

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS - MG

Instituto de Ciências da Natureza

Curso de Geografia - Licenciatura

ANDRÉ PAULO RIBEIRO JUNIOR

**ACURÁCIA DA PRECIPITAÇÃO DE BASE ORBITAL NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RESERVATÓRIO DE
FURNAS**



Alfenas - MG

2019

ANDRÉ PAULO RIBEIRO JUNIOR

**ACURÁCIA DA PRECIPITAÇÃO DE BASE ORBITAL NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RESERVATÓRIO DE
FURNAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de **Licenciado** em Geografia, pelo Instituto de Ciências da Natureza da Universidade Federal de Alfenas, sob orientação do Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Latuf.

Alfenas - MG
2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Latuf
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)
Orientador

Prof. Dr. Lucas Barbosa e Souza
Universidade Federal do Tocantins (UFT)

Prof. Dr. Márcio Abondanza Vitiello
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)

Alfenas (MG), 15/07/2019

Resultado

EPÍGRAFE

“Buscai, em primeiro lugar, o Reino de Deus e sua justiça, e todas as coisas vos serão acrescentadas” - São Mateus 6,33.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais André Paulo Ribeiro e Rosângela Pereira da Silva Ribeiro, sem o qual não teria me formado a pessoa que sou e por todo incentivo à minha formação profissional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus dono de toda a sabedoria, por ter me sustentado e encorajado diante dos diversos medos e dificuldades durante o período de graduação e na elaboração do trabalho.

Ao meu orientador Professor Doutor Marcelo de Oliveira Latuf pelo incentivo, paciência, cooperação, por acreditar em mim e passar seus ensinamentos durante toda a graduação e em especial nos momentos da produção deste trabalho.

Aos meus pais, André Paulo Ribeiro e Rosângela Pereira da Silva Ribeiro, pela força e incentivo em minha caminhada, sendo a fortaleza durante os momentos difíceis e aos meus irmãos Rafael Cícero da Silva e Andressa Keny da Silva Ribeiro.

À minha avó paterna, Ana Rosa Ribeiro, mulher guerreira, batalhadora que me ensinou com seu jeito simples a persistir em busca dos meus sonhos, sendo exemplo de determinação e fé.

A Comunidade Católica Doce Consolo, irmãos que o próprio Deus me presenteou, que são sustento e me incentivam a buscar e zelar pela verdade e deram força durante a elaboração deste trabalho em especial a Adrielle Diniz e Magda Calheiros.

Aos meus colegas da graduação, que proporcionaram momentos de alegrias e aprendizado durante todo os anos de graduação, em especial a amizade construída durante o caminho de Tatiana Carvalho Silva, Thais de Cássia Silva Lemos e José Matheus Salomão Cândido que me apoiaram e foram suporte na caminhada acadêmica.

Ao corpo docente do curso de Geografia, por todo ensinamento que foi construído e transmitido durante aos 4 anos de graduação, em especial Professora Doutora Sandra de Castro de Azevedo que proporcionou momentos ricos na área de ensino, encorajando e incentivando a busca por uma educação de qualidade.

Enfim, a todos que rezaram e torceram por mim, minha gratidão.

RESUMO

A precipitação líquida é uma das variáveis do balanço hídrico que apresenta maior variabilidade espacial, sendo a principal entrada de energia no sistema bacia hidrográfica, deste modo, deve ser monitorada bem como compreendida. Com o avanço das tecnologias orbitais iniciou-se a detecção de precipitação via satélite, principalmente em áreas que apresentam bacias de grande porte, como é o caso do Brasil, contudo, tais ferramentas precisam ser avaliadas no que tange a sua acurácia. A bacia hidrográfica do reservatório de Furnas é parte integrante da bacia do Paraná e é de suma importância para a região sul mineira, principalmente nas áreas de piscicultura, irrigação, eletricidade, abastecimento urbano e lazer. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a acurácia do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* na detecção de precipitação líquida na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas no sul do estado de Minas Gerais, no período da normal climatológica de 1981 a 2010, segundo a recomendação do Instituto Nacional de Meteorologia. A metodologia baseou-se na aquisição e tratamento de dados pluviométricos convencionais e de base orbital. Os dados pluviométricos convencionais foram adquiridos através do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional das Águas e os dados de precipitação orbital através do site do *Climate Hazards Group*. A avaliação da acurácia foi realizada em função da análise dos erros absoluto, relativo e raiz do erro médio quadrático e das correlações de Pearson e do coeficiente de determinação. Resultados demonstram que a precipitação de base orbital do satélite CHIRPS na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas apresentam dados superestimados e subestimados em locais próximos a relevos acidentados e, principalmente, no período de maior incidência pluviométrica.

Palavras-chaves: CHIRPS; postos pluviométricos; sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The precipitation is one of the variables of water balance that presents greater spatial variability, being the main entrance of energy in the hydrographic basin system, therefore, must be monitored as well as understood. With the advancement of the orbital technologies the detection of satellite precipitation has begun, especially in areas with large basins, such as Brazil, however, such tools need to be evaluated for their accuracy. The Furnas reservoir watershed is an integral part of the Paraná river basin and has a main importance to the southern region of Minas Gerais, especially in the areas of psychology, irrigation, electricity, urban supply and leisure. In this context, the present work had the objective of evaluating the accuracy of the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations in the detection of liquid precipitation in the Furnas reservoir watershed in the south of Minas Gerais State during the period of the climatological normal from 1981 to 2010, according to the recommendation of the National Institute of Meteorology. The methodology was based on the acquisition and treatment of conventional and orbital pluviometric data. Conventional rainfall data were acquired through the Hydrological Information System of the Brazilian National Water Agency and the orbital precipitation data through the Climate Hazards Group website. The accuracy assessment was performed based on the error analysis of the absolute, relative and root mean square error, the Pearson correlations and the coefficient of determination. Results show that the orbital precipitation of the CHIRPS satellite in the Furnas reservoir watershed presents overestimated and underestimated data in locations close to rough terrain and, especially, in the period of higher rainfall incidence.

Keywords: CHIRPS; rain gauge; remote sensing.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	10
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE SIGLAS	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. JUSTIFICATIVA	15
3. OBJETIVOS	19
3.1. OBJETIVO GERAL.....	19
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
4.1. PRECIPITAÇÃO SOB A ÓTICA DA TEORIA GERAL DOS SISTEMAS.....	19
4.2. PRECIPITAÇÃO.....	22
4.2.1. Convectivas.....	24
4.2.2. Orográficas.....	25
4.2.3. Frontais ou Ciclônicas.....	26
4.3. MEDIDAS DE PRECIPITAÇÃO.....	27
4.3.1. Medições em superfície.....	28
4.3.2. Medições por sensoriamento remoto.....	33
5. MATERIAIS E MÉTODOS	37
5.1. ÁREA DE ESTUDO.....	37
5.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	39
5.3. AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTOS DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	40
5.3.1. Dados pluviométricos convencionais.....	40
5.3.2. Dados pluviométricos de base orbital.....	43
5.4. AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA.....	44

5.5. REGIONALIZAÇÃO DA ACURÁCIA	46
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
6.1. ERRO ABSOLUTO	51
6.2. ERRO RELATIVO	56
6.3. RAIZ DO ERRO MÉDIO QUADRÁTICO	61
6.4. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R)	66
6.5. COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R ²).....	71
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Interpolação dos postos pluviométricos da Agência Nacional das Águas	16
Figura 2 - Os principais tipos de nuvens	23
Figura 3 - Nuvem do tipo Cúmulo.....	24
Figura 5 - Frente fria.....	27
Figura 6 - Detalhe do coletor de um pluviômetro.....	29
Figura 7 - Pluviômetro de Hemann	29
Figura 8 - Pluviômetro <i>Ville de Paris</i>	29
Figura 9 - Pluviômetros totalizadores com coletor intercambiável de 150cm ² e 750cm ² de área de captação	30
Figura 10 - Pluviógrafo de bóia.....	31
Figura 11 - Pluviógrafo de balança.	32
Figura 12 - Pluviógrafo basculante.....	32
Figura 13 - Satélite TRMM	36
Figura 14 - Localização da bacia do reservatório de Furnas na bacia do rio Grande.....	38
Figura 15 - Fluxograma metodológico do estudo.....	40
Figura 16 - Localização das estações pluviométricas convencionais.....	43
Figura 17 – Gráfico de caixas (boxplot).....	46
Figura 18 - Classes altimétricas da bacia hidrográfica do reservatório de Furnas	47
Figura 19 - Massas de ar que atuam no Brasil (verão e inverno)	49
Figura 20 - Perfis topográficos na bacia do reservatório de Furnas	50
Figura 21 - Erro absoluto das precipitações mensais (1981 a 2010).....	51
Figura 22 - Erro absoluto médio sazonal (1981 a 2010)	52
Figura 23 - Erro absoluto médio mensal na bacia do reservatório de furnas (1981 a 2010)....	53
Figura 24 - Interpolação do erro absoluto mensal na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas (1981 a 2010).....	55
Figura 25 - Interpolação do erro absoluto médio mensal (1981 a 2010).....	56
Figura 26 - Erro relativo das precipitações mensais (1981 a 2010)	57
Figura 27 - Erro relativo médio mensal (1981 a 2010)	58
Figura 27 - Interpolação do erro relativo mensal na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas (1981 a 2010).....	60
Figura 28 - Interpolação do erro relativo médio mensal (1981 a 2010).....	61

Figura 29 - Raiz do erro médio quadrático das precipitações mensais (1981 a 2010).....	62
Figura 30 - Média da raiz do erro médio quadrático médio (1981 a 2010).....	63
Figura 31 - Interpolação da raiz do erro médio quadrático mensal na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas (1981 a 2010).....	64
Figura 32 - Raiz do erro médio quadrático médio mensal (1981 a 2010).....	66
Figura 33 - Coeficiente de correlação de Pearson das precipitações mensais (1981 a 2010) ..	67
Figura 34 - Média mensal da correlação de Pearson (1981 a 2010).....	68
Figura 35 - Interpolação dos dados de coeficiente de correlação de Pearson na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas (1981 a 2010)	69
Figura 37 - Coeficiente de determinação das precipitações mensais (1981 a 2010).....	71
Figura 38 - Média mensal do coeficiente de determinação (1981 a 2010).....	72
Figura 39 - Interpolação dos dados de coeficiente de determinação na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas (1981 a 2010).....	74
Figura 40 - Interpolação da média mensal do coeficiente de determinação (1981 a 2010)	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Lista de estações pluviométricas utilizadas.....	41
Tabela 2 - Desvios padrões mensais do erro absoluto na bacia do reservatório de Furnas (1981 a 2010).....	54
Tabela 3 - Desvios padrões mensais do erro relativo na bacia do reservatório de Furnas (1981 a 2010).....	59
Tabela 4 - Desvios padrões mensais da raiz do erro médio quadrático na bacia do reservatório de Furnas (1981 a 2010).....	63
Tabela 5 - Desvios padrões mensais da correlação de Pearson na bacia do reservatório de Furnas (1981 a 2010).....	68
Tabela 6 - Desvios padrões mensais do coeficiente de determinação na bacia do reservatório de Furnas (1981 a 2010).....	73

LISTA DE SIGLAS

ANA - Agência Nacional das Águas
CHIRPS - *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations*
CHG - *Climate Hazards Group*
CMORPH - *Climate Prediction Center Morphing Technique*
EA - Erro Absoluto
ER - Erro Relativo
HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
JAXA - Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial
mEa - Massa Equatorial Atlântica
mEc - Massa Equatorial Continental
mPa - Massa Polar Atlântica
mTa - Massa Tropical Atlântica
mTc - Massa Tropical Continental
NASA - Agência Espacial Norte-Americana
OMM - Organização Meteorológica Mundial
PIRH - Plano Integrado de Recursos Hídricos
R - Correlação Pearson
 R^2 - Coeficiente de Determinação
RMSE - Raiz do Erro Médio Quadrático
TIROS - *Television Infrared Observation Satellite*
TRMM - *Tropical Rainfall Measuring Mission*
UCSB - *University of California, Santa Barbara*
USGS - *United States Geological Survey*

1. INTRODUÇÃO

A precipitação líquida é um elemento fundamental no ciclo hidrológico, ela é responsável por abastecer as bacias hidrográficas e as reservas hídricas subterrâneas. Sua ocorrência é de suma importância na geração de energia elétrica, no processo de irrigação de culturas, no abastecimento urbano e industrial, bem como em atividades de lazer e turismo. Além disso, a determinação da lâmina e intensidade de precipitação líquida é importante no controle de cheias e erosão do solo.

É notória a influência da precipitação nas diversas áreas da atividade humana, assim faz com que o monitoramento das lâminas precipitadas seja indispensável. Contudo, devido à sua variabilidade espacial e temporal, torna-se complexo seu monitoramento e quantificação de maneira eficaz em todas as regiões do Brasil.

Devido à sua importância, vários institutos e órgãos possuem o objetivo de monitorar e compreender os padrões pluviométricos. O monitoramento tradicional da precipitação é realizado por meio de pluviógrafos e pluviômetros calibrados e distribuídos em diversas regiões. No Brasil, os principais responsáveis pelo gerenciamento de redes meteorológicas públicas e disponibilização de dados são o Instituto Nacional de Meteorologia e a Agência Nacional das Águas.

Ainda que os pluviômetros e pluviógrafos sejam medidores que apresentem dados pontuais e diretos de precipitação, alguns fatores podem interferir na medição, influenciando diretamente nos resultados e na qualidade dos estudos que venham a utilizar tais dados. Esses fatores podem ser, dentre outros, a existência de fatores naturais inerentes à localidade do posto, a má distribuição de postos pluviométricos, a manutenção das estações automáticas, a influência do observador na observação e anotação, bem como a manipulação dos dados obtidos.

No Brasil, o monitoramento convencional acaba sendo ineficaz em determinadas regiões, principalmente no Norte e Nordeste do país, por isso, a partir da década de 1960 começam a avaliar a possibilidade da detecção de precipitação via sensores orbitais, buscando apresentar dados eficazes no que tange a detecção da precipitação, com um menor custo.

Para a utilização dos dados obtidos via sensores orbitais, faz-se necessário avaliar sua acurácia, uma vez que seus dados são estimados e podem conter erros, que necessitam ser quantificados e espacializados. Para tal, utilizam-se estatísticas de análise de erros (erro absoluto, relativo e a raiz do erro médio quadrático) e de correlação (correlação de Pearson e

coeficiente de determinação), além de análise espacial para averiguação de tais erros espacialmente.

Dentro deste contexto, enquadra-se o presente estudo, cujo objetivo foi avaliar o grau de acurácia do satélite *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS), na detecção de precipitação líquida na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas. A análise se deu a partir de dados pluviométricos convencionais disponibilizados pela Agência Nacional das Águas e pelos dados orbitais disponibilizados pelo *Climate Hazards Group*, no período da Normal Climatológica de 1981 a 2010 do Instituto Nacional de Meteorologia.

2. JUSTIFICATIVA

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos das diversas regiões do Brasil e do mundo, caracterizada por sua aleatoriedade espacial e temporal, sua importância deve-se às necessidades humanas e as consequências do que elas podem ocasionar, quando em excesso ou em deficiência, para os setores produtivos da sociedade, tanto do ponto de vista econômico (agricultura, irrigação, transporte, hidrologia, dentre outros) e ambiental, causando enchentes, secas, inundações, assoreamento dos rios, quedas de barreiras dentre outros (CALBETE et al., 2003).

Segundo Louzada (2016, p. 14) “o conhecimento da quantidade de precipitação em uma região é fundamental para o planejamento estratégico dos recursos hídricos e de todas as atividades que fazem uso desses recursos”, fornecendo contribuições em diversos estudos como: caracterização climatológica, balanço hídrico, irrigação de culturas, controle de inundações, monitoramento de secas, entre outros.

