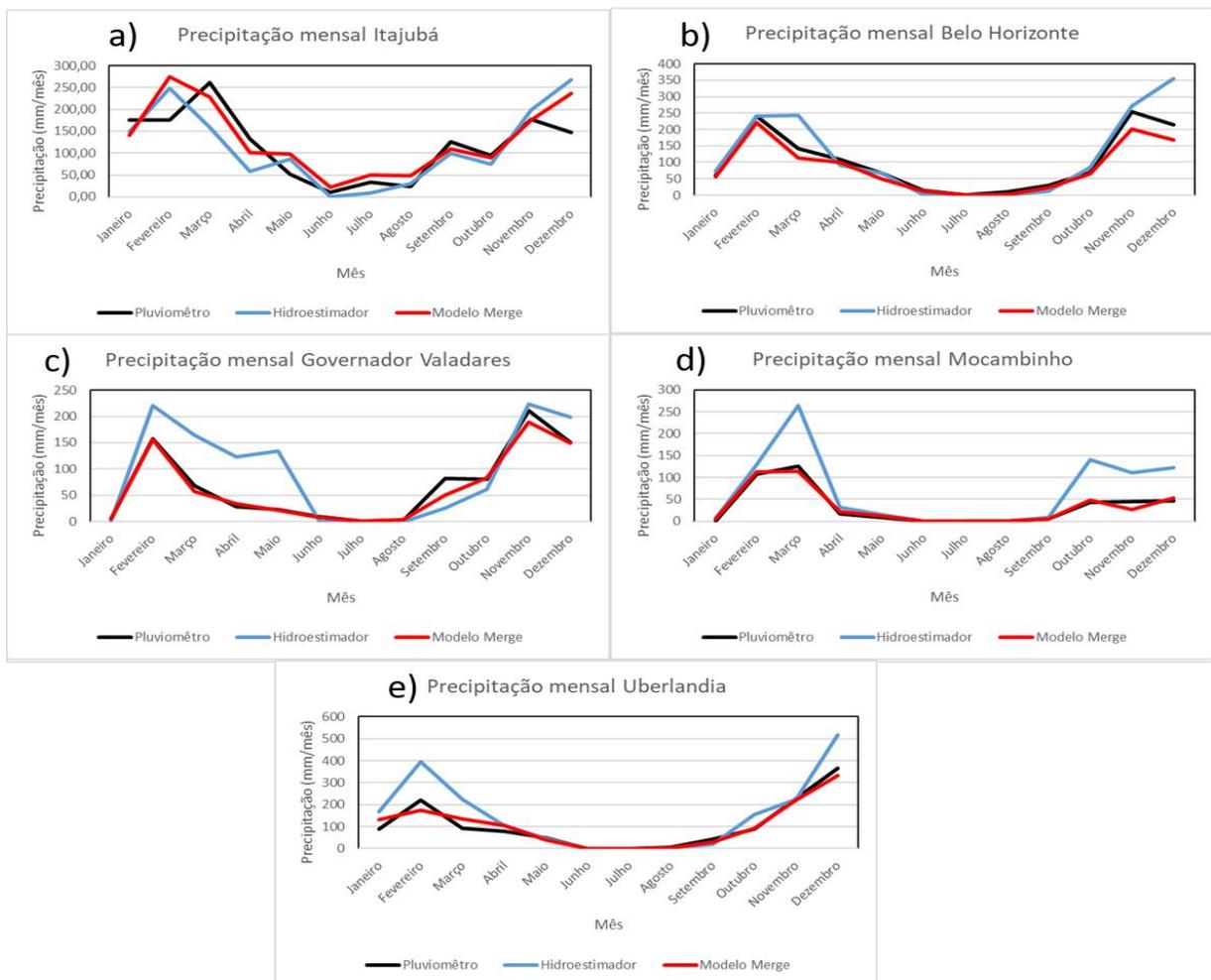


Figura 12: Precipitação mensal (mm/mês) para: a) Itajubá, b) Belo Horizonte, c) Governador Valadares, d) Mocambinho e e) Uberlândia medida por pluviômetro (linha contínua preta) e estimada pelo Hidroestimador (linha contínua azul) e MERGE (linha contínua vermelha).

4.1.3 Análise Diária

A análise qualitativa da precipitação diária para as cidades analisadas mostra que em geral o Hidroestimador e o MERGE possuem um comportamento diário semelhante ao dos pluviômetros (Figura 13). No entanto, através de uma análise quantitativa observa-se que de maneira geral o Hidroestimador apresenta valores de precipitações maiores que os demais métodos de estimativa de precipitação. Como o Hidroestimador estima a precipitação principalmente baseado na temperatura do topo das nuvens, essa superestimativa pode estar associada a superestimativa de precipitação associada a nuvens baixas (nuvens Nimbostratus possuem alta temperatura, porém podem produzir precipitação). Em adição, em alguns dias o modelo MERGE apresenta um acumulado diário de precipitação maior que o Hidroestimador e pluviômetros (Figura 13a e Figura 13e).

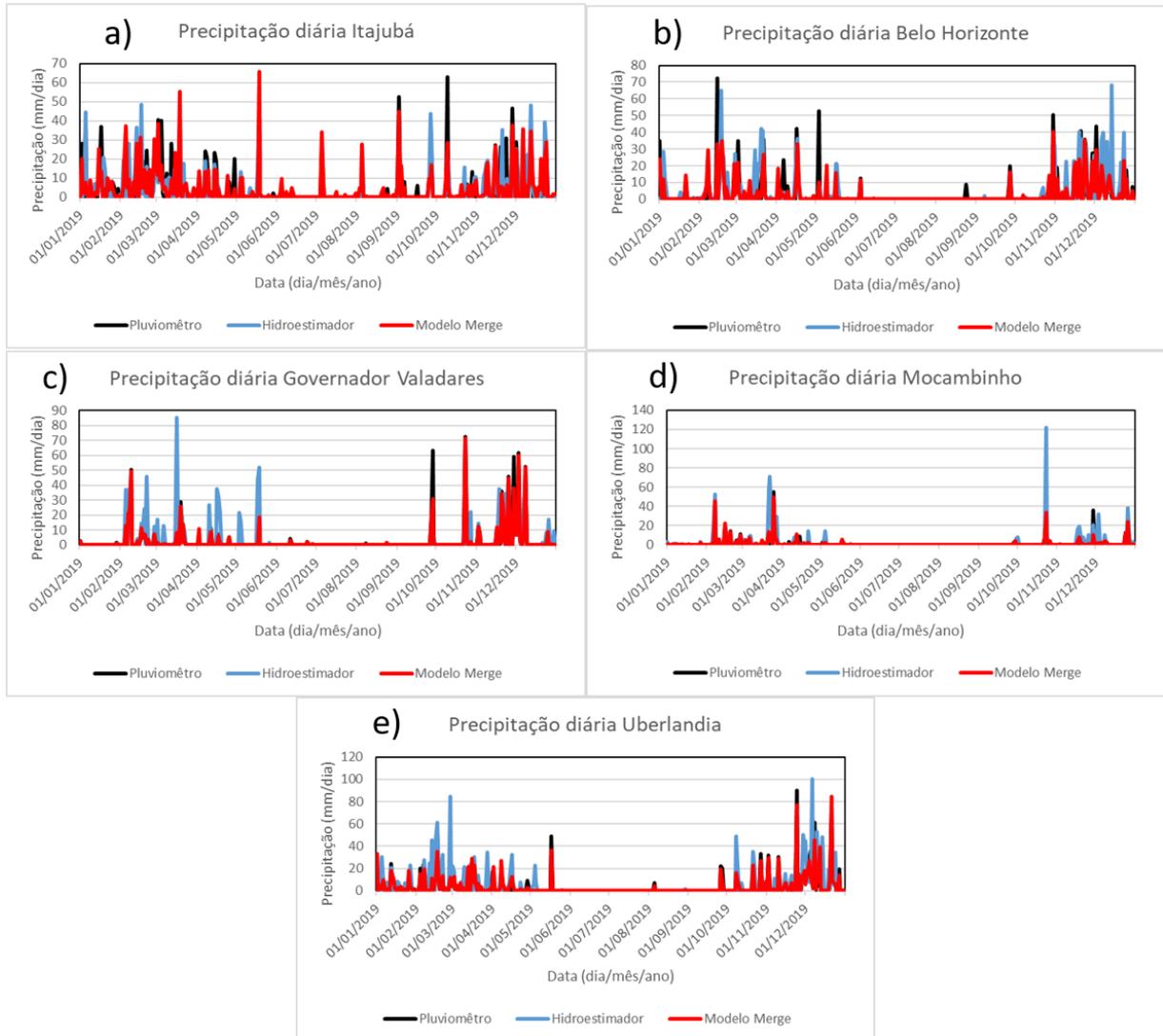


Figura 13: Precipitação diária (mm/dia) para: a) Itajubá, b) Belo Horizonte, c) Governador Valadares, d) Mocambinho e e) Uberlândia medida por pluviômetro (linha contínua preta) e estimada pelo Hidroestimador (linha contínua azul) e MERGE (linha contínua vermelha).