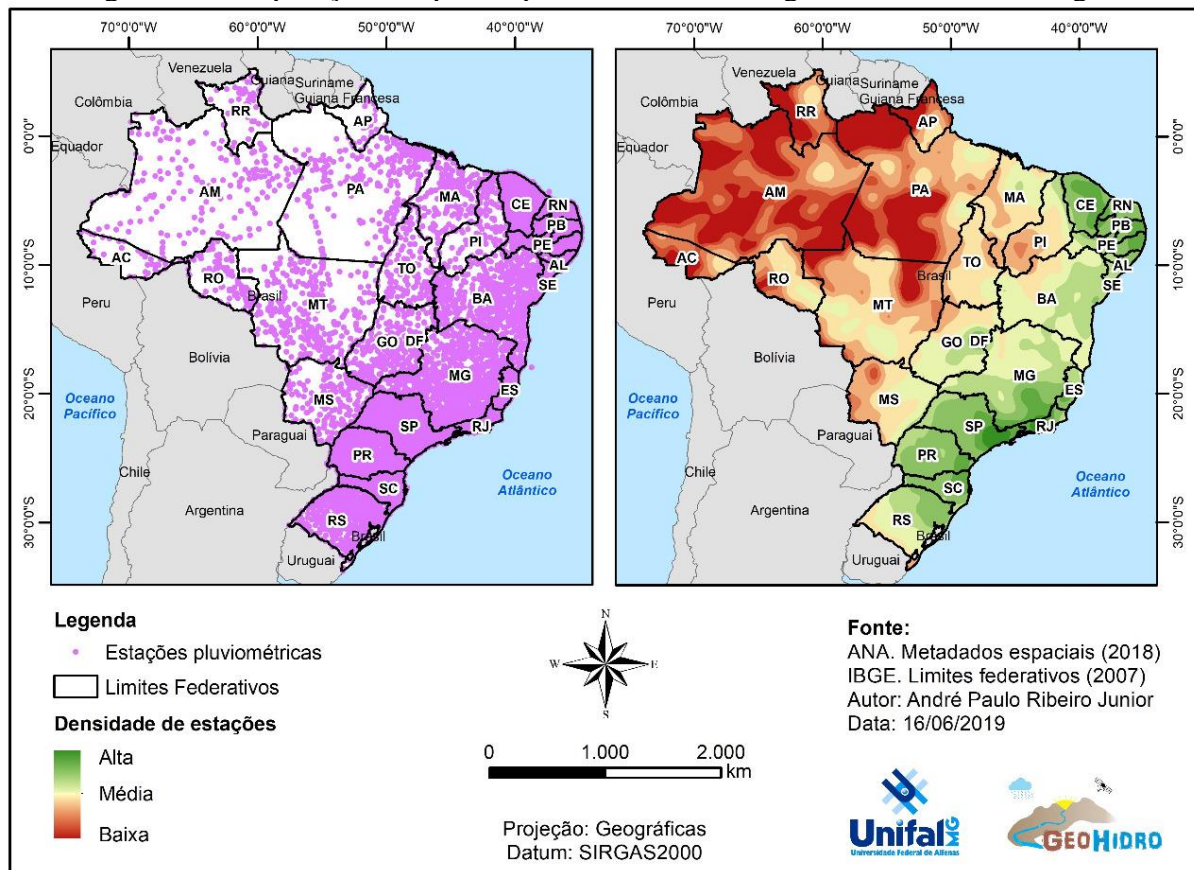
Como principal entrada no sistema bacia hidrográfica, a precipitação, necessita ser monitorada, bem como compreendida em sua dinâmica espaço-temporal. O conhecimento da intensidade e lâmina precipitada é essencial para a compreensão do ciclo dos fluxos globais de água e do balanço energético do sistema terrestre (SERRÃO et al., 2016 apud HOU et al., 2014). Enquanto a medição de precipitação em um determinado local, utilizando-se de instrumentos baseados na superfície é relativamente simples, o estabelecimento de uma rede de postos de observação sobre extensas regiões é complexo e oneroso, dada a variabilidade espacial e temporal, o tipo e a ocorrência da precipitação (NÓBREGA et al., 2008).

No Brasil, o monitoramento das precipitações é realizado por órgãos como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a Agência Nacional das Águas (ANA), além de diversos

órgãos das esferas governamentais. Contudo, as redes de monitoramento não atendem de forma satisfatória todas as regiões do território nacional, apresentando locais bem instrumentalizados (Centro-Sul), em contraponto a regiões com instrumentalização insatisfatória (Norte-Nordeste e parte do Centro-Oeste).

A Figura 1 regionaliza as 12.325 estações pluviométricas da ANA (2018) no Brasil, demonstrando onde se localizam as regiões com maior e menor número de estações pluviométricas por estado. Corroborando as informações supramencionadas, em que diversas regiões do Centro-Oeste e Norte-Nordeste carecem de estações pluviométricas.

Figura 1 - Interpolação dos postos pluviométricos da Agência Nacional das Águas



Fonte: O autor

Cabe destacar que os pluviômetros e pluviógrafos possuem área de captação reduzida, medindo pontualmente as chuvas de determinados locais, condição que é dificultada devido as complexas topografias existem em nosso país, podendo apresentar diversas falhas em seu monitoramento, como eventos chuvosos isolados que podem não ser captados pelos aparelhos e prejudicar nas análises de escoamento superficial e balanço hídrico (ALMEIDA, 2017).

Nesse contexto, com o avanço das tecnologias, os satélites têm contribuído significativamente com suas imagens para o monitoramento de precipitação, espacialmente e temporalmente. Tendo em vista essas características, nas últimas décadas os estudos com essas abordagens têm amadurecido, visto a disponibilidade de aquisição e melhor cobertura espacial de sensores em órbita, tornando-se uma ferramenta importante, principalmente em regiões que não contam com postos de monitoramento (LOUZADA, 2016).

Collischonn (2006) apresenta razões para se avaliar o uso do dado de chuva por satélite:

“no Brasil, existem várias bacias de grande porte, as quais são quase sempre caracterizadas por escassez de postos pluviométricos; regiões dessas bacias são, em boa parte, de difícil acesso, impossibilitando a medição de chuva ou mesmo de instalação de instrumentos” (COLLISCHONN. B., 2006, p. 4).

Deste modo, diversos trabalhos têm contribuído no que tange a utilização de satélites na captação de precipitação no Brasil como os de Collischonn et al., (2006), Araújo et al., (2007), Collischonn et al., (2007), Saldanha et al., (2007), Pereira et al., (2013), Louzada (2016), Gama (2016), Aires et al., (2016), Castelhana et al., (2017), Pereira et al., (2018), que visam estimar a precipitação por satélite buscando averiguar sobre a precisão e acurácia dos sensores para a realização das estimativas, contribuindo para a análise de precipitação em diversos estados e regiões do Brasil.

Os estudos supramencionados demonstram que a técnica de estimativa de precipitação via dados orbitais apresenta bom desempenho na medição das chuvas, contudo, deve sempre ser analisado com cautela, como é o caso de Louzada (2015, p.6650) em seu trabalho sobre análise de precipitação por satélite na bacia do rio Doce que conclui que “o TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) demonstra bom desempenho podendo ser utilizado para caracterizar a precipitação anual e totais anuais para esta bacia hidrográfica”.

Araújo et al. (2007) utilizaram o CMORPH (*Climate Prediction Center Morphing Technique*) e afirma que “as estimativas de chuva por satélite com a técnica CMORPH apresentam grande potencial para serem usadas em diversas aplicações hidrológicas”. Já Castelhana et al. (2017) analisaram três satélites, TRMM, *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS) e CMORPH e apontam que no recorte temporal mensal e anual, os satélites apontam uma correlação significativa, destacando o satélite CHIRPS com

um valor mensal de 0,86 e anual com um valor de 0,85, enquanto os demais sensores, os valores foram de 0,55 (TRMM) e 0,51 (CMORPH).

Estudos apontam que a estimativa de precipitação por satélite tem se mostrado benéfica, apresentando resultados significativos que auxiliam no planejamento hídrico de extensas áreas, como as bacias hidrográficas encontradas no Brasil, amparando regiões que carecem de estações pluviométricas convencionais

Trabalhos visando precipitação de base orbital também foram realizados na África, como demonstra Katsanos et al. (2016) que pesquisou sobre a validação de precipitação do satélite CHIRPS sobre a África Oriental, mostrando que o satélite apresenta dados significativos em análises diárias e mensais.

Vale lembrar, que essas técnicas precisam ser avaliadas quanto a sua acurácia, ou seja, quanto a sua capacidade de estimar a precipitação de maneira mais próxima do real e não apenas com base em correlações. A avaliação da acurácia deve ser realizada por meio de técnicas estatísticas entre dados observados e estimados. Para isso, utilizam-se como dados observados as lâminas precipitadas obtidas via rede de pluviômetros e/ou pluviógrafos e, como dados estimados, os produtos dos campos de precipitação de técnicas de sensoriamento remoto, tendo como alvo as nuvens.

Após a verificação da acurácia de tais produtos, os mesmos poderão subsidiar ações no monitoramento hidroclimatológico, no planejamento e na gestão dos recursos hídricos, podendo ainda contribuir no planejamento energético (geração e controle de nível/volume), visto os volumes precipitados estarem em estreita relação com os níveis dos reservatórios.

Enquadra-se neste contexto, a bacia do reservatório de Furnas, localizada no Sul de Minas Gerais, que devido ao represamento do rio Grande ocorreram amplas mudanças no que tange o aspecto ambiental e econômico dos municípios afetados, deste modo, estes, tiveram que modificar suas formas de produzir empregando novas tecnologias, como a utilização da irrigação, e mudando o ramo de suas atividades, começando a utilizar as águas do reservatório para turismo e piscicultura.

Deste modo, o trabalho contribuirá no auxílio ao planejamento e gestão dos recursos hídricos pelos Comitês Afluentes ao reservatório, bem como pelo Comitê do Entorno da bacia, além de auxiliar na previsão de vazões de bacias afluentes, na estimativa do balanço hídrico e na determinação da quantidade de energia a ser gerada pela Furnas S.A.

Portanto, analisar o desempenho da precipitação de base orbital na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas contribuirá com a geração de hidroeletricidade, piscicultura,

irrigação, abastecimento humano, dessedentação animal, controle de cheia, na recreação e no turismo.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a acurácia dos dados mensais de precipitação de base orbital do satélite *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS), tendo como base os postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas, para a bacia hidrográfica do reservatório de Furnas, no período base da Normal Climatológica de 1981 a 2010.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Adquirir dados de precipitação mensal do satélite CHIRPS e de postos pluviométricos da ANA no período de 1981 a 2010;
- Realizar tratamento estatístico para confecção de séries temporais de precipitação mensal;
- Avaliar a acurácia da estimativa de precipitação orbital mensal do satélite CHIRPS em função dos dados observados in situ pela ANA;
- Avaliar a acurácia espacialmente por meio de Sistema de Informação Geográfica.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. PRECIPITAÇÃO SOB A ÓTICA DA TEORIA GERAL DOS SISTEMAS

A Teoria Geral dos Sistemas foi desenvolvida inicialmente nos Estados Unidos, por Defay (1929) e Ludwig von Bertalanffy (1932), tendo suas primeiras aplicações na Termodinâmica e na Biologia (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Ainda de acordo com Christofolletti (1979) apud Thornes e Brunsten (1977, p.10) um sistema pode ser considerado “como o conjunto de objetos ou atributos e das suas relações, que se encontram organizados para executar uma função particular”, considerando que conjuntos implica que as unidades têm propriedades comuns, sendo que o sistema funciona para desenvolver uma determinada tarefa.

Segundo Christofolletti (1979) a aplicação da Teoria Geral dos Sistemas aos estudos geográficos “serviu para a melhor focalizar as pesquisas e para delinear com maior exatidão o setor do estudo desta ciência, além de propiciar oportunidade para reconsiderações críticas de muitos dos seus conceitos” (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. XI).

Os sistemas apresentam elementos (que são as partes que compõe os sistemas), relações (os componentes estão inter-relacionados através de ligações dos fluxos), atributos (relacionado a qualidade que se atribuem ao sistema, podendo se referir a área, volume, densidade dos fenômenos e outros), entrada (sendo o que o sistema recebe) e saída (produto gerado pelo sistema).

Um dos principais atributos e dificuldades quando se conceitua um sistema está em delimitar com clareza a extensão abrangida pelo sistema em foco, praticamente, os sistemas que interessam aos geógrafos não atuam de forma isolada, mas funcionam em um ambiente e faz parte de um conjunto maior. Esse conjunto maior pode ser chamado, segundo Christofolletti (1979) de universo, no qual

“compreende o conjunto de todos os sistemas e eventos que, através de suas mudanças e dinamismo, apresentam repercussões no sistema focalizado, e também de todos os fenômenos e eventos que sofrem alterações e mudanças por causa do comportamento do referido sistema particular. Dentro do universo, a fim de estabelecer uma ordem classificatória, podemos considerar os primeiros como sistemas antecedentes ou controlantes e os seguintes como sistemas subsequentes ou controlados” (CHRISTOFOLETTI, 1979, p.3).

Contudo, não se deve pensar que nos sistemas exista um comportamento linear, sequencial entre os sistemas antecedentes, o estudado e os subsequentes, pois, através do mecanismo de retroalimentação, os sistemas subsequentes podem voltar a exercer influências sobre todo o universo.

Cada elemento ou relação discernida no sistema pode ser relacionada com diversas variáveis das quais são passíveis de mensuração, expressando qualidades ou atributos. As variáveis podem se referir ao número, tamanho, forma, arranjo espacial, fluxos, intensidades, taxas de transformação e entre outros atributos, lembrando que não se analisa ou mede um sistema ou seus elementos como um todo, mas sobre as qualidades atribuídas a cada elemento e ao sistema (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Os sistemas são compostos por vários aspectos importantes como a matéria que corresponde ao material que vai ser mobilizado através do sistema, a energia que corresponde às forças que fazem com que o sistema funcione, fornecendo a capacidade do sistema realizar

trabalho e a estrutura do sistema que é constituída pelos elementos e suas relações, o elemento é a unidade básica do sistema (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Adotando a Teoria Sistêmica como suporte às análises do ciclo hidrológico, tem-se que as diversas partes deste ciclo configuram-se como elementos, sendo que há complexas interações entre matéria e energia dentro destes (circulação da água), tendo a entrada de matéria e/ou energia em outro componente.

O ciclo hidrológico apresenta-se como um sistema pelo qual é movido pela radiação solar, que por sua vez se distribui de forma irregular no Planeta, devido as diferenças de latitude no Globo e o eixo de inclinação. Dentro do ciclo hidrológico há uma dinâmica espaço-temporal que movimenta todo o ciclo, esta dinâmica é responsável por realizar a interação entre matéria e energia do ciclo.

O sistema do ciclo hidrológico se inicia com a radiação provida do Sol que ao chegar à superfície terrestre e se encontrar com massas d'água líquidas e sólidas (neve ou gelo) se transformam em vapor d'água por meio da evapotranspiração (água líquida) e por fusão (neve para gasoso) que ascendem a níveis mais elevados da Troposfera, das quais são levadas pelas correntes convectivas e, devido a diminuição da temperatura, o vapor d'água passa pelo processo de condensação, que inicia-se quando a massa de ar alcança o estado de saturação, o que faz com que diminua a capacidade de retenção do vapor d'água, assim a saturação ocorre quando o teor de vapor d'água se encontra igual a capacidade de retenção da massa de ar, fazendo com que o processo de precipitação ocorra.

O ciclo hidrológico na escala global é, portanto, considerado um sistema não-isolado fechado, pois há troca de energia (recebimento e perda), mas não de matéria. Já em escala local, uma bacia hidrográfica, por exemplo, considera-se como um sistema não-isolado aberto, apresentando constantes trocas de energia e matéria, tanto recebendo como perdendo.

Considerando a bacia hidrográfica como um componente do ciclo hidrológico, formada por diversos elementos (ex.: solos, geologia, cobertura vegetal, relevo, uso e cobertura da terra dentre outros), possui como uma de suas funções, transformar a entrada de matéria e energia derivada das precipitações em vazão no curso d'água.

Baseado nos conceitos de Christofolletti (1979) a bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema *input-output*, onde a entrada (*input*) caracteriza-se pelo volume de água precipitado e as saídas (*outputs*) caracterizadas pela água escoada no exutório (superficial e subsuperficial), somada às saídas por evapotranspiração e percolação.

Como frisa Braga (2009), as entradas e saídas de energia, bem como a organização interna da bacia, são influenciadas pelas formas e processos atuantes e suas variações repercutem nas mesmas, ou seja, há uma interdependência entre os fatores, na medida que as mudanças em um destes, tem a capacidade de influenciar os demais.

Como principal entrada no sistema bacia hidrográfica, a precipitação, pode incidir diretamente sobre a superfície líquida dos canais fluviais ou sobre a superfície terrosa, apresentando componentes como a intensidade da chuva, lâmina precipitada, perfis de chuvas, das quais sendo ela a principal entrada do sistema deve monitorada, bem como compreendida em sua dinâmica espaço-temporal.

4.2. PRECIPITAÇÃO

A precipitação é toda água proveniente do meio atmosférico que alcança a superfície terrestre sob diferentes formas, como a de orvalho, chuva, granizo, saraiva e neve, sendo diferenciado pelo estado em que a água se encontra ao chegar na superfície terrestre (BETONI; TUCCI, 2009). Neste trabalho, no entanto, o termo precipitação se refere exclusivamente à parcela líquida da precipitação.

Para a melhor compreensão, se faz necessário analisar alguns mecanismos do processo de precipitação como a evapotranspiração, condensação, saturação e a formação das nuvens.

Primeiramente é preciso destacar o ciclo hidrológico, que nos ajuda a entender o processo de precipitação que se inicia quando acontece o processo de evapotranspiração (evaporação e transpiração integrados), devido à energia proveniente do Sol, partículas de água se transformam em vapor d'água, ascendendo a níveis mais elevados da Troposfera, mudando o estado físico da água, de líquido para vapor, essa mudança ocorre devido à diminuição da pressão hidrostática, da diminuição da temperatura e pelos núcleos de condensação (poeiras, fumaças e sais em suspensão).

Após o processo de evapotranspiração, o vapor d'água passa pelo processo de condensação (em altitudes mais elevadas na Troposfera), que inicia-se quando a massa de ar alcança o estado de saturação, o que faz com que diminua a capacidade de retenção do vapor d'água, “diz-se que o ar está saturado quando ele apresenta a concentração máxima de vapor d'água que pode conter” (TORRES; MACHADO, 2009, p. 81). Com o aumento da temperatura, o ar se torna mais quente e se expande podendo reservar maiores quantidades de vapor d'água, sendo assim, quanto maior a temperatura do ar, maior será a capacidade de retenção de água, ficando mais distante do processo de saturação.

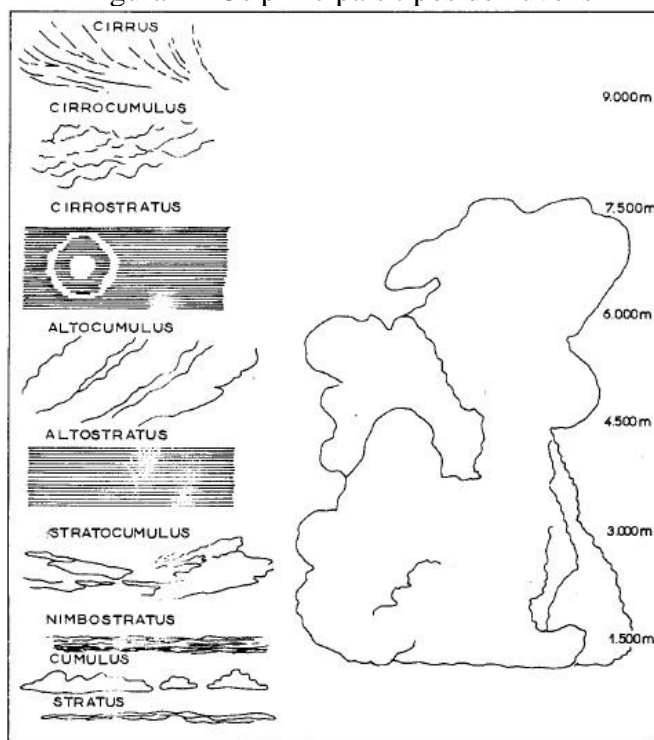
A saturação ocorre quando o teor de vapor d'água se encontra igual à capacidade de retenção da massa de ar, isso pode ocorrer devido ao resfriamento do ar, pois com temperaturas menores, a massa de ar tem diminuída a sua capacidade de retenção de vapor d'água, fazendo com que o processo ocorra (TORRES, MACHADO, 2009).

Para a análise da precipitação, cabe apresentar aqui, o processo de formação das nuvens. Segundo Ayoade (1996)

“As nuvens são agregados de gotículas d'água muitíssimo pequenas, de cristais de gelo, ou uma mistura de ambos, com suas bases bem acima da superfície terrestre. As nuvens são formadas principalmente por causa do movimento vertical de ar úmido, como na convecção, ou em ascensão forçada sobre áreas elevadas, ou no movimento vertical em larga escala, associado a frentes e depressões” (AYOADE, 1996, p. 149).

A classificação das nuvens ocorre normalmente segundo dois critérios, o primeiro está relacionado ao aspecto, estrutura e forma; o segundo, relaciona-se com a altura pela qual a nuvem se encontra na atmosfera. O primeiro critério apresenta três tipos de nuvens, cirriformes, com aparência fibrosa, estratiformes, apresentando-se em camadas e cumuliformes, que aparecem empilhadas. O segundo critério é possível encontrar nuvens altas, médias e baixas (AYOADE, 1996). Baseado nesta classificação encontram-se dez tipos de nuvens, na qual podem ser observadas na Figura 2.

Figura 2 - Os principais tipos de nuvens



Fonte: Ayoade (1996)

A origem das precipitações está relacionada com o crescimento das gotículas das nuvens, que ocorre devido a certas condições atmosféricas (BETONI, TUCCI, 2009). A formação de nuvens de precipitação, geralmente, está associada ao movimento de ascensão de massas de ar úmido.

De acordo com Collischonn (2006) a precipitação líquida é, provavelmente, a variável do balanço hídrico que apresenta maior variabilidade espacial, sendo a principal entrada para a bacia hidrográfica, sendo importante na quantificação para a irrigação, culturas e abastecimento de água tanto doméstico, como industrial.

A precipitação é classificada de três tipos diferentes, estas serão brevemente caracterizadas a seguir.

4.2.1. Convectivas

As chuvas convectivas estão relacionadas a instabilidade convectiva. “A precipitação é causada pelo movimento vertical de uma massa de ar ascendente, que é mais quente do que o meio ambiente” (AYOADE, 1996, p. 162). Está associada a nuvens do tipo cumulus (Figura 3) e cumulonimbus (Figura 4), sendo acompanhada geralmente por trovões e apresenta-se mais intensa do que a precipitação orográfica e frontal. São chuvas características das regiões intertropicais. Geralmente são de expressiva intensidade, curta duração e em porções territoriais localizadas, podendo ocorrer inundações em bacias urbanas e rurais.

Figura 3 - Nuvem do tipo Cúmulo



Fonte: VAREJÃO-SILVA (2006)

Figura 4 - Cumulonimbus em Juiz de Fora



Fonte: Google Imagens (2009)

Segundo Ayoade (1996) dependendo do grau de organização espacial da precipitação é possível reconhecer 3 subcategorias de precipitações convectivas, sendo elas:

1. “Aguaceiros convectivos dispersos com a duração de meia a uma hora podem ocorrer numa área de 20 – 50 quilômetros quadrados, depois de um intenso aquecimento solar da superfície do solo, particularmente no verão. A precipitação é do tipo de tempestades com trovões e frequentemente inclui granizo.
2. Aguaceiros convectivos organizados podem ser formados como resultado de uma intensa insolação sobre superfícies elevadas do terreno, nos trópicos, ou quando massas de ar úmidas e instáveis passarem sobre a superfície mais quente. Tais células convectivas deslocam-se com o vento e ocorrem paralelas a uma frente fria de superfície ou à frente de uma massa moderadamente quente. A precipitação é generalizada, mas pode ter duração curta e uma dada localidade.
3. As nuvens cumulonimbus organizadas em torno do vórtice dos ciclones tropicais trazem precipitação intensa e prolongadas por grandes áreas” (AYOADE, 1996, p. 162).

4.2.2. Orográficas

É usualmente definida por Ayoade (1996, p.163) como “aquela que é causada inteira ou principalmente pela elevação do ar úmido sobre terreno elevado.” Portanto, quando ventos quentes e úmidos advindos geralmente do oceano para o continente, encontram uma barreira montanhosa se elevam e resfriam-se, havendo a condensação do vapor d’água e ocorrendo a precipitação. Para Ayoade (1996) o grau de influência da barreira montanhosa na precipitação dependerá do tamanho e de seu alinhamento com os ventos ‘portadores de chuvas’.

Segundo Machado e Torres (2015)

“as vertentes do obstáculo voltadas para o vento (barlavento) ficam cobertas de nuvens das quais cai a chuva. Do outro lado do obstáculo (sotavento), o ar ascendente é seco e, em geral, frio, com suas características iniciais modificadas” (MACHADO, TORRES, 2015, p. 93).

Um bom exemplo deste tipo de chuva ocorre na cidade paulista de Itapanhaú, na Serra Mar, que apresentam chuvas típicas de relevo, onde há registros anuais pluviométricos de 4.514 mm (TORRES, MACHADO, 2017).

As montanhas podem influenciar a precipitações de algumas maneiras como coloca Ayoade (1996) citado por Barry e Chorley (1976)

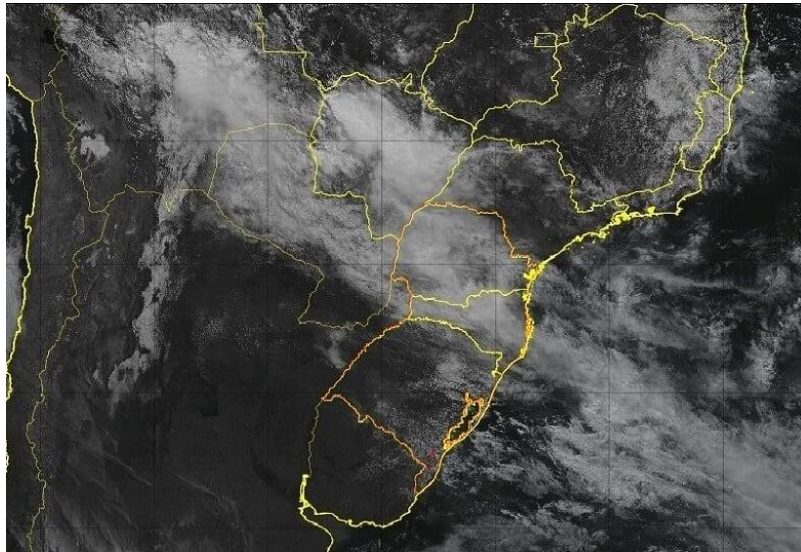
1. “Elas provocam instabilidade condicional ou convectiva ao favorecer um deslocamento inicial à corrente de ar ou por meio de um aquecimento diferencial das vertentes das montanhas, que estão diferentemente expostas à insolação;
2. Elas aumentam a precipitação ciclônica retardando a velocidade do deslocamento das depressões;
3. Elas causam a convergência e a elevação através dos efeitos de afunilamento dos vales sobre as correntes de ar;
4. Encorajam a ascensão turbulenta do ar através da fricção superficial. Em tais condições, pode ocorrer a formação de nuvens stratus e stratocumulus, e ocasionar a precipitação de garoas ou chuvas ligeiras;
5. A orografia também pode influenciar a precipitação através do retardamento friccional de uma corrente de ar que se move do oceano para o continente. A convergência e ascensão do ar podem ser iniciada dessa maneira” (BARRY E CHORLEY, 1976 apud AYOADE, 1996, p. 163).

4.2.3. Frontais ou Ciclônicas

As chuvas frontais ou ciclônicas ocorrem devido a interação de massas de ar de diferentes características (frias e quentes e/ou secas e úmidas). Segundo Ayoade (1996) são chuvas que atingem grandes áreas, conforme as massas de ar se deslocam, apresentam grande duração e intensamente moderada, durando cerca de 6 a 12 horas. “São comuns nas áreas de médias latitudes, onde ocorrem normalmente (principalmente no inverno) o encontro de massas de ar de características térmicas opostas” (MACHADO, TORRES, 2017, p. 92).

Segundo Collischonn e Dornelles (2015, p. 54) apud Cavalcanti et al. (2009) no Brasil, as chuvas frontais são frequentes na região Sul, especialmente no inverno, quando ocorrem cerca de 4 frentes por mês, contudo, podem atingir também as regiões Sudeste e Centro-Oeste e, por vezes, o sul da região Nordeste (Figura 5).

Figura 5 - Imagem de frente fria no canal do visível



Fonte: CPTEC (2019). Satélite GOES16 de 01/05/2019 as 15h GMT

4.3. MEDIDAS DE PRECIPITAÇÃO

A precipitação é intrinsicamente heterogênea, sendo assim, o uso de pluviômetros, pluviógrafos e radares requer uma rede extensa, bem calibrada e mantida, tendo em vista que no Brasil há a priorização de determinadas regiões, como o sudeste, determinadas regiões apresentam um déficit em postos de monitoramento, principalmente ao centro norte do país, problemas esses que são ampliados em regiões montanhosas e esparsamente ocupadas.

Chevallier (2009) lembra-nos da dificuldade da aquisição de dados de precipitação de boa qualidade e precisamente confiáveis, sendo assim, para encontrar séries de dados pluviométricos ou pluviográficos confiáveis, faz-se necessário avaliar os métodos de aquisição, os locais de instalação, aparelhos usados e ainda averiguar a capacitação dos observadores para que os dados da coleta sejam o mais confiável possível.

Em regiões extensas, como o Brasil, a distribuição das estações meteorológicas não abrange de maneira satisfatória todo o território, além do mais, precipitações isoladas podem ocorrer em áreas da bacia hidrográfica não equipadas, que não contabilizada, influencia expressivamente na análise do escoamento superficial e no cálculo de balanço hídrico.

O monitoramento da precipitação no Brasil ocorre, especialmente, por meio de estações terrestres convencionais que compõem às principais redes de monitoramento do país, sendo realizado por órgãos como o INMET e a ANA, tendo como o método de coleta, respectivamente, três observações diárias as 09h, 15h e 21h no horário de Brasília; e duas observações diárias as 07h e 17h, horário de Brasília (MELO NETO, 2012).

A Rede Hidrometeorológica da Agência Nacional das Águas opera cerca de 4.543 postos de monitoramento das 14.822 existentes no país, já o Instituto Nacional de Meteorologia gerencia cerca de 265 estações meteorológicas convencionais.

A coleta dos dados de precipitação ocorre por meio dos pluviômetros que estão localizados em lugares específicos do país, cujo dados são coletados periodicamente para verificação quantitativa da lâmina precipitada em milímetros (mm) (COLLISCHONN, 2006).

Hodiernamente, com o avanço da tecnologia, há a utilização de produtos derivados de sensores orbitais que auxiliam no contorno de dificuldades no monitoramento, pois com o uso do sensoriamento remoto, é possível obter informações da variabilidade de precipitação, sendo vantajoso especialmente em localidades em que é inviável a instalação de estações meteorológicas convencionais (LI et al., 2012 citado por AIRES et al, 2016, p. 58).

4.3.1. Medições em superfície

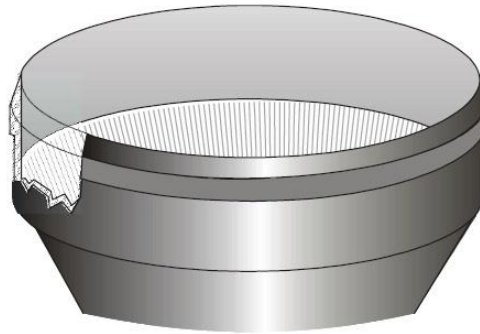
Para a instalação dos aparelhos de medições de chuvas (pluviômetros e pluviógrafos) são estabelecidas diversas normas, apesar da tentativa de homogeneização internacional, realizada pela Organização Meteorológica Mundial (CHEVALLIER, 2009).

Em conformidade com Santos (2014, p. 28) “as medições em superfície são aquelas medidas por instrumentos sobre a superfície terrestre e que se valem de distintas formas de uso, para a captação dos dados de pluviometria referente a área de estudo.”

Na coleta de dados de precipitação os pluviógrafos e pluviômetros são muito utilizados, apresentando valores que foram obtidos diariamente e/ou em diversos recortes temporais por seus coletores (Figura 6) ou por dispositivos de suporte a leitura de pluviometria.

Segundo Varejão-Silva (2006, p. 353) “dependendo do intervalo de tempo recomendado para as leituras (quase sempre em função da capacidade do recipiente de armazenagem), os pluviômetros são ditos ordinários ou totalizadores”

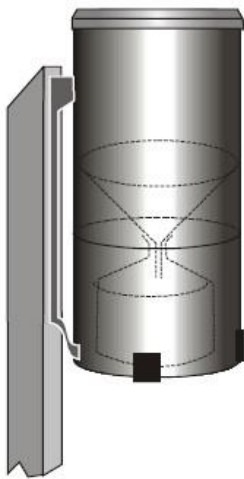
Figura 6 - Detalhe do coletor de um pluviômetro



Fonte: VAREJÃO-SILVA (2006)

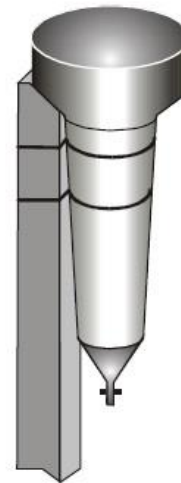
Os pluviômetros ordinários, como o modelo de Hemann (Figura 7) e *Ville de Paris* (Figura 8) são aparelhos de monitoramento de precipitações mais utilizado no Brasil devido sua simplicidade de instalação, facilidade na coleta de dados e seu baixo custo.

Figura 7 - Pluviômetro de Hemann



Fonte: VAREJÃO-SILVA (2006)

Figura 8 - Pluviômetro *Ville de Paris*



Fonte: VAREJÃO-SILVA (2006)

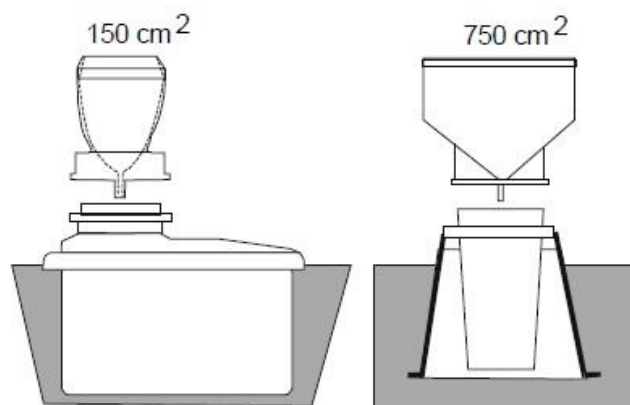
Segundo Chevallier (2009)

“o pluviômetro é um recipiente de volume suficiente para conter as maiores precipitações dentro do intervalo de tempo definido para a frequência das observações (em geral 24h). Acima desse recipiente é colocado um funil com um anel receptor biselado que define a área de interceptação. O anel deve ficar bem horizontal” (CHEVALLIER, 2009, p. 491).

É conveniente que os pluviômetros ordinários sejam feitos de aço inoxidável, evitando o risco de corrosão, como para refletir melhor a radiação solar, em que a absorção faz que haja perda por evaporação entre a precipitação e a leitura.