A Figura 14 mostra a diferença diária da precipitação do Hidroestimador e do MERGE em relação ao pluviômetro. Ao analisar essa figura observa-se que para Itajubá há uma subestimativa (menor que 60 mm/dia) e uma superestimativa (menor que 60 mm) para os dois métodos, sem um padrão bem definido. Em contrapartida, para Belo Horizonte, a maior parte dos dados do Hidroestimador apresenta uma subestimativa (80 mm) em relação ao pluviômetro, enquanto o MERGE superestima (40 mm) os dados na maioria dos dias. Já para Governador Valadares e Mocambinho há uma subestimativa (80 mm e 90 mm, respectivamente) do Hidroestimador e uma superestimativa (30 mm e 10 mm, respectivamente) do

MERGE em poucos dias, sendo a maioria dos dias próximos ao valor do pluviômetro. Para Uberlândia, o Hidroestimador subestima (100 mm) a maioria dos dados, enquanto para o modelo MERGE os valores se mantêm próximo a linha de 0 mm/dia. Nesse contexto, observa-se que de maneira geral, as maiores diferenças entre a precipitação medida e estimada ocorre para os pluviômetros instalados nas cidades de Uberlândia (-85 mm/dia) e Mocambinho (-90 mm/dia). Essas diferenças podem estar associadas as diferenças no grau de calibração entre os pluviômetros.

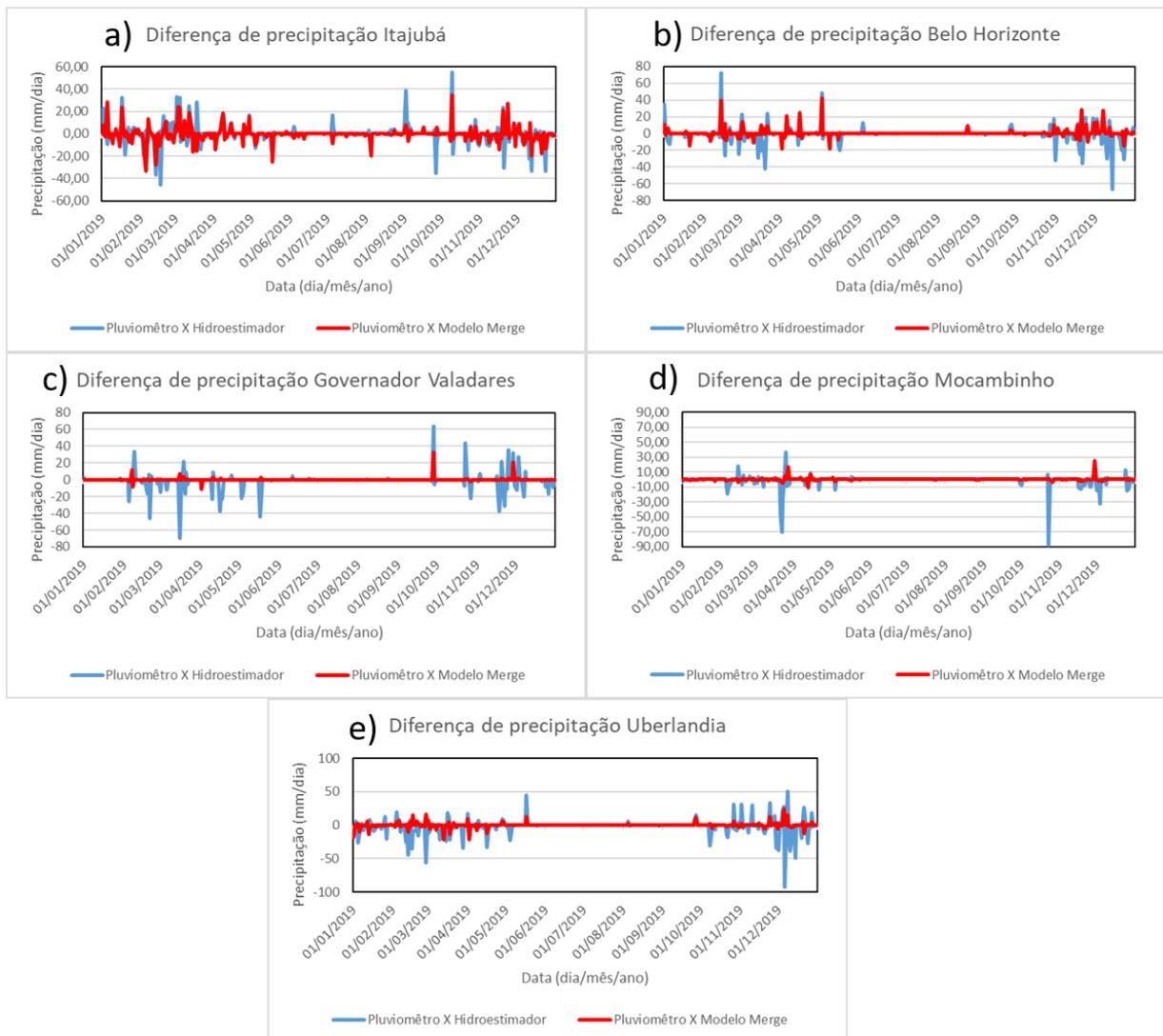


Figura 14: Diferença da precipitação diária (mm/dia) entre o Hidroestimador e pluviômetro e o MERGE e pluviômetro para as cidades de: a) Itajubá, b) Belo Horizonte, c) Governador Valadares, d) Mocambinho e e) Uberlândia.

Na Figura 15 é analisado a precipitação diária medida e estimada para as cidades em termos de histograma de frequência de ocorrência. Para isso foi considerado apenas valores de precipitação maiores que 0 mm/dia que ocorreram simultaneamente para o pluviômetro, Hidroestimador e MERGE. As maiores (> 20 casos) ocorrências são concentradas para baixos (< 5 mm/dia) valores de precipitação. Nota-se que apenas Itajubá apresenta valores diários com mais de 40 mm de precipitação no dia, simultaneamente para o Hidroestimador, MERGE e pluviômetro. Em Uberlândia (Figura 15e) há a maior frequência de ocorrência na faixa de 35 a 40 mm diários entre todas as cidades.