Segundo Varejão-Silva (2006, p. 355) “os pluviômetros totalizadores são semelhantes aos ordinários, possuindo, no entanto, um reservatório amplo, para acumular o produto das precipitações que se verificam em uma semana, em um mês ou meses consecutivos”, conforme mostra a figura 9.

Figura 9 - Pluviômetros totalizadores com coletor intercambiável de 150cm² e 750cm² de área de captação



Fonte: VAREJÃO-SILVA (2006)

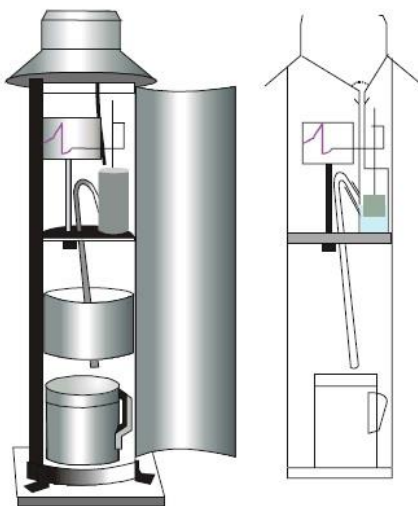
De forma geral, os pluviômetros são observados diariamente no mesmo horário, no qual é estabelecido pelo órgão operador. O observador é responsável por anotar os dados em uma planilha, com observações quando for necessário, A ausência de precipitação também é um valor a ser anotado, pelo qual não pode ser confundido como falha de observação. (CHEVALLIER, 2009). O observador deve ser treinado pelo órgão responsável, no Estado de Minas Gerais o observador recebe um valor mensal de R\$250,00 (duzentos e cinquenta reais), para a realização do serviço, segundo o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

Já os pluviógrafos são aparelhos que apresentam maior complexidade no manuseio, e, portanto, maior custo. Segundo Almeida (2017, p.24) “os pluviógrafos são aparelhos que permitem apropriações de intensidade de precipitações, uma vez que permite a leitura, ao longo do tempo, das lâminas precipitadas.” Chevallier (2009) apresenta quatro etapas de aquisição de dados por pluviógrafos, sendo medição, transmissão de sinal, gravação e transmissão de registro, dependendo de dois parâmetros para a precisão das medições, constituindo no valor de precipitação e o tempo.

Segundo Varejão-Silva (2006) existem três pluviógrafos mais difundidos, sendo o de bóia, balança e basculante, dos quais serão respectivamente apresentados. Nos pluviógrafos de bóia (Figura 10)

“A água que procede do coletor é acumulada em uma cisterna cilíndrica, provida de uma bóia e de um sifão. A acumulação da água na cisterna desloca a bóia para cima e uma haste solidária a ela move o sistema de alavancas que aciona a pena registradora. Quando a cisterna enche, o sifão entra em funcionamento, esvaziando-a, o que faz retomar a pena ao nível zero da escala gravada no pluviograma” (VAREJÃO-SILVA, 2006, p. 358).

Figura 10 - Pluviógrafo de bóia

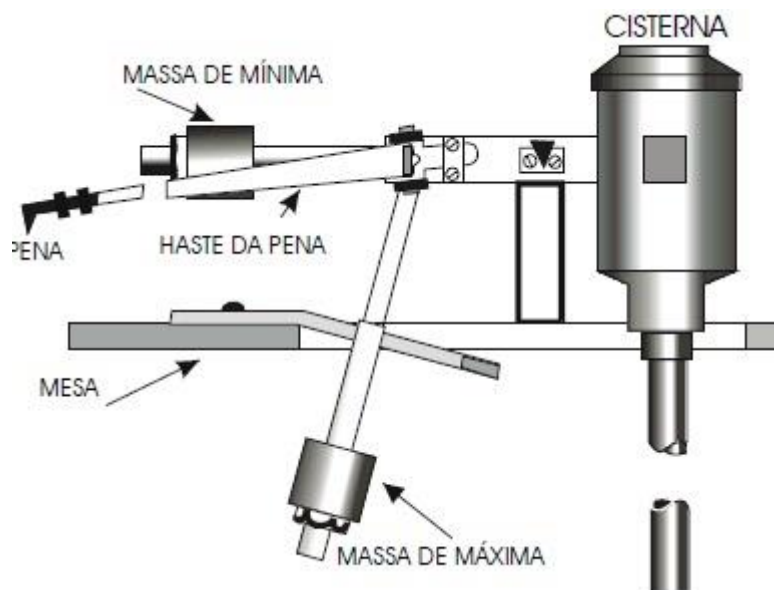


Fonte: VAREJÃO-SILVA (2006)

Importante lembrar que toda precipitação que se verifica durante a sinfonagem não será computada, neste tipo de pluviógrafo.

Já nos pluviógrafos do tipo balança (Figura 11) “a unidade sensível dos instrumentos desse tipo consiste em uma balança auto-equilibrada” (VAREJÃO-SILVA, 2006). Um dos braços da balança fica responsável por receber a água proveniente do coletor e o outro possui duas massas de compensação na qual regulam os limites superior e inferior do curso da pena registradora sobre o diagrama. De acordo com Varejão-Silva (2006, p. 358) “Quando a cisterna começa a receber água, desequilibra a balança e provoca deslocamento da haste da pena que traça uma linha sobre o pluviograma.” Quando a cisterna enche o sifão se encarrega de esvaziá-la automaticamente, voltando ao estado de equilíbrio e a pena registradora ao nível zero da escala do pluviograma.

Figura 11 - Pluviógrafo de balança.



Fonte: Varejão-Silva (2006)

O mesmo erro que acontece com o pluviógrafo de boia, acontece com esse pluviógrafo, onde durante o processo de sintonagem não é calculado nenhum valor de precipitação.

No caso do pluviógrafo basculante (Figura 12) toda água proveniente do coletor cai em um recipiente triangular, sendo ele dividido em dois compartimentos, simétricos em relação ao eixo transversal que o apoia. Quando um compartimento enche, devido ao peso, tomba e a água antes contida nele começa a escoar, enquanto o segundo compartimento começa a ser enchido pela precipitação. O movimento de balança se alterna com o enchimento dos compartimentos, tendo uma capacidade normalmente de 0,1mm de precipitação. Ao ter uma precipitação intensa, esse tipo de pluviógrafo pode apresentar erros (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Na parte inferior do recipiente há uma haste que sustenta um ímã, que

“se move sobre uma ampola na qual há um interruptor magnético. Assim, o movimento do recipiente desloca o ímã para esquerda ou para a direita e sua passagem acima da ampola aciona o circuito elétrico que faz movimentar a pena registradora a qual traça o pluviograma, não uma curva contínua, mas uma série de degraus” (VAREJÃO-SILVA, 2006, p. 359).

Figura 12 - Pluviógrafo basculante



Fonte: VAREJÃO-SILVA (2006)

Apesar da ampla utilização dos métodos de coletas convencionais, eles apresentam limitações em suas medições, como na distribuição espacial da chuva sobre extensas áreas, confiabilidade dos dados, necessidade de operação e manutenção dos equipamentos, podendo comprometer as análises dos dados finais.

4.3.2. Medições por sensoriamento remoto

Nas últimas décadas a necessidade de monitorar, prever e compreender a precipitação, bem como a preocupação com os impactos ambientais potencializados pela presença de precipitações intensas, em escala local e global, tem se acentuado, portanto, a utilização do sensoriamento remoto na detecção de eventos pluviométricos.

Ao contrário das estações convencionais, pluviômetros e pluviógrafos, o uso do sensoriamento remoto é capaz de abranger expressivas áreas em sua medição, apresentando dados diários e até de 30 em 30 minutos para sensores geostacionários para monitoramento e identificação de massas de ar e sistemas convectivos, apresentando dados de ampla relevância nos estudos de climatologia, hidrologia, entre outros.

Visando essa perspectiva o primeiro satélite meteorológico a ser lançado foi o *Television Infrared Observation Satellite (TIROS)*, no ano de 1960, antes mesmo do seu lançamento já haviam especulações acerca da utilização dos satélites para a medição de precipitação de base orbital (ALMEIDA, 2017).

“Diversos fatores têm contribuído para a ascensão do sensoriamento remoto na estimativa da precipitação, como o barateamento dos recursos computacionais” (TUCCI, 2009) “e a crescente demanda por previsões espaciais confiáveis” (LUINI; CAPSONI, 2011 citado por ALMEIDA, 2017, p. 26).

O sensoriamento remoto pode ser classificado de duas formas, ativo ou passivo, sendo essa diferença determinada pela fonte de radiação eletromagnética. No ativo, o sistema emite a energia em direção ao objeto para depois captar a parte refletida do alvo (terrestre ou não). No passivo, a energia utilizada provém de uma fonte natural, o Sol (ALMEIDA, 2017).

Os satélites meteorológicos apresentam dois tipos de órbitas principais, a órbita polar e a geoestacionária.

Mol (2005) apresenta o satélite de órbita polar sendo aqueles que,

“situam-se em altitudes menores que os satélites geoestacionários, variando cerca de 800 a 1.200km. Esses satélites possuem um movimento heliossíncrono, ou seja, o satélite passa numa determinada posição geográfica sempre sob as mesmas condições solares (hora solar) e promove uma órbita completa em torno de 102 minutos” (MOL, 2005, p.24).

A mesma autora apresenta o satélite de órbita geoestacionária,

“os satélites geoestacionários são assim denominados por serem colocados em uma órbita sobre o Equador, posicionados em uma altitude aproximada de 35.800km, de tal forma que o satélite tenha a mesma velocidade angular da rotação da Terra. Esse tipo de satélite de órbita é conhecido como órbita geossíncrona ou geoestacionária, e permite um frequente monitoramento de uma mesma região específica da Terra” (MOL,2005, p.24).

A principal diferença entre os satélites, em relação ao tempo, é que o de órbita polar não apresenta atualizações continuamente como apresenta o satélite cuja órbita é geoestacionária.

Devido a ascensão da tecnologia e a abrangência que os satélites fornecem aos pesquisadores, vários trabalhos científicos foram sendo realizados no que tange a análise de precipitação por satélite (MOL, 2005; PEREIRA et al., 2013; SERRÃO et al., 2013; JIMÉNEZ et al., 2015; DIAZ et al., 2015; SOARES et al., 2016; ANJOS et al., 2016; ALMEIDA, 2017;).

“O princípio da estimativa de precipitação de chuva, 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” (PETTY, 1995 citado por COLLISCHONN et al., 2006, p. 48).

Sendo assim,

“temperaturas de topo de nuvens baixas estão associadas a um maior desenvolvimento vertical de uma nuvem e, conseqüentemente, a uma taxa de precipitação maior. A temperatura do topo de nuvem pode ser obtida a partir de medições de reflectância em bandas de infravermelho” (COLLISCHONN et al., 2007, p. 94).

Há diversas técnicas de obtenção de lâminas precipitadas via processamento de dados do sensoriamento remoto, também conhecidas pelo termo “campo de precipitação”, como pode-se citar a técnica CHIRPS (PEREIRA et al., 2018), CMORPH (CASTELHANO et al., 2009), TRMM (COLLISCHONN, 2006) e do Hidroestimador (SALDANHA et al., 2007).

O satélite CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations*) foi desenvolvido pelo *United States Geological Survey* (USGS) e pelo *Climate Hazards Group* (CHG) da Universidade da Califórnia, Santa Barbara (UCSB) (PEREIRA et al, 2018).

Nesse produto, as estimativas de precipitação são compostas por diversas fontes de informações, conforme apresenta Funk (2015) apud Pereira (2018)

“(I) Dados de precipitação média acumulada proveniente do *The Climate Hazards Group’s Precipitation Climatology* (CHPClim); (II) Observações de satélites geoestacionários do canal infravermelho termal (*Thermal Infrared*, TIR) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), produtos do Centro de Previsão Climática (CPC) e produto B1 do canal TIR proveniente da *National Climatic Data Center* (NCDC); (III) Campos de Precipitação do *Coupled Forecast System* da NOAA, versão 2 (CFSv2); (IV) Diversas observações de precipitação através de produtos de estações meteorológicas e outros serviços regionais” (FUNK et al., 2015, apud PEREIRA et al, 2018, p. 216-217)

O satélite CHIRPS apresenta um conjunto de dados de precipitação orbital, abrangendo latitudes entre 50° S e 50° N, com resolução espacial de 0,05°, ou aproximadamente 5,3km próximo ao Equador e é disponibilizado em conjuntos de dados diários, mensais e anuais, disponíveis no site eletrônico da UCSB (<ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>), em formato GeoTiff, Esri BIL e NetCDF, desde 1981 (PEREIRA et al., 2018).

O satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) (Figura 12), é um projeto em parceria entre a Agência Espacial Norte-Americana (NASA) e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), lançado em 1990, permite obter dados de precipitação

pluvial com uma resolução espacial de $0,25^\circ$ (aproximadamente 28km) e resolução temporal em escala mensal e diária desde o ano 1997 (COLLISCHONN et al., 2007).

Figura 13 - Satélite TRMM



Fonte: NASA (2019)

“O projeto TRMM possui um programa de validação em campo para a minimização das diferenças entre estimativas por satélite e medições em solo” (COLLISCHONN et al., 2007, p. 95).

Segundo Collischonn (2006) a estimativa de precipitação do satélite TRMM é eficaz, mostrando que além de bons resultados, a estimativa por satélite pode ajudar a identificar pluviômetros com problemas na leitura ou mal localizados. Sendo o mais equipado em termos de instrumentos para a estimativa de precipitação.

O CMORPH (*Climate Prediction Center Morphing Technique*) utiliza a técnica de estimativa de precipitação, através de dados observados de microondas de satélite de órbita baixa correlacionado com satélites geoestacionários com dados derivados do infravermelho. Atualmente o CMORPH incorpora estimativas de precipitação derivadas das microondas passivas a bordo do DMSP 13, 14 e 15 (SSM/I), do NOAA-15, 16, 17 e 18 (AMSU-B) e AMSR-E e TMI a bordo do Aqua da NASA e espaçonaves TRMM.

Segundo Castelhana (2009, p. 183) “essa técnica não é um algoritmo de estimativa de precipitação, mas um meio pelo qual as estimativas de algoritmos de precipitação de microondas podem ser combinadas, permitindo a incorporação de quaisquer estimativas de precipitação de satélite microondas.”

No Brasil um dos pioneiros na realização de trabalhos com o objetivo de estimar precipitação por satélite foi Conti (2002), que realizou estudos de caso para o estado do Rio Grande do Sul, apresentando resultados satisfatórios. Destaca-se também, Araújo e Guetter (2005) que compararam estimativas de precipitação de satélite de órbita baixa com medições de solo em pequenas e médias bacias do estado do Paraná e Collischonn (2006) mostrou que além de apresentar resultados satisfatórios, podem auxiliar na identificação de pluviômetros com problemas nas leituras ou mau localizados.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. ÁREA DE ESTUDO

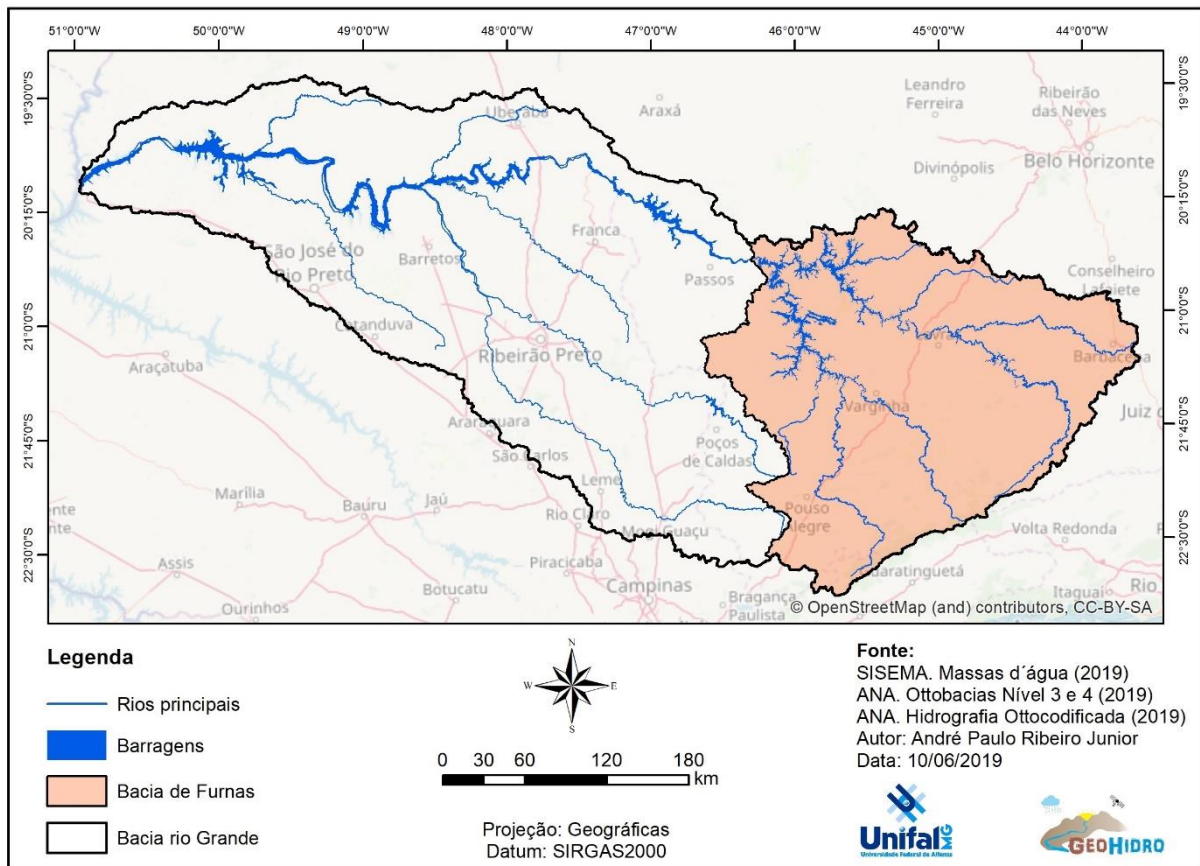
A bacia hidrográfica do rio Grande é parte integrante da bacia do Paraná, sendo uma das importantes bacias do país. “Abrange um território de 143.255 km² e pertence aos estados de São Paulo (40% do total) e de Minas Gerais (60%)” (PIHR, 2017).