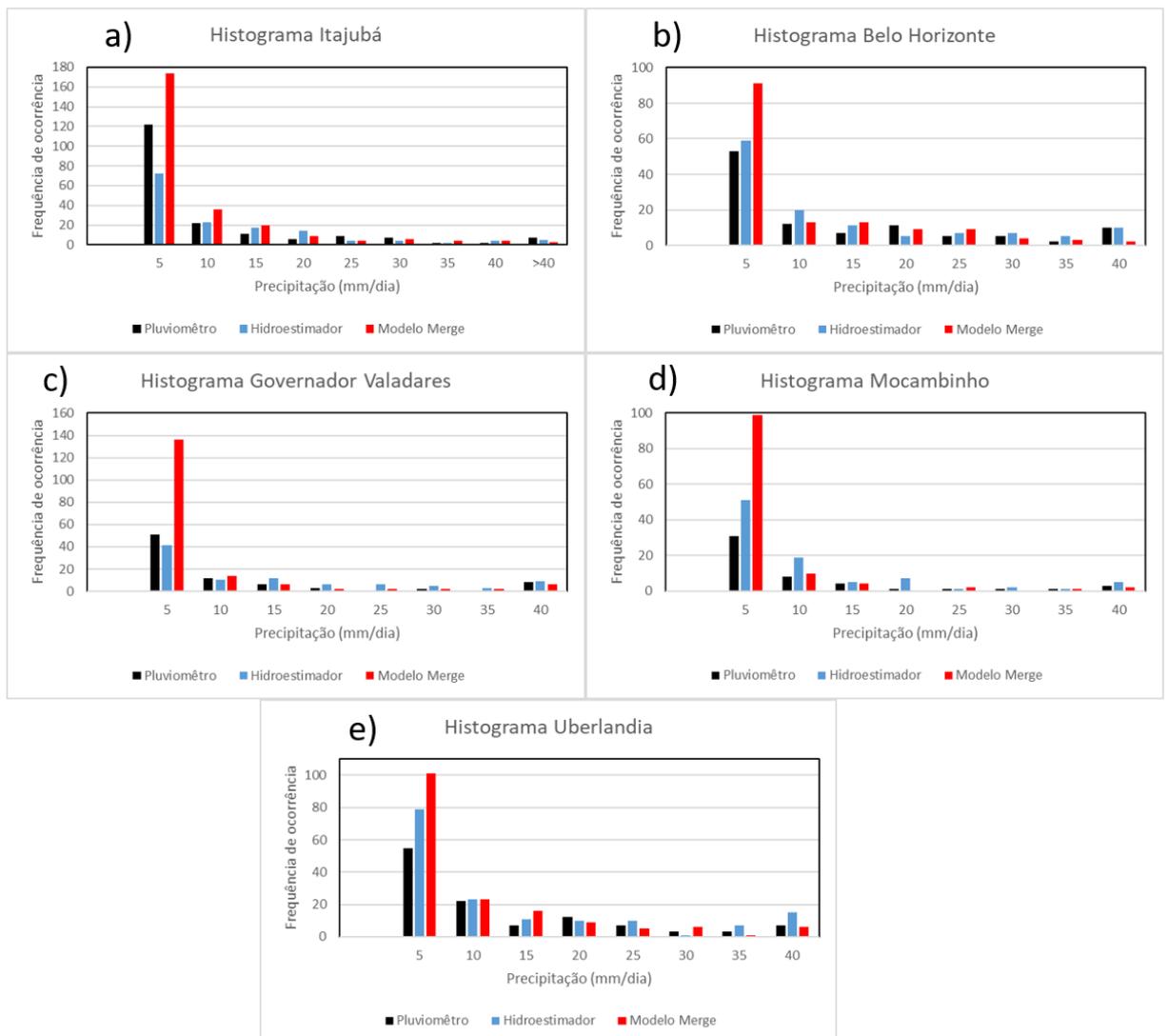


Figura 15: Histograma de frequência de ocorrência para precipitação diária (mm/dia) medida pelos pluviômetros (barra preta), Hidroestimador (barra azul) e MERGE (barra vermelha) para as cidades de: a) Itajubá, b) Belo Horizonte, c) Governador Valadares, d) Mocambinho e e) Uberlândia.

4.2 Comparação Quantitativa da Estimativa de Precipitação por Satélites e Pluviômetros

A Figura 16 mostra a relação de dispersão entre a precipitação diária (mm/dia) proveniente do Hidroestimador e pluviômetro (colunas na esquerda) e entre o MERGE e pluviômetro (coluna na direita) para as cidades de Itajubá, Belo Horizonte, Governador Valadares, Mocambinho e Uberlândia. O modelo MERGE apresenta os melhores resultados para todas as cidades, quando comparados ao Hidroestimador. O melhor resultado para o MERGE ocorreu para a cidade de Governador Valadares, com R^2 igual a 0,94, enquanto o pior grau de dispersão do modelo MERGE é para a cidade de Itajubá, com R^2 igual a 0,53. Em contrapartida, para o Hidroestimador a melhor relação de dispersão ocorre para a cidade de Mocambinho, com R^2 de aproximadamente 0,28. Nota-se também que para o Hidroestimador a maioria dos valores de precipitação apresentam uma superestimativa, ou seja, acima da linha de tendência. De maneira geral, observa-se que para o Hidroestimador uma maior dispersão ocorre tanto para valores baixos, quanto altos de precipitação. Em contrapartida, o MERGE apresenta maiores diferenças em relação aos pluviômetros para valores altos de precipitação.

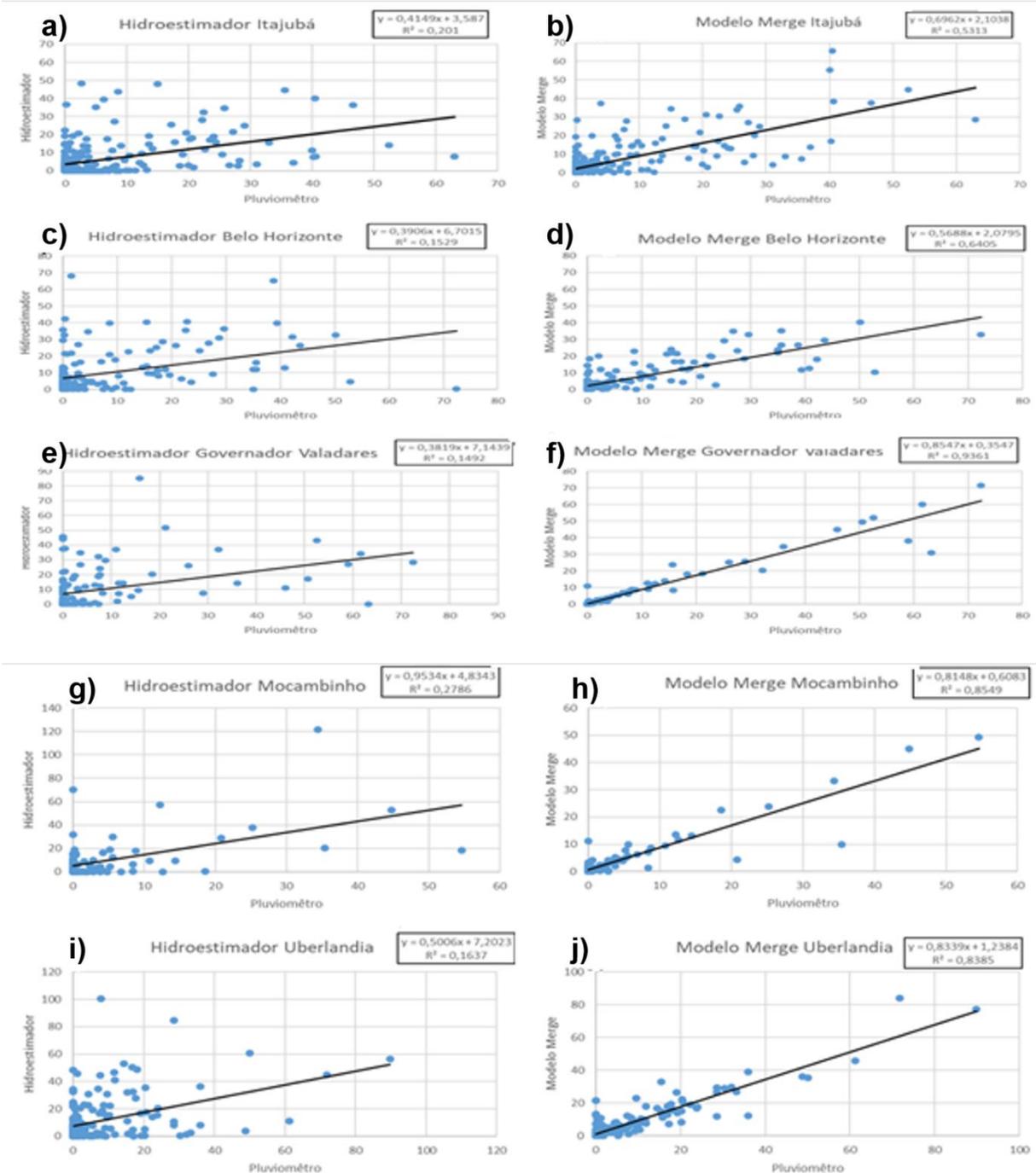


Figura 16: Relação de dispersão entre a precipitação diária (mm/dia) estimada pelo (a, c, e, g e i) Hidroestimador e pluviômetros e (b, d, f, h e j) MERGE e pluviômetros para as cidades de Itajubá, Belo Horizonte, Governador Valadares, Mocambinho e Uberlândia.

Ao analisar a Tabela 6 reforça-se o que foi observado anteriormente sobre o modelo MERGE, ou seja, o fato que o MERGE apresenta uma melhor estimativa de precipitação do que o Hidroestimador. Nota-se que o MERGE apresenta valores de RQME (7,22; 7,99; 3,46; 3,26; 5,34 para Itajubá, Belo Horizonte, Governador Valadares, Mocambinho e Uberlândia, respectivamente), VIES (0,60; -1,33; -0,39; -

0,01; 0,00 para Itajubá, Belo Horizonte, Governador Valadares, Mocambinho e Uberlândia, respectivamente) e BIAS (0,12; -0,17; -0,08; 0,00; 0,00 para Itajubá, Belo Horizonte, Governador Valadares, Mocambinho e Uberlândia, respectivamente) menores e valores de r (0,73; 0,80; 0,97; 0,92; 0,92 para Itajubá, Belo Horizonte, Governador Valadares, Mocambinho e Uberlândia, respectivamente), d (0,51; 0,64; 0,93; 0,86; 0,85 para Itajubá, Belo Horizonte, Governador Valadares, Mocambinho e Uberlândia, respectivamente) e c (0,37; 0,51; 0,90; 0,80; 0,77 para Itajubá, Belo Horizonte, Governador Valadares, Mocambinho e Uberlândia, respectivamente) maiores. Provavelmente esses resultados deve-se principalmente ao fato do Hidroestimador subestimar a precipitação quando há presença de nuvens quentes e superestimar valores quando há presença de nuvens frias. Quando os valores dos desvios sistemáticos (VIES e BIAS) são negativos (positivos) isso representa que o modelo está subestimando (superestimando) em relação ao valor medido pelo pluviômetro. Para Uberlândia esses valores são próximos a 0, sendo então considerado neutro. A estatística RQME expressa o quanto o modelo está errando comparado ao valor real, sendo o menor erro para Mocambinho (3,26) pelo Modelo MERGE e o maior para Mocambinho (16,32) para o Hidroestimador.