O rio Grande tem sua nascente na Serra da Mantiqueira, sua extensão total é de 1.286km, tendo como principais afluentes pela margem esquerda, os rios Sapucaí, Pardo, Turvo, Verde, Capivari, e Mogi-Guaçu, já pela margem direita, os rios Jacaré, Santana, Pouso Alegre, Uberaba, Verde e o rio das Mortes. De acordo com o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Grande (PIRH, 2017) 51,4% dos corpos hídricos superficiais da bacia estão sob o domínio do estado de Minas Gerais, 36,2% sob domínio do estado de São Paulo e 12,4% são de domínio da União.

No alto curso do rio Grande localiza-se a bacia do reservatório de Furnas (Figura 14), com aproximadamente 51.950km² (CAMPOS; LATUF, 2017), recorte territorial no qual foi realizado o presente estudo.

A bacia hidrográfica do reservatório de Furnas pertence a seis comitês estaduais, sendo cinco do estado de Minas Gerais (GD1 - Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Alto do Rio Grande; GD2 - Comitê da Bacia Hidrográfica Vertentes do Rio Grande; GD3 - Comitê da Bacia Hidrográfica do Entorno do Reservatório de Furnas; GD4 - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Verde e o GD 5- Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí) e 1 do estado de São Paulo (UGRH11 - Comitê da Bacia Hidrográfica da Mantiqueira).

Figura 14 - Localização da bacia do reservatório de Furnas na bacia do rio Grande



Fonte: o autor

Segundo o PIRH (2017) a área onde está localizada a bacia do reservatório de Furnas, é formada por rochas metamórficas e ígneas das Províncias Tocantins e São Francisco, com mais de 500 milhões de anos, observa-se nessas regiões cotas mais elevadas entre 800 a 2.000m em relação ao nível do mar nas proximidades das nascentes dos rios Verde e Aiuruoca, na Serra da Mantiqueira.

No tocante ao aspecto pedológico, encontram-se Latossolos nas colinas suavizadas do entorno do reservatório de Furnas, bem como Argissolos que são medianamente profundos, apresentam menor permeabilidade quando comparado aos Latossolos. Há ocorrências de Cambissolos, que são solos fortemente drenados e pouco desenvolvidos, constituído por materiais minerais, apresentando baixa fertilidade, mais predominante na parte leste da bacia (PIRH, 2017).

Ainda segundo o Plano Integrado de Recursos Hídricos (PIRH, 2017) na região da bacia se encontra principalmente dois tipos de biomas, a Mata Atlântica (em maior proporção) e Cerrado. Contudo, devido à significativa exploração do território pela ação antrópica, boa parte dos biomas foi devastada.

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 2008), a bacia é altamente explorada por diversos segmentos usuários de recursos hídricos, principalmente para fins de geração de energia hidroelétrica (ex: Furnas Centrais Elétricas S.A), incluindo uma expressiva área antropizada, como áreas agrícolas e de pecuária.

Dentre os diversos usos das águas na bacia, a Usina Hidrelétrica de Furnas foi a primeira usina construída pela Empresa Furnas Centrais Elétricas S.A. A barragem localiza-se no curso médio do rio Grande, no trecho comumente denominado “Corredeiras das Furnas”, entre os municípios de São João Batista do Glória e São José da Barra, no estado de Minas Gerais, com potência instalada de 1.216MW. A barragem iniciou sua construção no ano de 1958, sendo que a primeira unidade começou a operar em setembro de 1963 (FURNAS, 2019).

A cota máxima do projeto é 768m e a mínima 750m do nível d’água, tendo o reservatório um volume total de 22,95 bilhões de m³ e volume útil de 17,217 bilhões de m³ (FURNAS, 2019).

A construção de um reservatório tem por objetivo armazenar água que escoar em um curso d’água, podendo haver diversas finalidades para sua utilização. Geralmente, o interesse para a construção de um reservatório é de caráter público-social, tendo em vista que pode beneficiar a sociedade de diversas maneiras, observando os usos múltiplos da água, como é caso da geração de energia elétrica, irrigação, navegação, lazer, abastecimento humano e industrial, controle de cheias dentre outros.

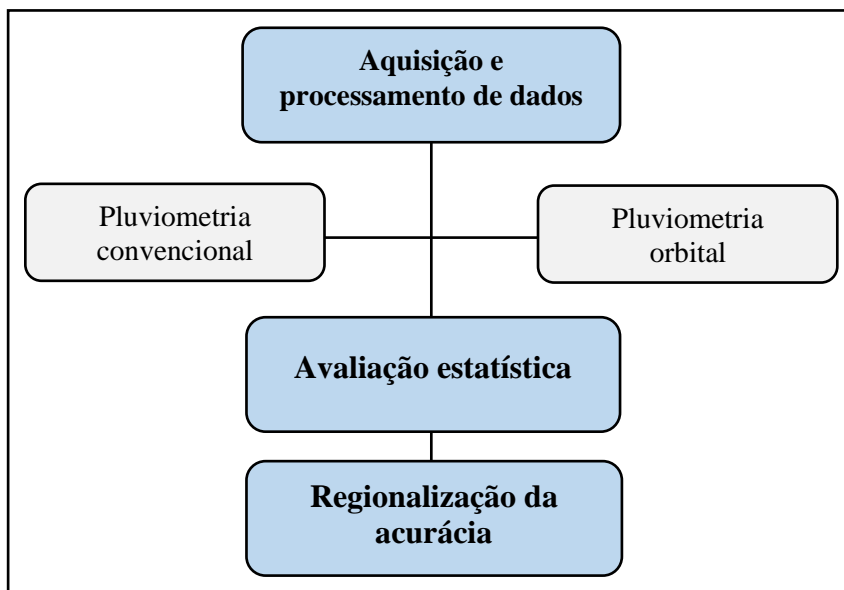
Entretanto, a construção de reservatórios impacta um conjunto de aspectos que devem ser mensurados, analisados e discutidos, pois acarreta prejuízos à fauna e flora, como a desapropriação, remoção de habitantes dentro da área de inundação, alagamento de terras agricultáveis e mudança no regime de fluvial causando prejuízo social expressivo.

As águas do reservatório são usadas de diversas maneiras, tendo como principais usos na vertente do “braço sul” (regionalmente conhecido como rio Sapucaí), plantações de café, pecuária extensiva de corte e leite, nos cultivos de milho e cana. Já na vertente do “braço norte” (regionalmente conhecido como rio Grande), os principais usos são de mineradoras e na pecuária extensiva de corte e leite.

5.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos do presente estudo foram organizados de acordo com a Figura 15.

Figura 15 - Fluxograma metodológico do estudo



Fonte: o autor

5.3. AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTOS DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

5.3.1. Dados pluviométricos convencionais

A aquisição dos dados de precipitação convencionais foi realizada por meio do portal da Agência Nacional de Águas, via o Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb - <http://hidroweb.ana.gov.br>), no qual oferece o acesso ao banco de dados diários que contém os registros coletados pela Rede Hidrometeorológica Nacional.

Após a aquisição dos dados fez-se necessária a realização do procedimento de filtragem, com o intuito de identificar as estações que pertenciam a área de estudo, obtendo, deste modo, 220 estações pluviométricas pertencentes à bacia do reservatório de Furnas.

Observando a recomendação da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foi adotado, como período-base, a Normal Climatológica de 1981 à 2010. Segundo a OMM, a Normal Climatológica apresenta “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, no mínimo três décadas consecutivas” (INMET, 2019).

Com a adoção deste período de análise, das 220 estações pertencentes a área de estudo, somente 69 estações enquadraram-se nos critérios supramencionados. A Tabela 1 apresenta as estações pluviométricas selecionadas para este estudo.

Tabela 1- Lista de estações pluviométricas utilizadas

Responsável	Operadora	Código	Estação	UTM X	UTM Y
ANA	IGAM-MG	2145008	Fazenda Juca Casimiro	473311	7581079
ANA	IGAM-MG	2145009	Usina do Chicão	450540	7576043
ANA	IGAM-MG	2145020	Chácara Santana	473131	7602754
ANA	IGAM-MG	2145024	Palmela dos Coelhos	454486	7590752
ANA	CPRM	2145007	Usina Couro do Cervo	482344	7639814
ANA	IGAM-MG	2145017	Monsenhor Paulo	444397	7593610
ANA	CPRM	2145032	Coqueiral	453436	7656451
FURNAS	FURNAS	2045004	Santana do Jacaré	487001	7688361
ANA	CPRM	2045020	Candéias	471461	7704389
ANA	IGAM-MG	2043018	Carandaí	624671	7682274
ANA	IGAM-MG	2044027	Ponte Fernão Dias	522557	7706520
ANA	IGAM-MG	2044038	Resende Costa	579201	7686118
FURNAS	FURNAS	2045021	Formiga	456281	7737865
ANA	CPRM	2044037	Santo Antônio do Amparo	509617	7684029
ANA	IGAM-MG	2143005	Campolide	622413	7646529
ANA	IGAM-MG	2143008	Ibertioga	607837	7630212
ANA	IGAM-MG	2143006	Barroso	605879	7656791
ANA	IGAM-MG	2143007	Vargem do Engenho	643882	7655888
ANA	IGAM-MG	2144002	Porto Tiradentes	579702	7664102
ANA	IGAM-MG	2144003	Caxambu	506337	7568309
ANA	IGAM-MG	2144004	Baependi	512792	7572579
ANA	IGAM-MG	2144006	Luminárias	508746	7621743
ANA	IGAM-MG	2144009	Porto do Elvas	589744	7659347
ANA	IGAM-MG	2144010	São Vicente de Minas	558040	7600365
ANA	IGAM-MG	2144022	Fazenda Paraíba	566725	7595166
ANA	IGAM-MG	2144024	Vila rio das Mortes	569661	7656738
ANA	IGAM-MG	2144025	Carvalhos	555368	7567291
ANA	IGAM-MG	2143009	Usina Barbacena	616336	7647034
ANA	IGAM-MG	2144001	Bom Jardim de Minas	583240	7572796
ANA	IGAM-MG	2144007	Madre de Deus de Minas	569805	7623225
ANA	IGAM-MG	2144019	Andrelândia	571126	7596377
ANA	IGAM-MG	2144000	Bom sucesso	523696	7674085
ANA	IGAM-MG	2144018	Aiuruoca	540951	7569641
ANA	IGAM-MG	2144021	Fazenda Laranjeiras	568224	7603031
ANA	IGAM-MG	2145001	Conceição do rio Verde	491822	7579654
ANA	CPRM	2146027	Juréia	358825	7646378
ANA	CPRM	2146029	Cachoeira Poço Fundo	383788	7589901
ANA	IGAM-MG	2144005	Itumirim	513194	7642339
ANA	IGAM-MG	2145003	Três Corações	472651	7598049
ANA	IGAM-MG	2144037	Cruzília	520582	7585392

(continua)

Responsável	Operadora	Código	Estação	UTM X	UTM Y
ANA	CPRM	2146030	Muzambinho	342534	7634973
ANA	IGAM-MG	2244057	Ponte do Costa	561019	7553003
ANA	IGAM-MG	2244068	Itanhandu	506266	7534580
ANA	IGAM-MG	2244054	Usina Congonhal	516243	7553759
ANA	IGAM-MG	2244065	Alagoa	537430	7548311
FURNAS	FURNAS	2245074	UHE M. M. de Moraes	427857	7561104
ANA	IGAM-MG	2245085	Vargem do Cervo	405351	7552252
ANA	IGAM-MG	2245066	Conceição dos Ouros	418607	7521115
ANA	IGAM-MG	2245077	Pouso Alegre	401104	7539772
ANA	IGAM-MG	2245083	São João de Itajubá	453988	7525535
ANA	IGAM-MG	2245087	Bairro Santa Cruz	477871	7522113
ANA	IGAM-MG	2245089	Silvianópolis	413800	7563156
ANA	IGAM-MG	2245090	Conceição das Pedras	452773	7549146
ANA	IGAM-MG	2245065	Cristina - Montante	472601	7543874
ANA	IGAM-MG	2245080	Virgínia	490675	7529751
ANA	IGAM-MG	2245086	Ponte do rodrigues	412079	7527722
ANA	IGAM-MG	2245088	Maria da Fé	461578	7532290
ANA	IGAM-MG	2245104	Sapucaí-Mirim	423536	7484485
ANA	IGAM-MG	2245084	Bairro do analdino	409185	7504303
ANA	IGAM-MG	2245070	Brasópolis	436016	7514863
ANA	IGAM-MG	2246127	Borda da Mata	380091	7536026
ANA	IGAM-MG	2246050	Cambuí (csme)	393167	7499525
ANA	IGAM-MG	2144023	Ibituruna	527226	7661997
ANA	IGAM-MG	2144020	Usina São João del Rei	582191	7671500
ANA	IGAM-MG	2245064	Delfim Moreira	470517	7510724
ANA	IGAM-MG	2245010	Fazenda da Guarda (parque)	450554	7490839
DAEE-SP	DAEE-SP	2245018	Vila Capivari	441806	7487733
DAEE-SP	DAEE-SP	2245029	Zé da Rosa	428139	7482140
ANA	IGAM-MG	2245011	São Bento do Sapucaí	424473	7491071

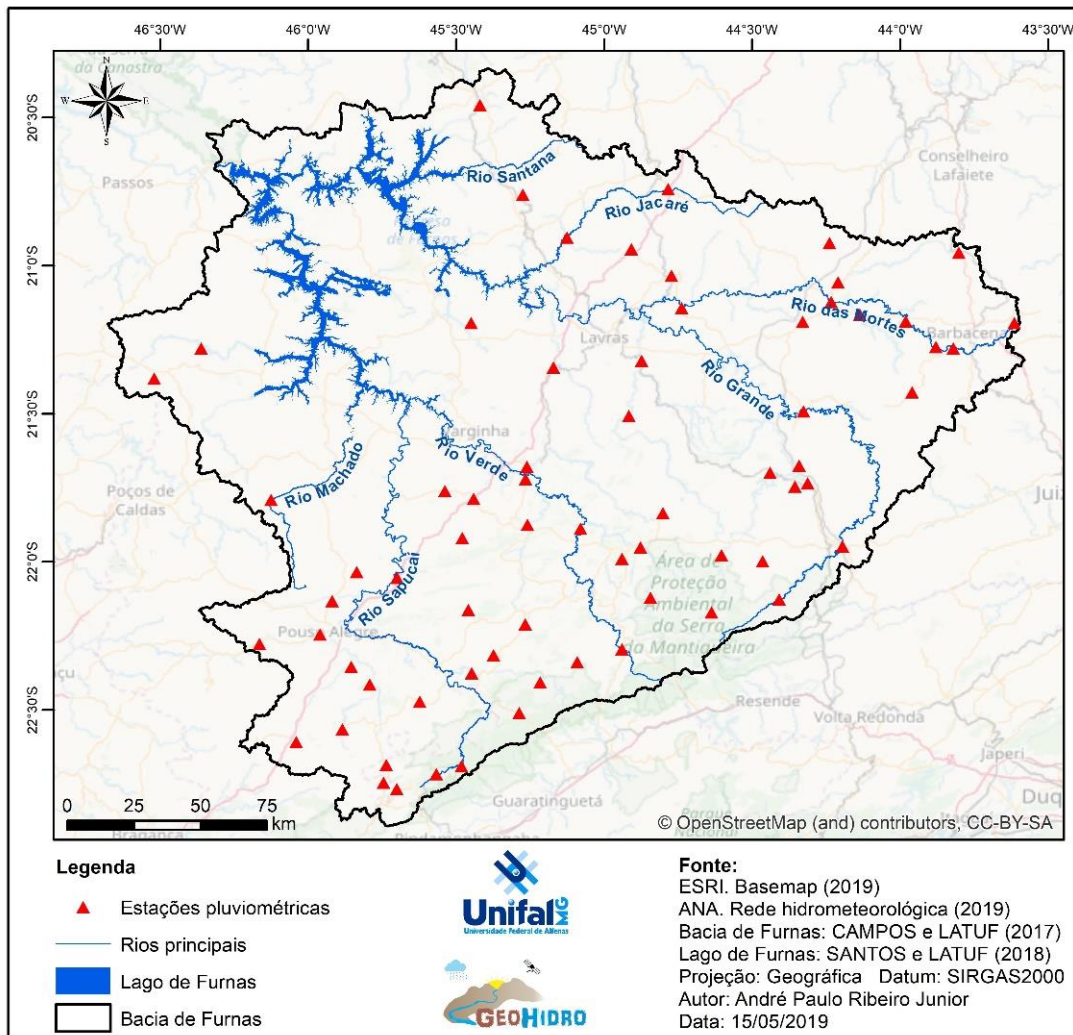
Fonte: ANA (2019). UTM: Fuso 23S.