De acordo com a Tabela 4, valores de r entre 0,9 e 1,0 estão entre uma correlação quase perfeita, o que é o caso das cidades de Governador Valadares (0,97), Mocambinho (0,92) e Uberlândia (0,92), para o modelo MERGE. Para o Hidroestimador os valores de correlação são moderados, com exceção de Mocambinho que possui uma correlação considerada alta.

Pelo critério da Tabela 5, tem-se que o desempenho do modelo só é ótimo para Governador Valadares no modelo MERGE, muito bom para Mocambinho e Uberlândia, para o modelo Merge, sofrível para Belo Horizonte e péssimo para Itajubá, no modelo Merge. Para o Hidroestimador, todas as cidades se enquadram em péssimo.

Tabela 6: Estatísticas do raiz do quadrado médio do erro (RQME), correlação de Pearson (r), VIES, BIAS, índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho (c) para os dados do Hidroestimador em relação aos pluviômetros e MERGE em relação aos pluviômetros.

		Anual					
		RQME	r	VIES	BIAS	d	c
Itajubá	Hidro	11,03	0,45	-0,12	-0,02	0,03	0,01
	Merge	7,22	0,73	0,60	0,12	0,51	0,37
Belo Horizonte	Hidro	14,69	0,39	1,57	0,19	0,17	0,07
	Merge	7,99	0,80	-1,33	-0,17	0,64	0,51
Governador Valadares	Hidro	16,32	0,39	2,86	0,41	0,20	0,08
	Merge	3,46	0,97	-0,39	-0,08	0,93	0,90
Mocambinho	Hidro	15,23	0,53	4,63	1,08	0,37	0,07
	Merge	3,26	0,92	-0,01	0,00	0,86	0,80
Uberlândia	Hidro	16,76	0,40	3,50	0,47	0,51	0,21
	Merge	5,34	0,92	0,00	0,00	0,85	0,77

A Tabela 7 apresenta as análises estatísticas para a cidade de Itajubá separado por estações. A estação do outono e primavera possuem desempenhos melhores para o modelo MERGE, e para o outono, inverno e verão para o Hidroestimador, contudo seu desempenho ainda está classificado como péssimo de acordo com índice c para todas as estações nos dois modelos. Porém as demais estatísticas (RQME, BIAS e VIES) demonstram a superioridade do MERGE sobre o Hidroestimador, como por exemplo na primavera em que o RQME é de 14,35 e 7,52 para o Hidroestimador e MERGE, respectivamente. De acordo com o coeficiente r o MERGE apresenta desempenho quase perfeito no inverno (0,91), muito alto na primavera (0,82) e outono (0,76) e alto no verão (0,59), enquanto o Hidroestimador tem desempenho alto no outono (0,59) e inverno (0,51) e moderado na primavera (0,36) e verão (0,43).

Analisando a Figura 17, a dispersão no MERGE para o outono, inverno e primavera ficaram acima da média, principalmente o inverno em que o R^2 foi de aproximadamente 0,83. Em contrapartida, para o Hidroestimador, o melhor valor de dispersão aconteceu no outono de R^2 apenas 0,34.

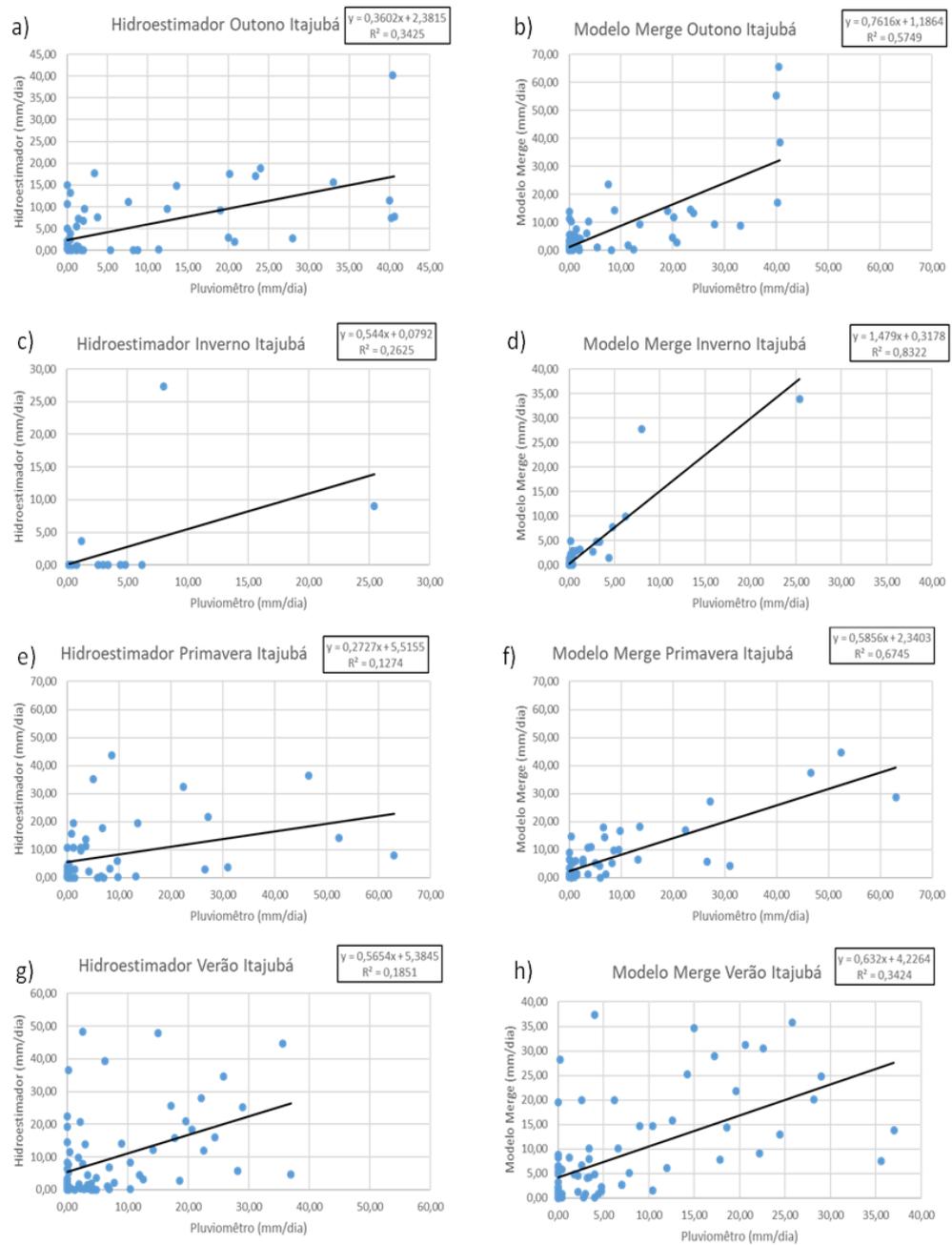


Figura 17: Relação de dispersão entre a precipitação diária (mm/dia) estimada pelo Hidroestimador e MERGE em função da precipitação medida pelo pluviômetro instalado na cidade de Itajubá para: a) outono, b) inverno, c) primavera e d) verão.

Tabela 7: Estatísticas sazonais do raiz do quadrado médio do erro (RQME), correlação de Pearson (r), VIES, BIAS, índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho (c) para a precipitação do Hidroestimador e MERGE em relação ao pluviômetro instalado na cidade de Itajubá.

		Itajubá					
		RQME	r	VIES	BIAS	d	c
Outono	Hidro	9,97	0,59	-2,37	-0,32	0,33	0,19
	Merge	7,72	0,76	-0,23	-0,04	0,54	0,41
Inverno	Hidro	4,21	0,51	-0,64	-0,41	0,06	0,03
	Merge	2,84	0,91	0,79	0,80	0,39	0,35
Primavera	Hidro	14,35	0,36	-0,50	-0,06	0,00	0,00
	Merge	7,52	0,82	-0,36	-0,05	0,67	0,55
Verão	Hidro	12,11	0,43	2,33	0,33	0,51	0,22
	Merge	8,89	0,59	1,93	0,31	0,13	0,07

A Tabela 8 é semelhante a tabela anterior, porém para a cidade de Belo Horizonte. O modelo MERGE apresenta um melhor resultado em relação ao índice c, se comparado ao anual, com exceção do outono (0,29) com classificação de péssimo, porém seu desempenho ainda pode ser classificado como baixo nas demais estações. Em contrapartida, para o Hidroestimador apenas no verão nota-se uma melhora no desempenho (0,14), porém ainda está classificado como péssimo para todas as estações. Para as demais estatísticas o MERGE se mostra superior em todas as estações, citando por exemplo o BIAS para o inverno, em que o Hidroestimador apresenta valor de aproximadamente -0,99 e o MERGE de -0,45. Isso demonstra que os dois modelos estão subestimando a precipitação, porém o segundo está mais próximo do valor real observado.