As 69 estações estão localizadas em diferentes pontos da bacia hidrográfica do reservatório de Furnas, conforme demonstra a Figura 16. Devido aos critérios adotados para esta análise, a região Noroeste da bacia não apresentou nenhuma estação que abrangesse o período-base de análise.

O processamento dos dados adquiridos foi realizado por meio do software Hidro 1.3 da Agência Nacional das Águas, em que os mesmos foram importados no formato .mdb para a obtenção de lâminas mensais no período entre 1981 a 2010. Averiguou-se para cada estação presente na área de estudo se havia em suas séries históricas a existência de falhas, dados duvidosos ou estimados. Identificado tal ocorrência, procedeu-se a exclusão do mês com esta

característica. Logo após a finalização dos procedimentos supramencionados, os dados mensais foram exportados para ambiente de planilha eletrônica.

Figura 16 - Localização das estações pluviométricas convencionais



Fonte: O autor

5.3.2. Dados pluviométricos de base orbital

Os dados de precipitação mensal de base orbital foram adquiridos por meio do site do *Climate Hazards Group* (ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/global_monthly/tifs/), de acordo com o período-base da Normal Climatológica de 1981 a 2010, abrangendo todos os 12 meses do ano, totalizando 360 arquivos. Os dados são fornecidos na projeção Geográfica, datum horizontal WGS84 e formato GeoTiff.

Após a obtenção dos dados de base orbital foi necessário recortar os arquivos para os limites da área de pesquisa, uma vez que eles são disponibilizados com uma abrangência global. Para a delimitação da área foi utilizado o programa ArcMAP™ 10.6.1, empregando o

limite da bacia do reservatório de Furnas por meio do modelo digital de elevação SRTM90m v4, conforme o trabalho de Campos e Latuf (2017).

Posteriormente à delimitação da área, procedeu-se o recorte dos arquivos raster do CHIRPS, para que todos os 360 arquivos, estivessem com os mesmos referenciais de retângulo envolvente da bacia do reservatório de Furnas.

Após a delimitação e o recorte dos arquivos foi realizada a extração dos valores contidos por pixel para cada mês no período entre 1981 a 2010. Para esse fim, foram utilizados os dados pluviométricos convencionais da ANA, pelo módulo *Extract Values to Points*, do programa ArcMAP™ 10.6.1 em que foram adquiridos os valores das lâminas precipitadas (mm), necessários para a análise estatística dos dados.

5.4. AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA

A avaliação estatística da acurácia das estimativas de precipitação de base orbital, visa determinar qual o grau de acerto/erro que o satélite apresenta na região de análise. Para tal, foi utilizado três análises de erro e duas de correlação, sendo elas: o erro absoluto, erro relativo, raiz do erro médio quadrático, coeficiente de correlação de Pearson e coeficiente de determinação.

O erro absoluto foi utilizado para demonstrar a diferença entre o valor observado nos postos pluviométricos convencionais e o valor estimado dos dados de precipitação de base orbital, usando a expressão visualizada pela Equação 1.

$$EA = (Vest) - (Vobs) \quad (1)$$

onde,

EA: Erro absoluto (mm)

Vest: Valor do dado estimado (mm)

Vobs: Valor do dado observado (mm)

Já a análise do erro relativo visa evidenciar a diferença percentual entre os dados, sendo usado a expressão visualizada pela Equação 2.

$$ER = ((Vest/Vobs) - 1) * 100 \quad (2)$$

onde,

ER: Erro relativo (%)

Vest: Valor do dado estimado (mm)

Vobs: Valor do dado observado (mm)

A raiz do erro médio quadrático “é uma medida média dos erros estimados, tem o valor sempre positivo e quanto mais próximo de zero, maior a qualidade dos valores medidos ou estimados” (SANTOS et al., 2014, p.437). Para a obtenção desta métrica utilizou-se a expressão visualizada pela Equação 3.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (V_{est} - V_{obs})^2}{n}} \quad (3)$$

onde,

RMSE: raiz do erro médio quadrático (mm)

Vest: Valor do dado estimado (mm)

Vobs: Valor do dado observado (mm)

n: número de amostras

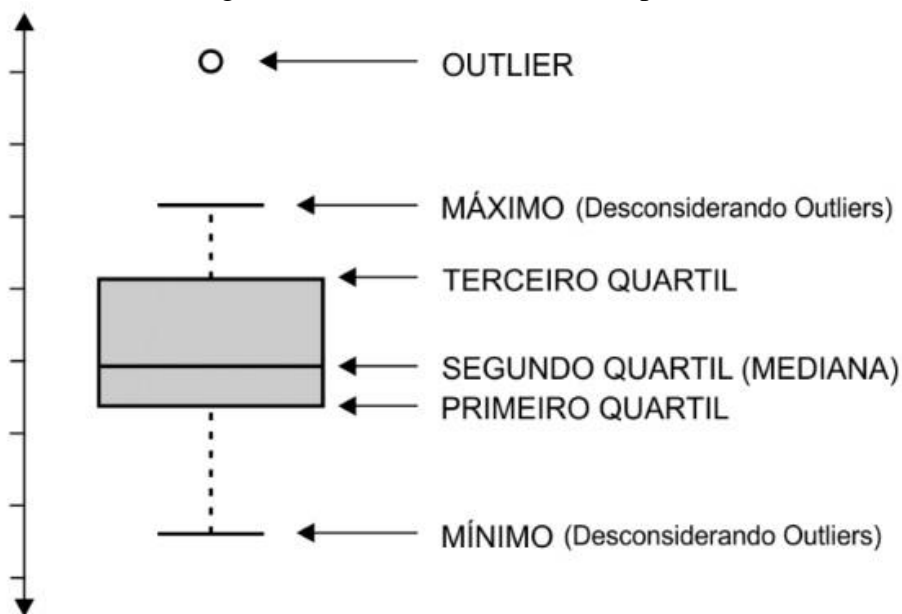
O coeficiente de correlação de Pearson (R) foi desenvolvido por Karl Pearson e Francis Galton, sendo uma medida de associação linear entre variáveis (FILHO E JÚNIOR 2009). O coeficiente varia de -1 a 1, em que o sinal indica a direção positiva ou negativa, a correlação estará mais próxima do valor real quando obtiver o valor 1 ou -1, quanto mais próximo do zero menor será a correlação entre as duas variáveis.

Já o coeficiente de determinação (R²) é uma medida de ajustamento estatístico que visa estimar os valores de Y em função do valor de X, apresentando valores entre 0 e 1, quanto mais próximo os valores estiverem de 1, maior será a correlação entre os dados e quanto mais próximo de 0 menor será a correlação.

Utilizou-se o software RStudio 1.2.1335 para a análise de dados outliers por meio do método de amplitude interquartil. Segundo Costa (2019, p.6) “o R é um software livre(gratuito) e colaborativo para a computação estatística e construção de gráficos”, gerando um gráfico de caixas (Figura 17) composto pela mediana (parâmetro relacionado à tendência central do conjunto de dados), quartil inferior e superior (que compreendem 50% de todos os

valores mensais), valores máximos e mínimos (desconsiderando os outliers) e os outliers (valores discrepantes representados por círculos) (PEREIRA et al, 2018).

Figura 17 – Gráfico de caixas (boxplot)



Fonte: ABG consultoria estatística (2019)

5.5. REGIONALIZAÇÃO DA ACURÁCIA

Para a regionalização da acurácia foi preciso realizar o processo de interpolação dos erros e correlações obtidos na etapa anterior, a partir dos dados pluviométricos convencionais e de base orbital. Desde modo, foi utilizado o ArcMAP™ 10.6.1, em que foram adicionados todos os valores obtidos através dos cálculos estatísticos em ambiente de planilha eletrônica.

Utilizando a função *Join* foram acoplados a todas as estações, os erros absolutos, relativos e a RMSE, bem como as correlações R e R², em vista de regionalizar locais onde o satélite CHIRPS estaria superestimando ou subestimando, de acordo com os dados observados pela ANA.

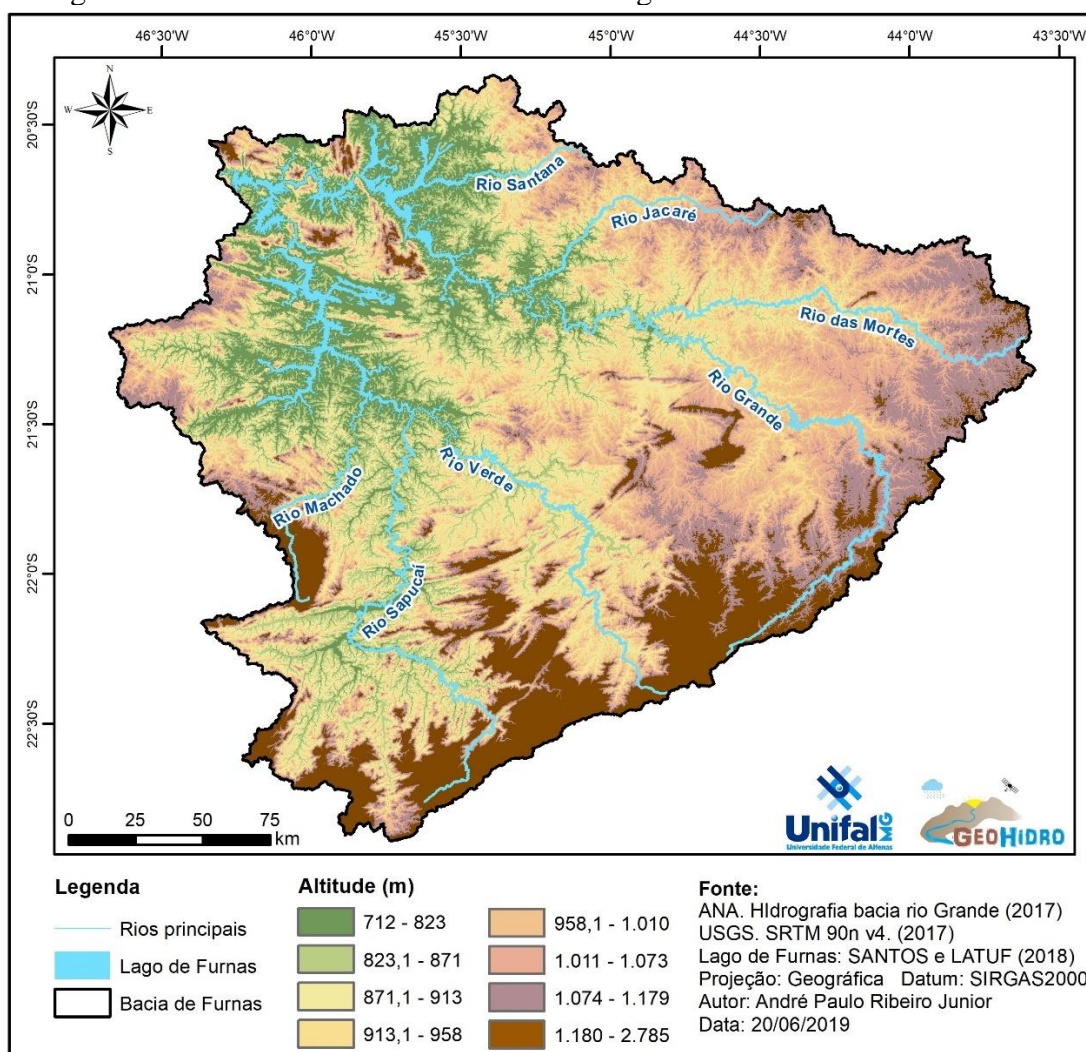
Para esse fim, empregou-se o método de *Inverse Distance Weighting* (IDW), que visa estimar valores de pontos não amostrados, fundamentando-se, em pontos amostrados, atribuindo-se valores em cada amostra e a distância entre elas, desta maneira, foram realizadas 12 interpolações para cada métrica de acurácia, correspondentes aos meses do ano, totalizando 60 mapas. A partir deste procedimento foi possível observar, especialmente, onde estão os maiores erros na bacia do reservatório de Furnas.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a compreensão dos resultados, faz-se necessário destacar algumas características climáticas na região sul do estado de Minas Gerais, em que se localiza a bacia hidrográfica do reservatório de Furnas, na qual está sob análise neste trabalho.

Segundo Reboita (2018) a região sul de Minas Gerais é marcada por topografias elevadas como a Serra da Mantiqueira e da Canastra (Figura 18) e não faz fronteira com o oceano, portanto, “tais características influenciam diretamente o clima regional, pois a distância do oceano contribui para uma maior amplitude do ciclo diurno da temperatura do ar” (REBOITA, 2018, p. 207).

Figura 18 - Classes altimétricas da bacia hidrográfica do reservatório de Furnas



Fonte: O autor

Como pode ser observado na Figura 18, as maiores altitudes encontram-se na porção sul-sudeste da bacia do reservatório de Furnas, coincidindo com a serra da Mantiqueira

apresentando altitudes de 1.600m a 2.400m, além de regiões com altitudes acima de 1.000m nas bordas da bacia do rio Grande, nas cabeceiras do rio das Mortes, rio Jacaré e rio Santana, próximos aos municípios de Barbacena, São João del Rei, Oliveira e Resende Costa.

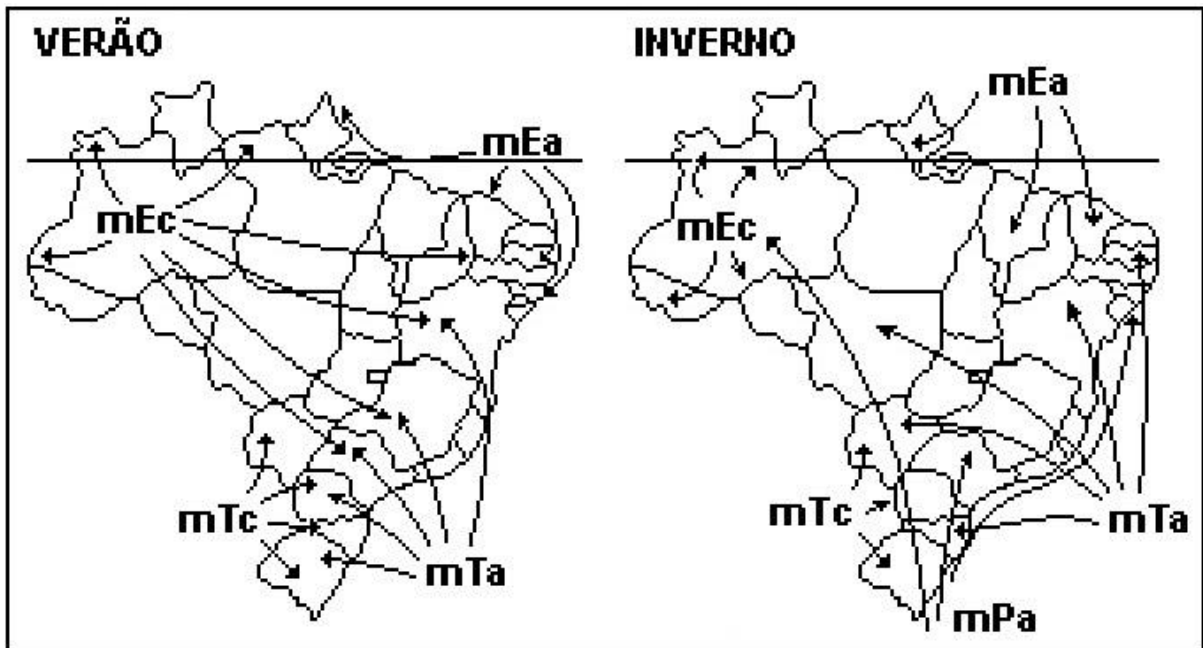
De acordo com Reboita (2015) o setor sul de Minas Gerais, onde se localiza a bacia hidrográfica do reservatório de Furnas, é o mais chuvoso do estado, podendo chegar a 1.600mm de precipitação anual, tendo o início da estação chuvosa em outubro, terminando na segunda quinzena de março. Ainda segundo a autora supramencionada, no verão há menor frequência de frentes frias, aproximadamente 5 sistemas, nos demais meses pode ser influenciado por cerca de 7 a 8 frentes frias (REBOITA, 2015).

O sul de Minas Gerais apresenta principalmente dois tipos climáticos, segundo Koppen, chuvas concentradas no verão e estação seca no inverno, o clima mesotérmico, com chuvas de verão e verões quentes (Cwa) e o clima mesotérmico, com chuvas de verão e verões moderadamente quentes (Cwb) (TORRES, MACHADO, 2017).