Para o coeficiente r, tem-se para o MERGE, o outono (0,66) como a pior estação, classificado como alto desempenho, enquanto a primavera (0,87) possui a melhor classificação com desempenho muito alto. Em contrapartida, para o Hidroestimador pode-se afirmar que a estação que apresentou melhor desempenho foi também a primavera (0,49) com desempenho moderado enquanto o inverno (0,20) apresenta desempenho baixo. Na Figura 18, nota-se que para o Hidroestimador todas as estações apresentarem baixo valor de R^2 sendo o melhor valor é de 0,238 para primavera e o pior de 0,0398 para o inverno, já para o MERGE apenas o outono (0,432) apresentou valor menor de R^2 menor que 0,6.

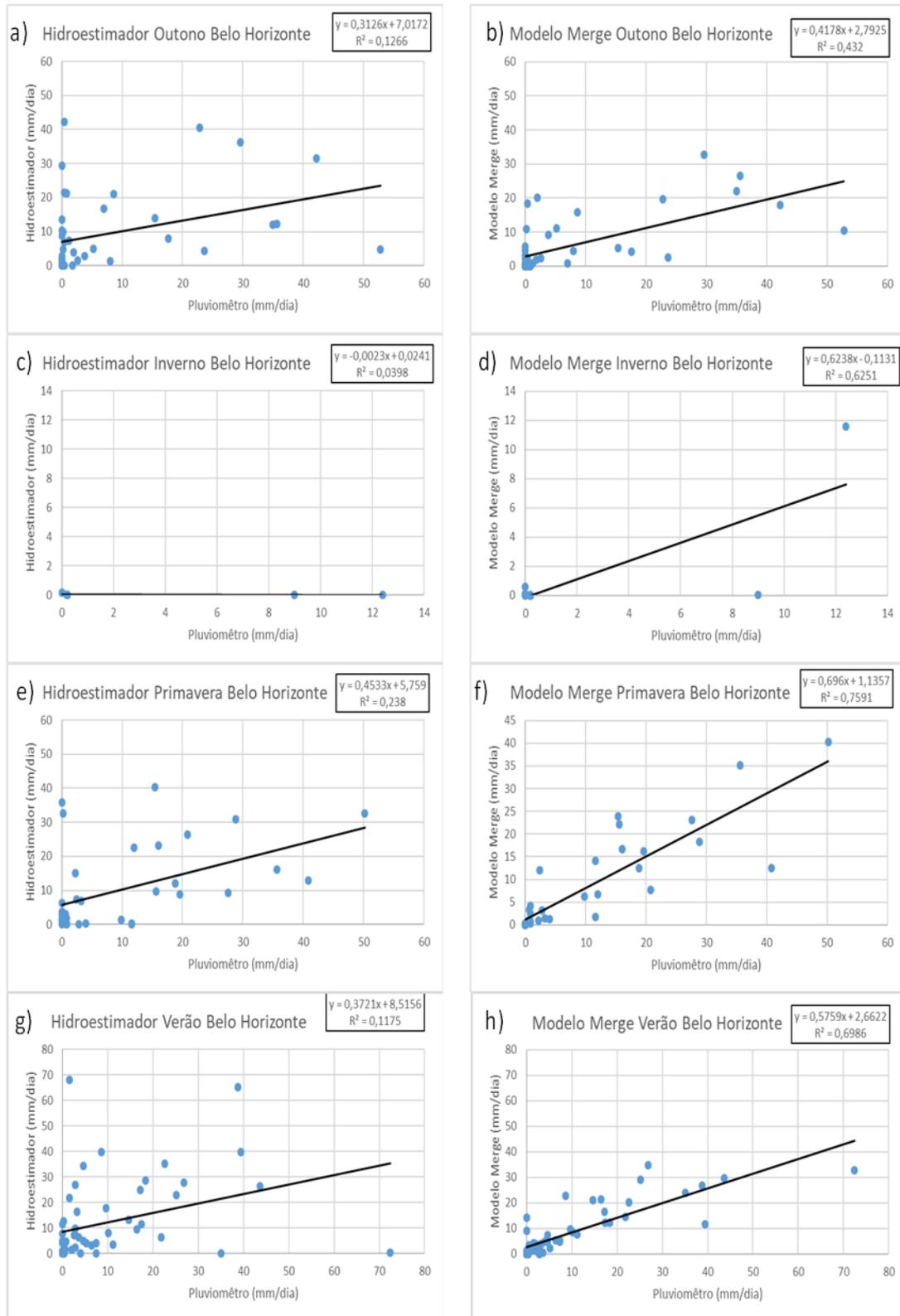


Figura 18: Relação de dispersão entre a precipitação diária (mm/dia) estimada pelo Hidroestimador e MERGE em função da precipitação medida pelo pluviômetro instalado na cidade de Belo Horizonte para: a) outono, b) inverno, c) primavera e d) verão.

Tabela 8: Estatísticas sazonais do raiz do quadrado médio do erro (RQME), correlação de Pearson (r), VIES, BIAS, índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho (c) para a precipitação do Hidroestimador e MERGE em relação ao pluviômetro instalado na cidade de Belo Horizonte.

		Belo Horizonte					
		RQME	r	VIES	BIAS	d	c
Outono	Hidro	14,22	0,36	1,92	0,26	0,11	0,04
	Merge	9,77	0,66	-1,24	-0,18	0,45	0,29
Inverno	Hidro	5,11	-0,20	-2,49	-0,99	0,17	-0,03
	Merge	2,42	0,79	-0,72	-0,45	0,64	0,51
Primavera	Hidro	12,68	0,49	0,40	0,04	0,10	0,05
	Merge	6,57	0,87	-1,69	-0,18	0,75	0,65
Verão	Hidro	17,09	0,34	2,72	0,29	0,40	0,14
	Merge	8,16	0,84	-1,32	-0,14	0,68	0,57

Na Tabela 9 mostra as estatísticas para a cidade de Governador Valadares. Em relação ao índice c para o MERGE há uma melhora para o inverno (0,93) e verão (0,97) e piora para o outono (0,83) e primavera (0,86). Esses resultados fazem com que o desempenho do outono seja considerado muito bom, enquanto as outras estações se enquadram em ótimo e no caso do Hidroestimador há uma melhora para o outono (0,22) e verão (0,18), porém o desempenho continua classificado como péssimo. As demais estatísticas demonstram, novamente a superioridade do MERGE em relação ao Hidroestimador, como o caso do RQME no outono em que o Hidroestimador apresenta valor de 18,59 enquanto o MERGE apresenta valor de 2,10.

O coeficiente r para a cidade de Governador Valadares tem desempenho quase perfeito no MERGE para todas as estações, apresentando seu menor valor no outono (0,94) e maior valor no verão (0,99). Já o Hidroestimador apresenta maior valor no verão (0,62) considerado de alto desempenho e menor valor no verão (0,24) considerado de baixo desempenho.

Analisando a Figura 19, tem-se um fortalecimento dos resultados anteriores, no qual é observado um desempenho quase perfeito para o MERGE considerando a dispersão em que os valores de R^2 estão acima de 0,88 (outono) e os valores plotados se encontram próximos a linha de tendência.

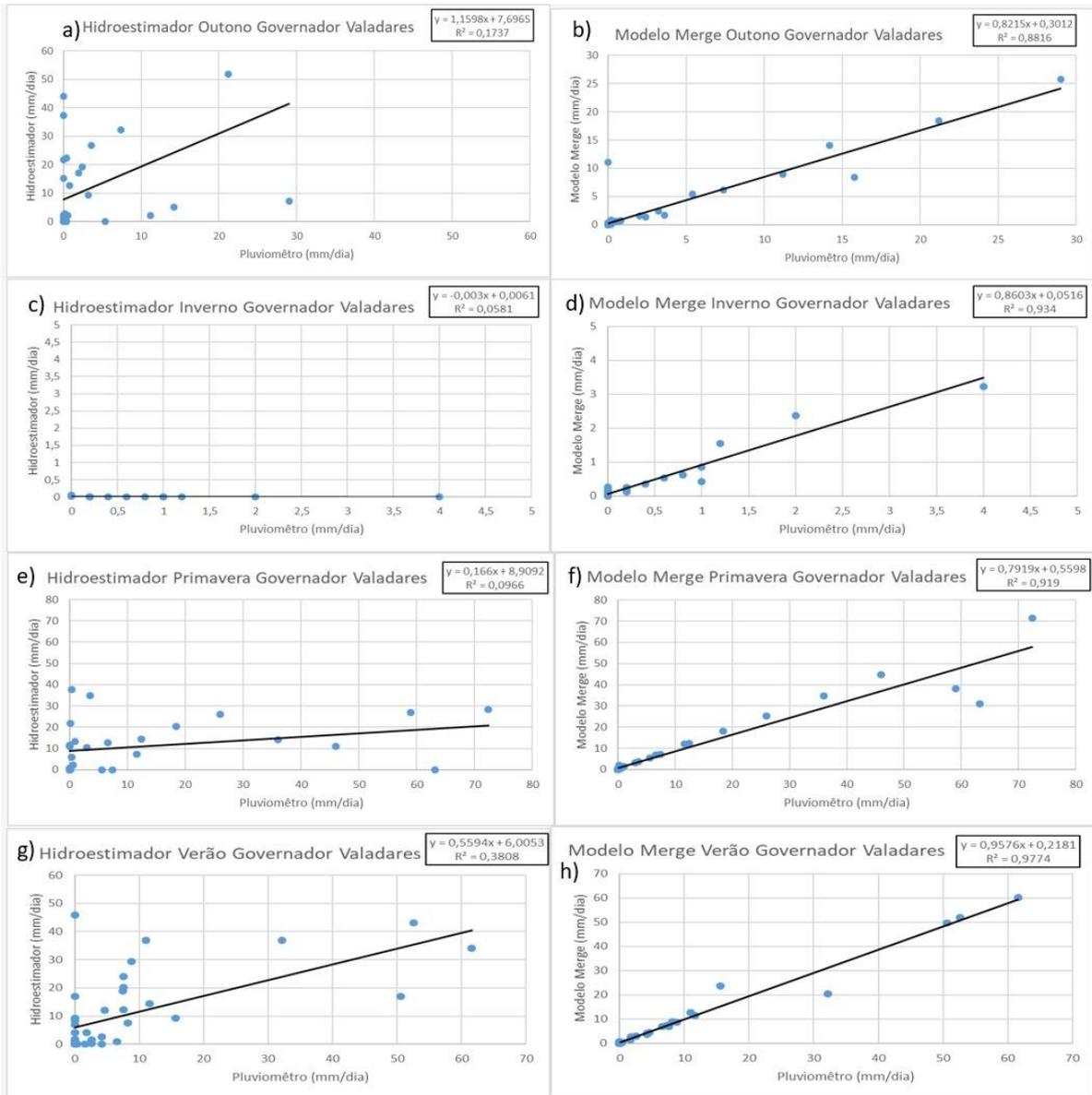


Figura 19: Relação de dispersão entre a precipitação diária (mm/dia) estimada pelo Hidroestimador e MERGE em função da precipitação medida pelo pluviômetro instalado na cidade de Governador Valadares para: a) outono, b) inverno, c) primavera e d) verão.

Tabela 9: Estatísticas sazonais doraiz do quadrado médio do erro (RQME), correlação de Pearson (r), VIES, BIAS, índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho (c) para a precipitação do Hidroestimador e MERGE em relação ao pluviômetro instalado na cidade de Governador Valadares.

		Governador Valadares					
		RQME	r	VIES	BIAS	d	c
Outono	Hidro	18,59	0,42	8,21	2,55	0,53	0,22
	Merge	2,10	0,94	-0,15	-0,06	0,89	0,83
Inverno	Hidro	1,21	-0,24	-0,73	-0,99	0,12	-0,03
	Merge	0,22	0,97	-0,01	-0,02	0,96	0,93
Primavera	Hidro	20,82	0,31	-2,23	-0,17	0,06	0,02
	Merge	5,75	0,96	-1,17	-0,14	0,90	0,86
Verão	Hidro	12,55	0,62	2,65	0,35	0,30	0,18
	Merge	2,06	0,99	-0,05	-0,01	0,98	0,97

A Tabela 10 apresenta as estatísticas sazonais para Mocambinho. Importante ressaltar que para o inverno e para esta cidade não houve valores consideráveis para calcular as estatísticas. Com relação ao índice c apenas o verão (0,98) apresentou melhora se comparado ao desempenho anual (0,80) para o modelo MERGE podendo ser classificado como ótimo. O Hidroestimador apresentou melhora em todas as estações analisadas (0,47; 0,20; 0,08 para o outono, primavera e verão, respectivamente), porém apenas o outono pode ser considerado como baixo desempenho, enquanto os outros meses continuam com classificação de péssimo desempenho.

As demais estatísticas comprovam a superioridade do MERGE sobre o Hidroestimador, como na primavera para o VIES, em que o Hidroestimador apresenta valor de 8,39, superestimando a precipitação. Enquanto o MERGE apresenta valor de -0,47, subestimando a precipitação em menor escala se comparado ao outro modelo.

O coeficiente r apresenta valores altos para a primavera (0,74) e verão (0,70) e baixo para o outono (0,27) para o Hidroestimador, enquanto o modelo MERGE apresenta valores altos para as três estações podendo ser considerado de desempenho quase perfeito para o outono (0,92) e verão (0,99) e alto para a primavera (0,85). A Figura 20 confirma as afirmações anteriores sobre a dispersão.

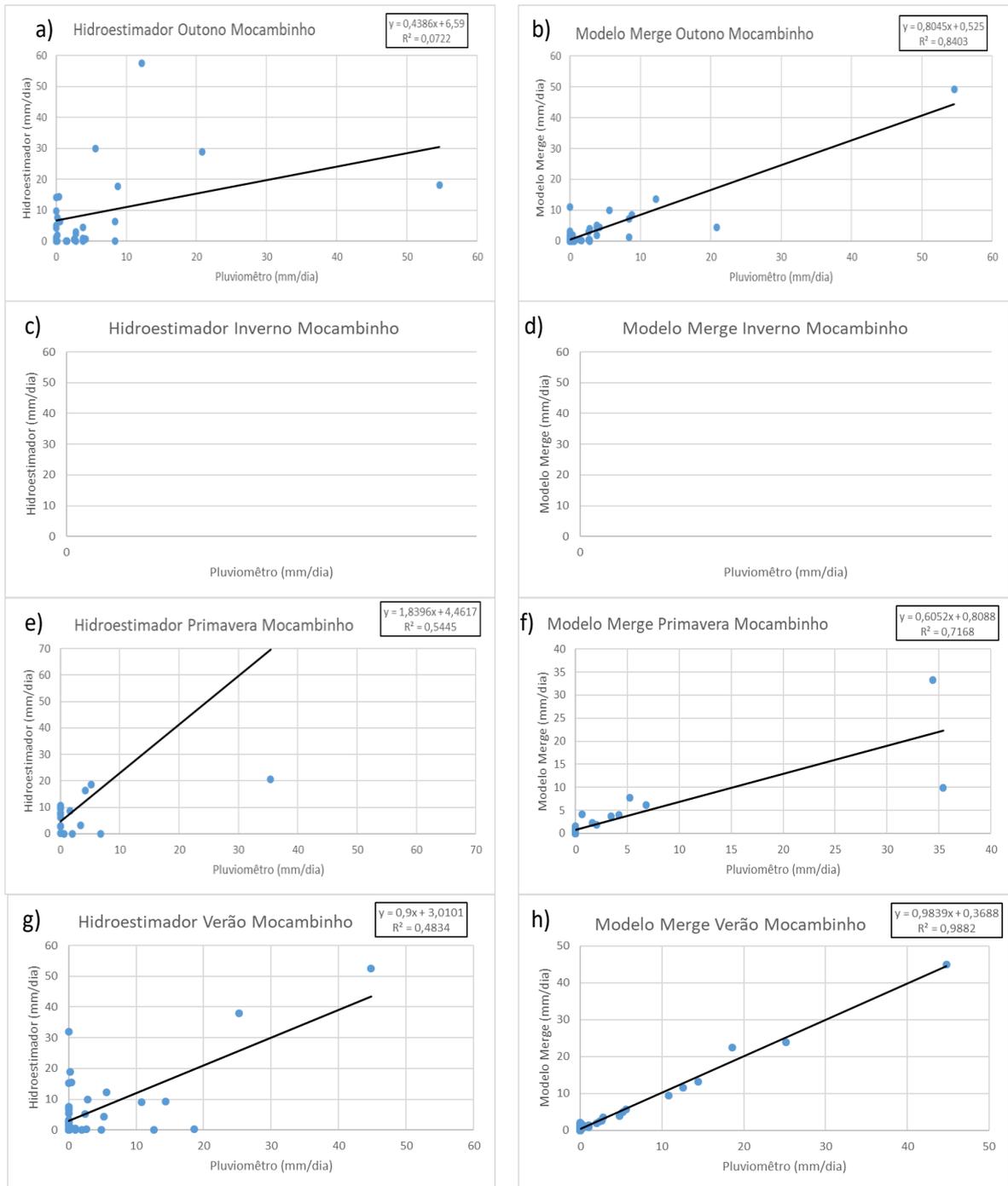


Figura 20: Relação de dispersão entre a precipitação diária (mm/dia) estimada pelo Hidroestimador e MERGE em função da precipitação medida pelo pluviômetro instalado na cidade de Mocambinho para: a) outono, b) inverno, c) primavera e d) verão.