No que se refere a atuação das massas de ar Ayoade (2003, p. 99) compreendem que “uma massa de ar pode ser definida, como um grande corpo de ar horizontal e homogêneo, deslocando-se como uma entidade reconhecível e tendo tanto origem tropical quanto polar”. No Brasil encontram-se atuantes a Massa Equatorial Atlântica (quente e úmida), Massa Equatorial Continental (quente e úmida), Massa Tropical Atlântica (quente e úmida), Massa Tropical Continental (quente e com baixos índices de umidade) e a Massa Polar Atlântica (fria e úmida).

Na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas atuam principalmente a Massa Tropical Atlântica (mTa), a Massa Equatorial Continental (mEc), a Massa Polar Atlântica (mPa) e a Massa Tropical Continental (mTc). No verão atua com maior frequência a mEc e a mTa, já no inverno a predominância se dá pela mPa e mTc, conforme demonstra a Figura 19.

Figura 19 - Massas de ar que atuam no Brasil (verão e inverno)



Fonte: TUBELIS, A; NASCIMENTO, F.L.

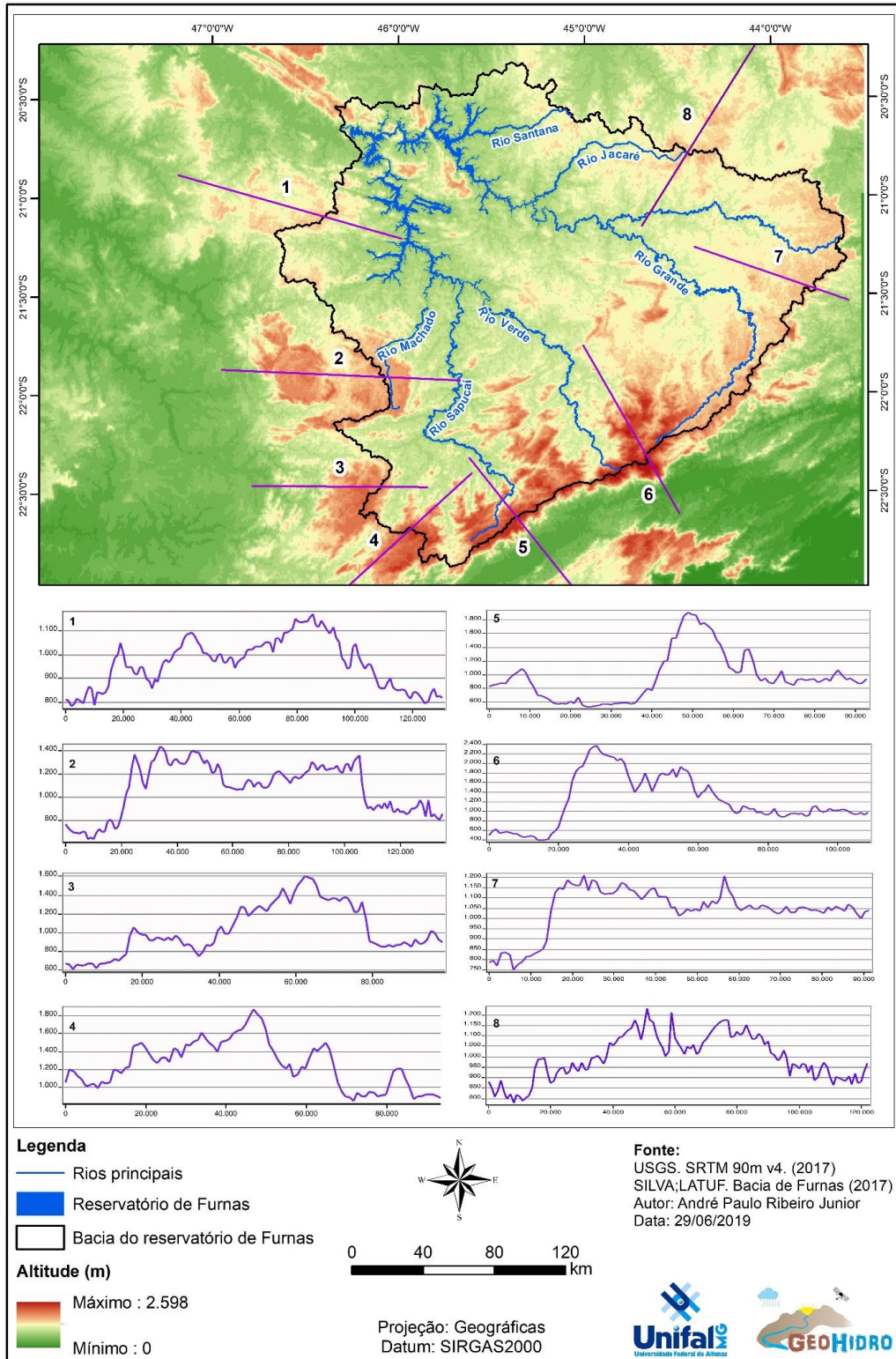
No entorno da bacia do reservatório de Furnas localizam-se duas orografias acidentadas, a serra da Mantiqueira a sudeste e sul da bacia e o planalto de Poços de Caldas a sudoeste da bacia. A Figura 20 evidência perfis topográficos no entorno da bacia, revelando altitudes elevadas nas proximidades dos relevos acidentados, podendo ser observado altitudes aproximadas de 1.600m no perfil 2 no planalto de Poços de Caldas e altitudes de 1.800m nos perfis 4 e 5 e atingindo cerca de 2.400m no perfil 6 localizado na serra da Mantiqueira.

A disposição orográfica no entorno da bacia causa impacto no regime de precipitação, ocasionando chuvas orográficas próximas a serra da Mantiqueira devido a sua altitude, sendo uma barreira para a mTa no verão e para uma das ramificações da mPa no período do inverno, essa orografia influencia tanto no regime de precipitação, quanto na dinâmica das massas de ar que atuam diretamente na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas.

Sendo assim, as dinâmicas de massa de ar e o relevo interferem na ocorrência da precipitação na região em análise, motivos pelo qual se faz importante utilizar as tecnologias do sensoriamento remoto para a detecção de precipitação, em virtude também da distribuição dos postos pluviométricos.

Apresentam-se a seguir as análises advindas da aferição da acurácia das estimativas de lâminas mensais do satélite CHIRPS para a bacia do reservatório de Furnas, no período entre 1981 a 2010.

Figura 20 - Perfis topográficos na bacia do reservatório de Furnas



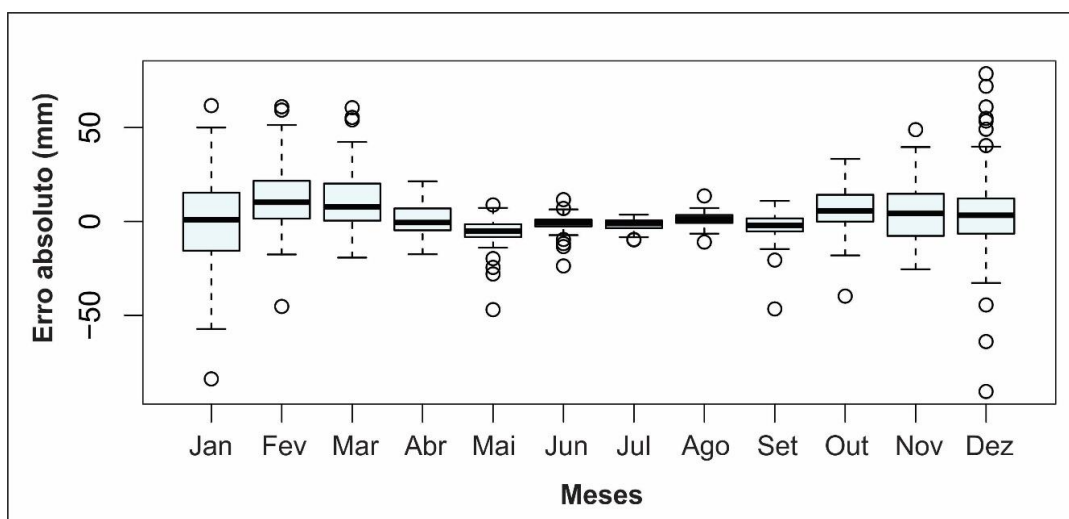
Fonte: O autor

6.1. ERRO ABSOLUTO

O erro absoluto visa apresentar a diferença entre o dado estimado (dados obtidos via sensoriamento remoto) e o dado observado (dados obtidos por meio dos postos pluviométricos da ANA).

Conforme pode ser observado no Figura 21 os meses de novembro a março apresentaram maiores amplitudes em seus dados com valores superestimados, tanto como subestimados expressivos (dados *outliers*), como o mês de dezembro (EA= 61,0 mm e -90,6 mm), janeiro (EA= 61,7 mm e -83,9 mm) e fevereiro (EA= 61,6 mm e -45,3 mm), dos quais vale ressaltar que são meses do período chuvoso na região da bacia do reservatório de Furnas.

Figura 21 - Erro absoluto das precipitações mensais (1981 a 2010)



Fonte: o autor

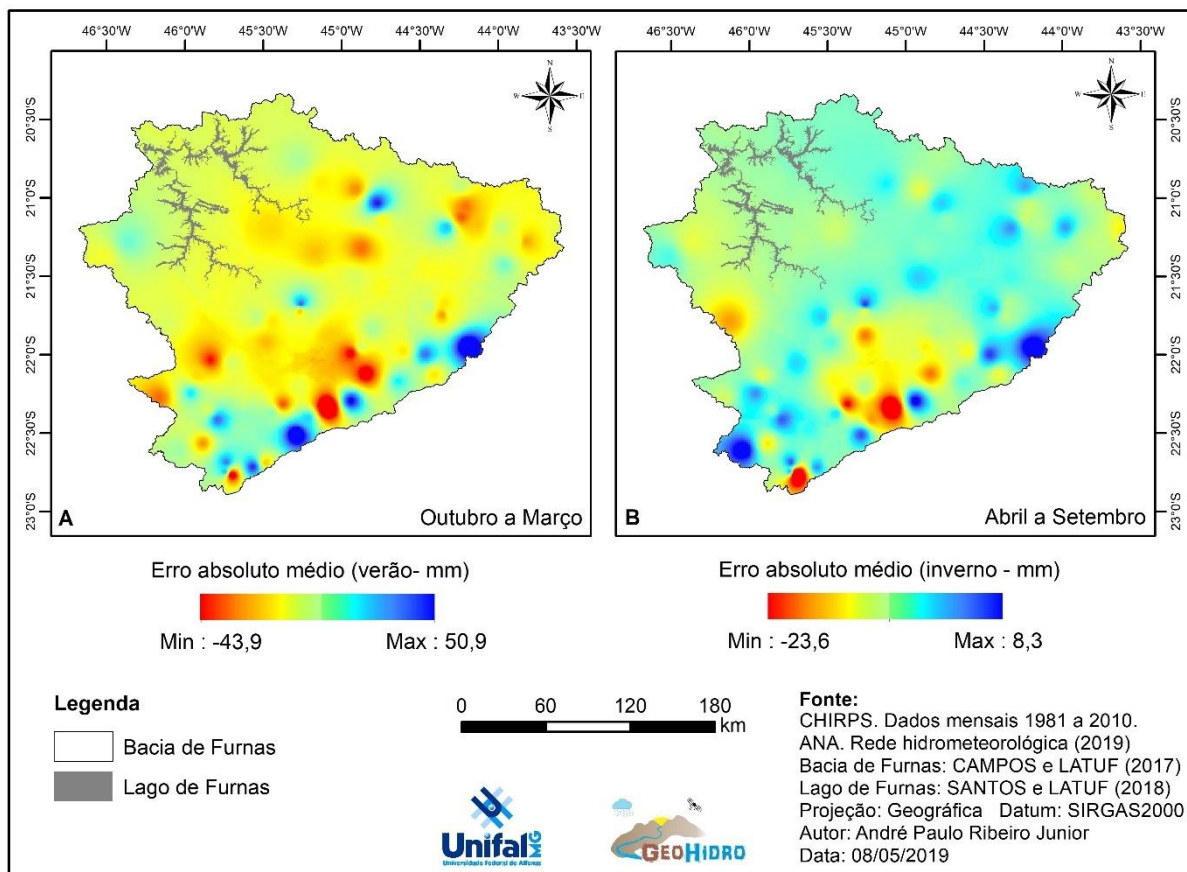
Já entre os meses de abril a agosto apresentam valores com menores amplitudes de erros, como é o caso de julho (EA= 3,6 mm e -9,8 mm) e agosto (EA= 13,6 mm e -11,0 mm), meses que pertencem ao período de estiagem na região da bacia do reservatório de Furnas.

É perceptível que as maiores amplitudes ocorrem nos meses de maiores incidências de precipitação na bacia do reservatório de Furnas, outubro a março, mostrando que o satélite tende a apresentar maiores erros quando há maiores detecções de lâminas precipitadas (atuações da mEc e mTa), diferente do que ocorre no meses de menor incidência de precipitação, abril a setembro, apresentando menor amplitude entre valores máximos e mínimos (atuações da mTc e mPa).

A Figura 22 evidencia a distribuição de lâminas precipitadas médias na bacia do reservatório de Furnas entre 1981 a 2010, no período chuvoso e seco, com o intuito de identificação de sazonalidade espacial. No verão evidenciam erros absolutos negativos, com

algumas localidades com erro absoluto positivo, já no inverno a tendência espacial é que os erros absolutos são positivos, havendo uma superestimativa, contudo, alguns pontos mostram erros negativos associados a serra da Mantiqueira próximos aos perfis 4 e 5 (Figura 20).

Figura 22 - Erro absoluto médio sazonal (1981 a 2010)



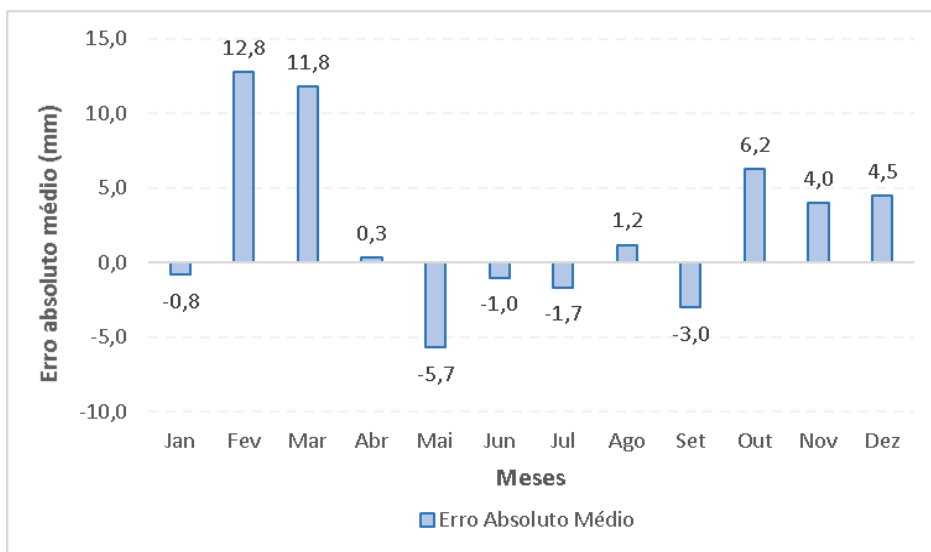
Fonte: O autor

Observa-se que no verão os valores mínimo e máximo dos erros absolutos médios são elevados, concentrando-se próximos a serra da Mantiqueira, com ressalva de alguns erros a norte próximos ao município de São João del Rei. Já no inverno, a amplitude do erro tanto mínimo quanto máximo é menor se comparado com o verão, com valores de -23,6 mm e 8,3 mm, ressalta-se que assim como no verão, os erros absolutos médios ocorrem próximos a serra da Mantiqueira e ao sul próximo ao município de Cambuí.

O índice de menores erros, como pode ser visualizado na Figura 22, ocorre no centro-norte/sul da bacia do reservatório de Furnas principalmente no inverno, em que a precipitação provem principalmente de chuvas frontais devido ao encontro da Massa Polar Atlântica (mPa) e Massa Tropical Continental (mTc), o oposto acontece no verão cuja a precipitação ocorre, principalmente, por fatores convectivos associados a mEc.

A Figura 23 demonstra a média dos erros absolutos das 69 estações em análise, nos doze meses, na qual comprovam que no período de estiagem o satélite CHIRPS apresenta menores erros absolutos quando comparado com os meses de maiores precipitações, evidenciando-se uma tendência maiores amplitudes (superestimação e subestimação) quando há maiores incidências de precipitações.

Figura 23 - Erro absoluto médio mensal na bacia do reservatório de furnas (1981 a 2010)



Fonte: o autor

Conforme pode ser observado na Figura 23 o mês de abril apresenta o menor erro absoluto médio (EA= 0,3 mm), junto com os meses de junho, julho, agosto e setembro, meses que no sul do estado de Minas Gerais a incidência de precipitação é menor, contudo, no mês de janeiro houve uma pequena subestimação o que é bem positivo, considerando que neste mês a taxa de precipitação na região de estudo é bem elevada com valores aproximados de 200 mm a 400 mm mensais.

Para melhor compreender as variabilidades ocorridas no que tange o erro absoluto médio a Tabela 1 apresenta o desvio padrão dos 12 meses de 1981 a 2010.