Tabela 10: Estatísticas sazonais do raiz do quadrado médio do erro (RQME), correlação de Pearson (r), VIES, BIAS, índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho (c) para a precipitação do Hidroestimador e MERGE em relação ao pluviômetro instalado na cidade de Mocambinho.

		Mocambinho					
		RQME	r	VIES	BIAS	d	c
Outono	Hidro	16,31	0,27	4,27	1,04	1,74	0,47
	Merge	3,34	0,92	-0,07	-0,02	0,85	0,78
Inverno	Hidro	Não há valores					
	Merge	Não há valores					
Primavera	Hidro	21,05	0,74	8,39	1,79	0,28	0,20
	Merge	4,85	0,85	-0,47	-0,14	0,71	0,60
Verão	Hidro	8,49	0,70	2,62	0,68	0,11	0,08
	Merge	0,92	0,99	0,32	0,10	0,99	0,98

Por fim, a Tabela 11 apresenta as estatísticas para a cidade de Uberlândia. Ao considerar o MERGE, há uma melhora no índice c para o inverno (0,85) e primavera (0,94) e uma diminuição no outono (0,41) e verão (0,76) se comparado ao valor anual (0,77). Enquanto para o Hidroestimador todas as estações apresentam piora no desempenho, considerado péssimo anteriormente e se mantendo nessa categoria. As demais estatísticas demonstram a superioridade do MERGE sobre o Hidroestimador, como por exemplo o RQME para o verão, onde o Hidroestimador apresenta um erro de 20,74mm enquanto o MERGE apresenta um erro de apenas 5,88mm.

O coeficiente c, como nas outras cidades, apresenta melhores valores para o MERGE, em destaque para o inverno em que o valor encontrado foi de 1,00, sendo possível considerar que o modelo se equiparou com o pluviômetro com perfeição. Já o Hidroestimador apresenta valores menores, sendo o maior valor de r na primavera (0,57). A figura 21 reforça o que foi afirmado anteriormente, mostrando que os valores plotados estão próximos a linha de tendência e R^2 próximos a 1,00, com exceção do outono em que tanto o valor de r (0,76) como R^2 (0,57) são menores se comparados as outras estações, porém ainda apresentam desempenho muito alto.

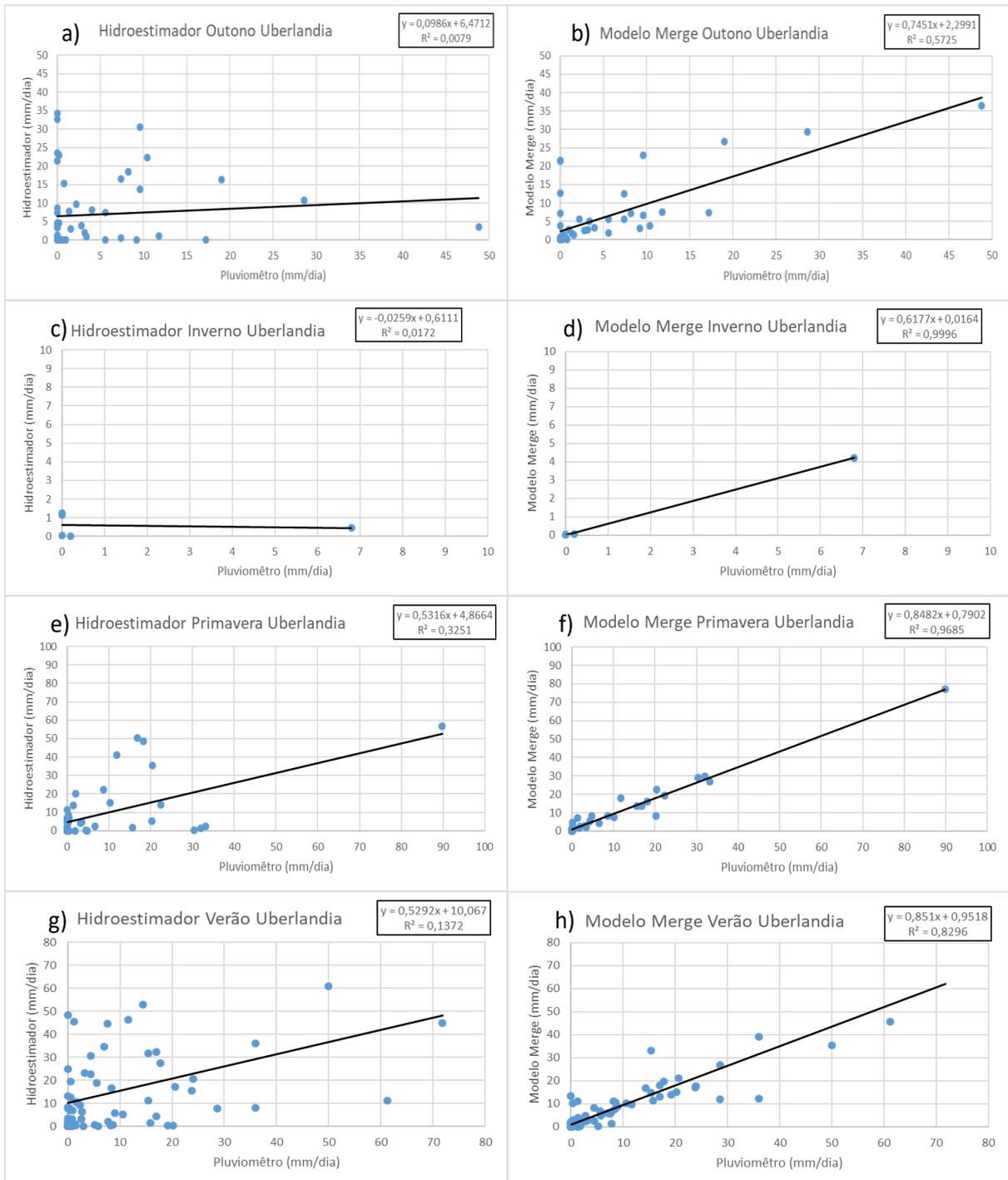


Figura 21: Relação de dispersão entre a precipitação diária (mm/dia) estimada pelo Hidroestimador e MERGE em função da precipitação medida pelo pluviômetro instalado na cidade de Uberlândia para: a) outono, b) inverno, c) primavera e d) verão.

Tabela 11: Estatísticas sazonais do raiz do quadrado médio do erro (RQME), correlação de Pearson (r), VIES, BIAS, índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho (c) para a precipitação do Hidroestimador e MERGE em relação ao pluviômetro instalado na cidade de Uberlândia.

		Uberlândia					
		RQME	r	VIES	BIAS	d	c
Outono	Hidro	12,21	0,09	2,78	0,68	0,96	0,09
	Merge	6,14	0,76	1,13	0,24	0,54	0,41
Inverno	Hidro	2,94	-0,13	-0,83	-0,59	0,06	0,01
	Merge	1,16	1,00	-0,52	-0,37	0,85	0,85
Primavera	Hidro	14,22	0,57	0,96	0,11	0,22	0,13
	Merge	3,41	0,98	-0,45	-0,05	0,95	0,94
Verão	Hidro	20,74	0,37	5,66	0,61	0,1	0,04
	Merge	5,88	0,91	-0,44	-0,05	0,84	0,76

5. CONCLUSÃO

No presente trabalho foram avaliados a distribuição espacial e temporal de precipitação e comparado as estimativas de precipitação por satélites e estações de superfície para o Estado de Minas Gerais para o ano de 2019. Foram utilizados a precipitação diária proveniente das estimadas dos algoritmos Hidroestimador e MERGE, e medidas de precipitação provenientes de cinco pluviômetros instalados em diferentes localidades no Estado de Minas Gerais.

Os resultados da distribuição espacial anual da precipitação mostraram que há superestimativa do Hidroestimador em relação ao MERGE (considerando o MERGE como sendo a referência) na maioria do Estado. Os máximos de precipitação para os dois modelos ocorrem na região do Triângulo Mineiro e sul de MG, enquanto os mínimos ocorrem a leste e sul do estado.

Os resultados da distribuição mensal da precipitação mostraram que o verão possui maior precipitação anual, enquanto o inverno possui precipitação baixa ou nula, para os dois modelos. Com exceção de junho, julho, agosto, setembro e outubro, na maior parte do Estado há superestimativa do Hidroestimador em relação ao MERGE. A cidade de Uberlândia (Governador Valadares) foi a que apresentou maior (menor) precipitação mensal tanto nos modelos quanto na observação.

Os resultados da distribuição diária da precipitação mostraram que o MERGE apresentou valores mais próximos aos registrados pelos pluviômetros nas cinco cidades do que o Hidroestimador, principalmente nas cidades de Governador Valadares e Mocimbinho. A cidade de Itajubá há picos de subestimativa e superestimativa para os dois modelos durante todo o ano, não possuindo um padrão bem definido.

Para Itajubá o modelo MERGE se caracteriza como péssimo na análise anual e sofrível na primavera quando analisado separadamente, porém é recomendado que seja utilizado outro método para estimar precipitação na região. Para Belo Horizonte o modelo Merge foi classificado como sofrível, sendo considerado mediano na primavera e péssimo para o outono, outro modelo pode representar melhor a precipitação na região. Essa classificação pode ter sido afetada devido ao erro documentado no inverno que é próximo da região em questão. Governador Valadares teve o melhor desempenho para o modelo Merge, sendo considerado perfeito para a região, o modelo tem uma piora para o outono e primavera, porém continua sendo muito bom para a região. Mocimbinho e Uberlândia tem

desempenho muito bom para o modelo MERGE, sendo quase perfeito para o verão em Mocambinho e para a primavera em Uberlândia. Porém para o outono em Uberlândia o modelo não é recomendado, já que seu desempenho é considerado mau. O que também acontece para a primavera de Mocambinho, onde o desempenho é considerado sofrível.

De maneira geral a comparação entre as estimativas de precipitação do Hidroestimador e MERGE em relação aos pluviômetros mostraram que o MERGE possui significativa superioridade em relação ao Hidroestimador. Esses resultados mostram que a combinação de informações em micro-ondas e estações de superfície (como é o caso do MERGE) podem melhorar de maneira significativamente a estimativa de precipitação devido ao fato de considerar dados anteriores do local em que a estimativa está sendo feita e um melhor detalhamento da microfísica das nuvens (como é o caso da interação da radiação em micro-ondas com os hidrometeoros).

Para trabalhos futuros recomenda-se avaliar uma maior quantidade de pluviômetros para outros municípios do Estado de Minas Gerais. Além disso, torna-se interessante expandir a análise para um período maior de dados e simultaneamente avaliar outros algoritmos de estimativa de precipitação existentes na atualidade.

6. REFERÊNCIAS

ABE, C. A., & NOVO, E. M. L. DE M. Comparação entre dados de precipitação do TRMM e do MERGE/CPTEC para uma bacia da região amazônica. Anais Do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1748–1751, 2019.

ARAÚJO, Rayana Santos. Classificação Climatológica Das Nuvens Precipitantes No Nordeste Brasileiro Utilizando Dados Do Radar A Bordo De Um Satélite TRMM. 2015. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), [S. l.], 2015.

BARRERA, D.F. “The generation of synthetic brightness temperature images to improve rainfall estimation from GOES satellite”, in Proceedings of Predictions in Ungauged Basins: PUB Kick-off, IAHS Publication No 309, c.13, pp. 113-120. Brasília, Brasil, 2005.

BARRERA, D.F. Análisis comparativo de los mapas de precipitación obtenidos a partir de datos pluviométricos y de estimaciones satelitales, in Actas do IX Congreso Nacional de Meteorología, Buenos Aires, 2005.

CAMARGO, A. P; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMPOS, B., CALHEIROS, A., CARVALHO, V. S. B. A influência dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis em eventos extremos de precipitação na Bacia do Rio Sapucaí, MG. In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Gramado, 2012.

COLLISCHONN, B., ALLASIAM D., COLLISCHONN, W., TUCCI, C. E. M. T. 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, Bruno et al. Desempenho do Satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai Superior. Revista Brasileira de Cartografia, Porto Alegre, p. 93-99, abr. 2007.

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

CPTEC. DSA: Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais. Precipitação Estimada por Satélite. Disponível em: <http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/>. Acesso em: 04 nov. 2020.

DAMÉ, R. C. F. *Desagregação de precipitação diária para estimativa de curvas Intensidade-Duração-Frequência*. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre, RS. 131f, 2001.

GONÇALVES, LIDIANE SOUZA. Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite. 2011. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, [S. l.], 2011.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA (Série Biodiversidade), 2007, v.26, 2. Ed.

MARENGO, J. A., ALVES, L. M., ALVALA, R. C. S., CUNHA, A. P., CRITO, S., MORAES, O. L. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, p. 1973-1985, 2018.

MARENGO, J. A., TOMASELLA, J., SOARES, W. R., ALVES, L. M., NOBRE, C. A. Extreme climatic events in the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 107, p. 73-85, 2012.

MARTINS, F. B., GONZAGA, G., SANTOS, D. F., REBOITA, M. S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 14, p. 129-156, 2018.

MATTOS, E.V. Notas de aula CAT010 - Aplicações dos Satélites em Ciências Atmosféricas. CAP07 - Estimativa de precipitação. Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais – Brasil, 2019.

MELLO, Carlos Rogério de; VIOLA, Marcelo Ribeiro. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, Lavras, p. 37-44, nov. 2012.

NESBITT, S. W.; ZIPSER, E. J. *The diurnal cycle of rainfall and convective intensity according to three years of TRMM measurements*. J. Climate, 16, 1456–7154, 2003.

ODA, Paula Sayeko Souza. Características dos relâmpagos totais no Brasil estimados pelo satélite GOES-16. 2019. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.

OSCAR. Observing Systems Capability Analysis and Review Tool. Disponível em: <<https://www.wmo-sat.info/oscar/satellites>>. Acesso em: 04 de nov. de 2020.

PALHARINI, Rayana Santos Araujo et al. Assessment of the extreme precipitation by satellite estimates over South America. Remote Sens, Remote Sens, p. 1-26, jun. 2020.

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

REBOITA, M. S., GAN, M. A., ROCHA, R. P., AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

REBOITA, M. S., MARIETTO, D. M. G., SOUZA, A., BARBOSA, M. Caracterização atmosférica quando da ocorrência de eventos extremos de precipitação na região sul de Minas Gerais. Revista Brasileira de Climatologia, v. 21, p. 20-37, 2017.

REBOITA, M. S., RODRIGUES, M., ARMANDO, R. P., FREITAS, C., MARTINS, D., MILLER, G. Causas da semiaridez do sertão nordestino. Revista Brasileira de Climatologia, v. 19, p. 254-277, 2016.

REBOITA, M. S., RODRIGUES, M., SILVA, L. F., ALVES, M. A. Aspectos climáticos do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 17, p. 206-226, 2015.

REBOITA, M. S., SILVA, B. C., VITORIANO, M. Modelos de regressão aplicados à previsão de nível fluviométrico no Rio Sapucaí em Itajubá - MG. *Anuário do Instituto de Geociências do Rio de Janeiro*, v.3, p. 217-229, 2019.

ROZANTE, José Roberto; MOREIRA, Demerval Soares; GONCALVES, Luis Gustavo G. de; VILA, Daniel A.. Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: technique and validation over south america. *Weather And Forecasting*, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 885-894, 1 jun. 2010.

SCOFIELD, R.A. Comments on A quantitative assessment of the NESDIS AutoEstimador. *Weather and Forecasting* (16), pp. 277-278, 2001.

SOUSA, Rafaela. "Tipos de precipitação"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/tipos-precipitação.htm>. Acesso em 16 de outubro de 2020.

TORRES, Francisca Lanai Ribeiro et al. Validação de diferentes bases de dados de precipitação nas bacias hidrográficas do Sapucaí e São Francisco. *Revista Brasileira de Climatologia*, V.17, p. 368-404, 2020.

VICENTE, G. A.; SCOFIELD, R. A.; MENZEL, W. P. The operational goes infrared rainfall estimation technique. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 79, n. 9, p. 1883–1898, 1998.

VICENTE, G.; SCOFIELD, R.; MENZEL, P. The operational GOES infrared rainfall estimation technique. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79, pp. 1883-1898, 1998.

VICENTE, G.A., FERREIRA, M.E. Estimativa de precipitação via satélite para estudo de tempo e clima: avanços e perspectivas. X Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília, Brasil, 1998.

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

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; ROWE, C. M.; O'DONNELL, J. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Ottawa, v.90, n.C5, p.8995-9005, 1985.