Tabela 2 - Desvios padrões mensais do erro absoluto na bacia do reservatório de Furnas (1981 a 2010)

Mês	Desvio padrão (mm)	Mês	Desvio padrão (mm)
Janeiro	25,6	Julho	3,3
Fevereiro	18,0	Agosto	3,6
Março	16,8	Setembro	8,0
Abril	9,0	Outubro	12,7
Maió	8,3	Novembro	15,8
Junho	5,0	Dezembro	27,6

Fonte: O autor

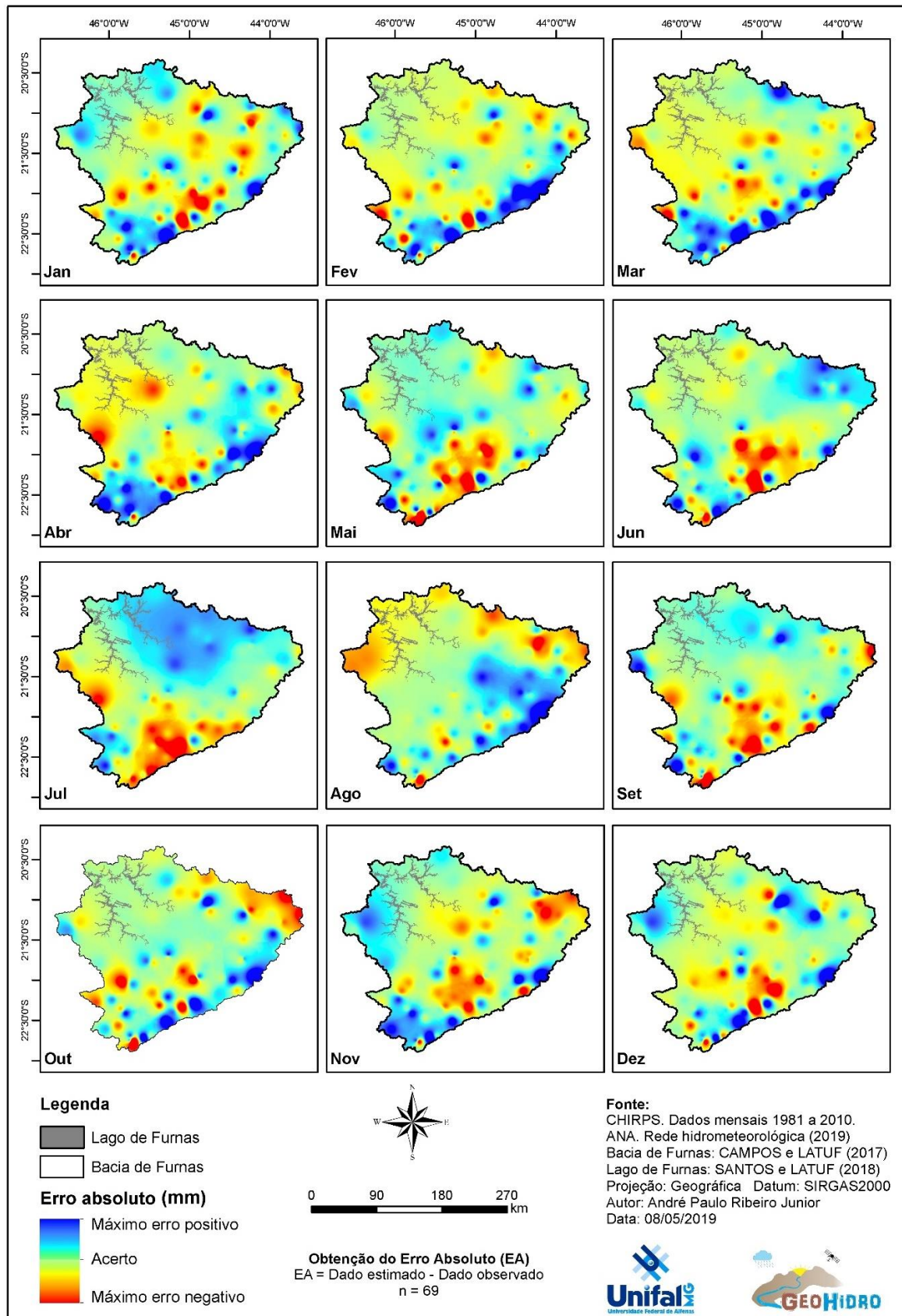
A Tabela 2 confirma os demais dados supramencionados, em que os maiores desvios ocorrem nos meses de dezembro e janeiro, com valores de 27,6 mm e 25,6 mm respectivamente, o que é significativo, pois mostra que quando há incidência de maiores lâminas precipitadas, ocorrem os maiores desvios e a maior amplitude de erro absoluto segundo os dados de 1981 a 2010 nas 69 estações observadas.

A Figura 24 apresenta mapas de interpolação dos erros absolutos por estação pluviométrica, no período de janeiro a dezembro, para que se possa averiguar os locais que se encontram as maiores variações com erros absolutos do satélite entre os dados estimados pelo satélite CHIRPS e dados observados pela ANA.

Nos meses de menores lâminas precipitadas (inverno: junho a setembro) observam-se máximos erros positivos na parte norte, principalmente no mês de julho, nos municípios de Lavras, Resende Costa, Oliveira e Santana do Jacaré, leste e sul nas regiões próximas a Bom Jardim de Minas e Cambuí e Pouso Alegre. No que tange ao máximo erro negativo, são encontrados pontos na parte centro-sul da bacia (Virgínia, Maria da Fé, Campos do Jordão e Cambuquira), a oeste (Muzambinho e Poço Fundo) e noroeste (Coqueiral) da bacia no mês de abril, na parte norte (Oliveira e São João del Rei) no mês de agosto e na parte nordeste (Tiradentes e Carandaí) no mês de setembro e novembro.

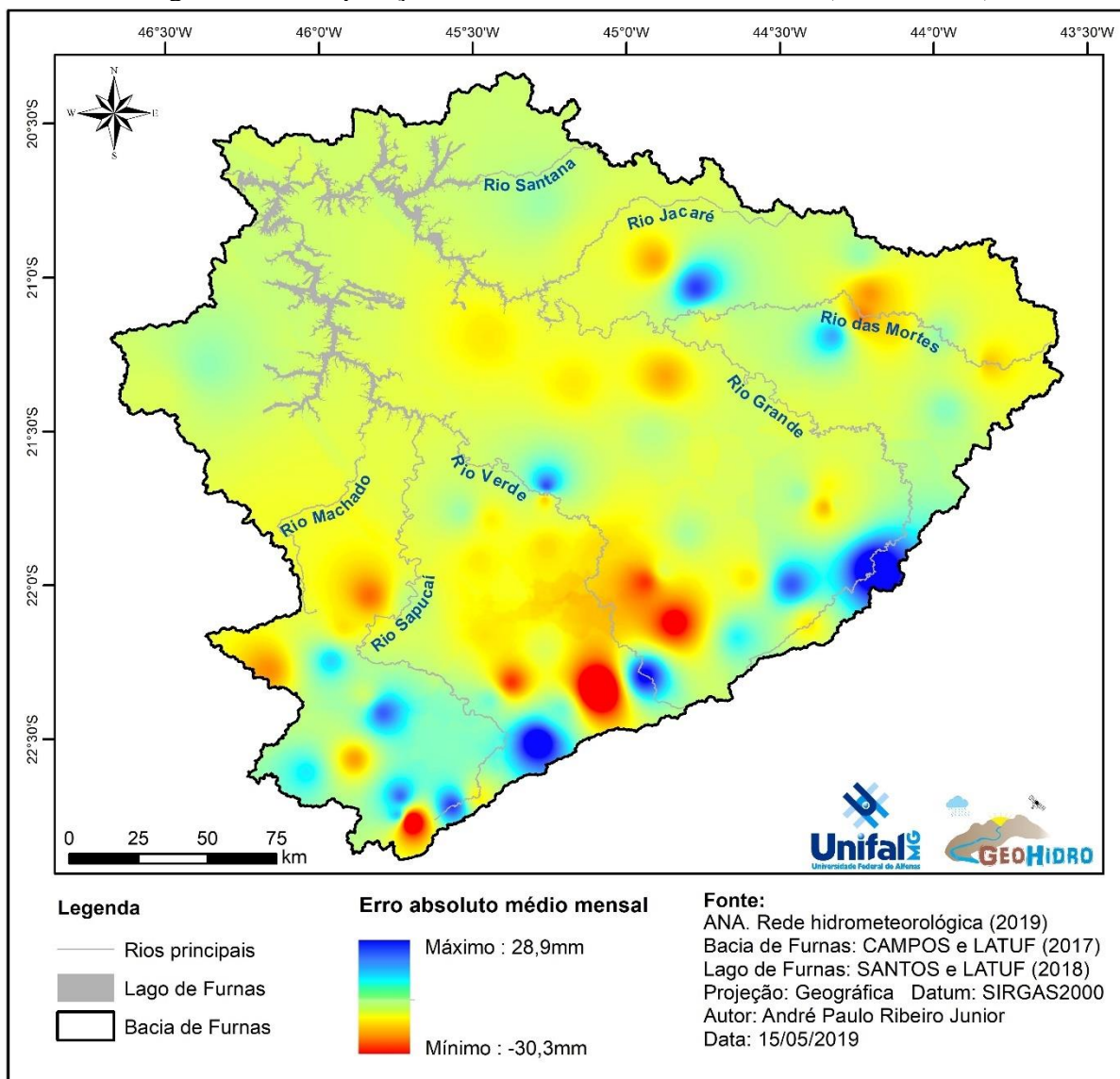
A Figura 25 apresenta a interpolação do erro absoluto médio mensal na bacia do reservatório de Furnas, evidenciando onde se localizam os maiores erros, como pode ser observado estes encontram-se próximos às bacias hidrográficas dos rios Verde, sudeste da bacia, Grande a leste e Sapucaí ao sul, associado ao padrão orográfico regional da serra da Mantiqueira.

Figura 24 - Interpolação do erro absoluto mensal na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas (1981 a 2010)



Fonte: o autor

Figura 25 - Interpolação do erro absoluto médio mensal (1981 a 2010)

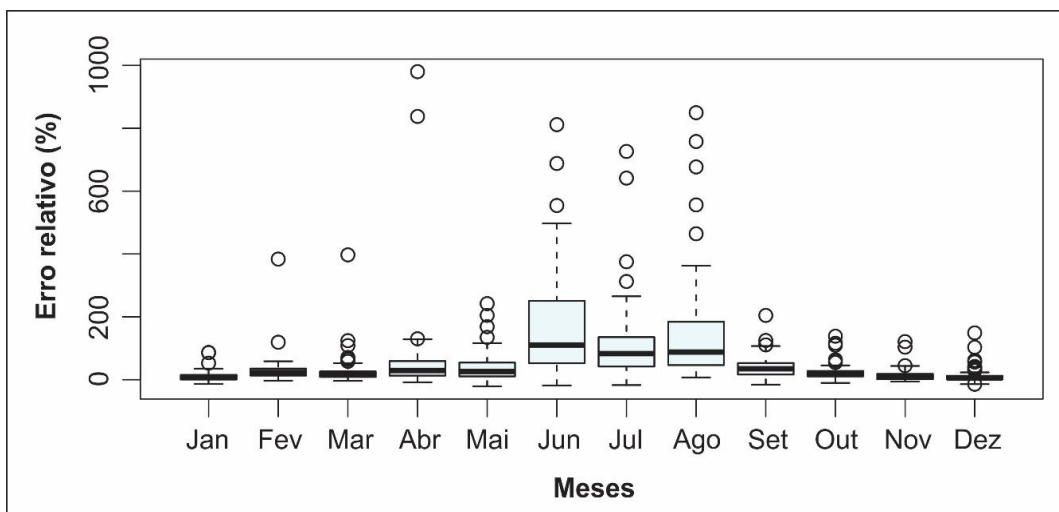


Fonte: O autor

6.2. ERRO RELATIVO

A análise do erro relativo visa evidenciar a diferença percentual entre os dados observados e estimados de precipitação, neste contexto, a Figura 26 apresenta o comportamento do erro relativo dos meses de janeiro a dezembro no período entre 1981 a 2010.

Figura 26 - Erro relativo das precipitações mensais (1981 a 2010)



Fonte: o autor

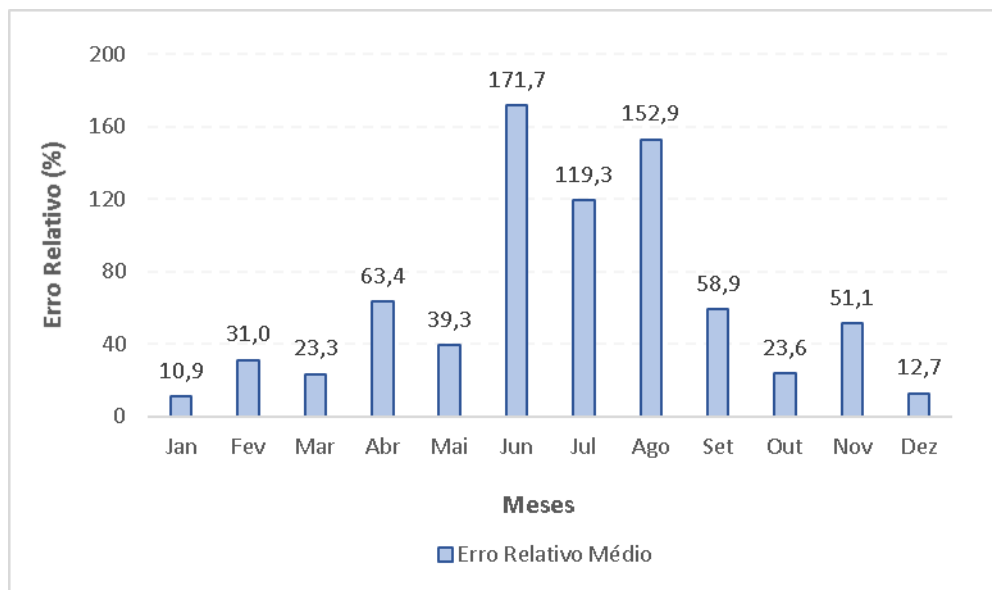
Observa-se que houve uma mudança comparando-se com o erro absoluto, em que os meses do período com menores lâminas precipitadas tiveram seus valores de erro relativo maiores, como podemos observar os meses de abril com um valor de erro relativo de 980%, junho apresentando erro relativo de 811,5% e julho com 726%. Já os meses com maiores lâminas precipitadas obtiveram valores menores, em janeiro apresentando máximo erro positivo de 86,7% e máximo erro negativo de -13,5% e dezembro com o valor de máximo erro positivo de 148,9% e -14,1% de máximo erro negativo.

Quando calculados os erros relativos foram detectados erros extremamente discrepantes como é o caso dos meses de setembro e novembro (1.271,2% e 2.548,2%, respectivamente), tais dados foram retirados da Figura 26 para a melhor visualização dos demais erros relativos, contudo, pode-se notar que esses erros se encontram ao sul da bacia do reservatório de Furnas, nas estações Conceição dos Ouros e Pousos Alegre.

Observa-se a ampla diferença entre os gráficos de erro absoluto e erro relativo (Figura 21 e Figura 26) isso ocorre pois o erro relativo considera a proporcionalidade dos erros, neste contexto, quando o satélite apresenta erros de 30mm a 50mm, aproximadamente, em meses que há pouca incidência de precipitação o erro relativo vai apresentar valores maiores, sendo que proporcionalmente, não deveria haver erros desta magnitude.

Após visualizar a Figura 22 e observar a mudança da disposição dos erros, a Figura 27 apresenta as médias dos erros relativos que auxiliará na compreensão das maiores proporcionalidades de erros de acordo com seus referentes meses.

Figura 27 - Erro relativo médio mensal (1981 a 2010)



Fonte: o autor

Conforme evidência a Figura 26, os meses de janeiro e dezembro apresentaram os menores erros relativos médios, em contraponto, os meses de junho e agosto apresentaram os maiores erros relativos médios, o que nos leva a observar que devido à baixa incidência de precipitação nos meses de abril a setembro o satélite CHIRPS apresenta maiores erros relativos.

Em uma análise mais apurada, observa-se que a média do erro médio sazonal no período do inverno é de 100,9mm e no período do verão é de 25,4mm, confirmando que devido a menor incidência nos meses do período do inverno, qualquer valor que se apresente em evidência é somado como um erro expressivo, fazendo com que a média do erro relativo fique elevado nesses meses.

A Tabela 3 apresenta o desvio padrão do erro relativo médio, demonstrando que os meses de janeiro e dezembro dispersaram menos da média que os demais meses, como os de novembro e junho, por exemplo. Neste cálculo foi considerado os valores relativos discrepantes supramencionados de setembro e novembro, por este fato, o mês de novembro apresenta o maior desvio padrão, pois há uma expressiva discrepância dos demais dados.

Tabela 3 - Desvios padrões mensais do erro relativo na bacia do reservatório de Furnas (1981 a 2010)

Mês	Desvio padrão (%)	Mês	Desvio padrão (%)
Janeiro	17,4	Julho	126,9
Fevereiro	47,1	Agosto	168,8
Março	23,5	Setembro	152,6
Abril	151,3	Outubro	25,8
Maior	47,7	Novembro	305,7
Junho	169,2	Dezembro	24,6

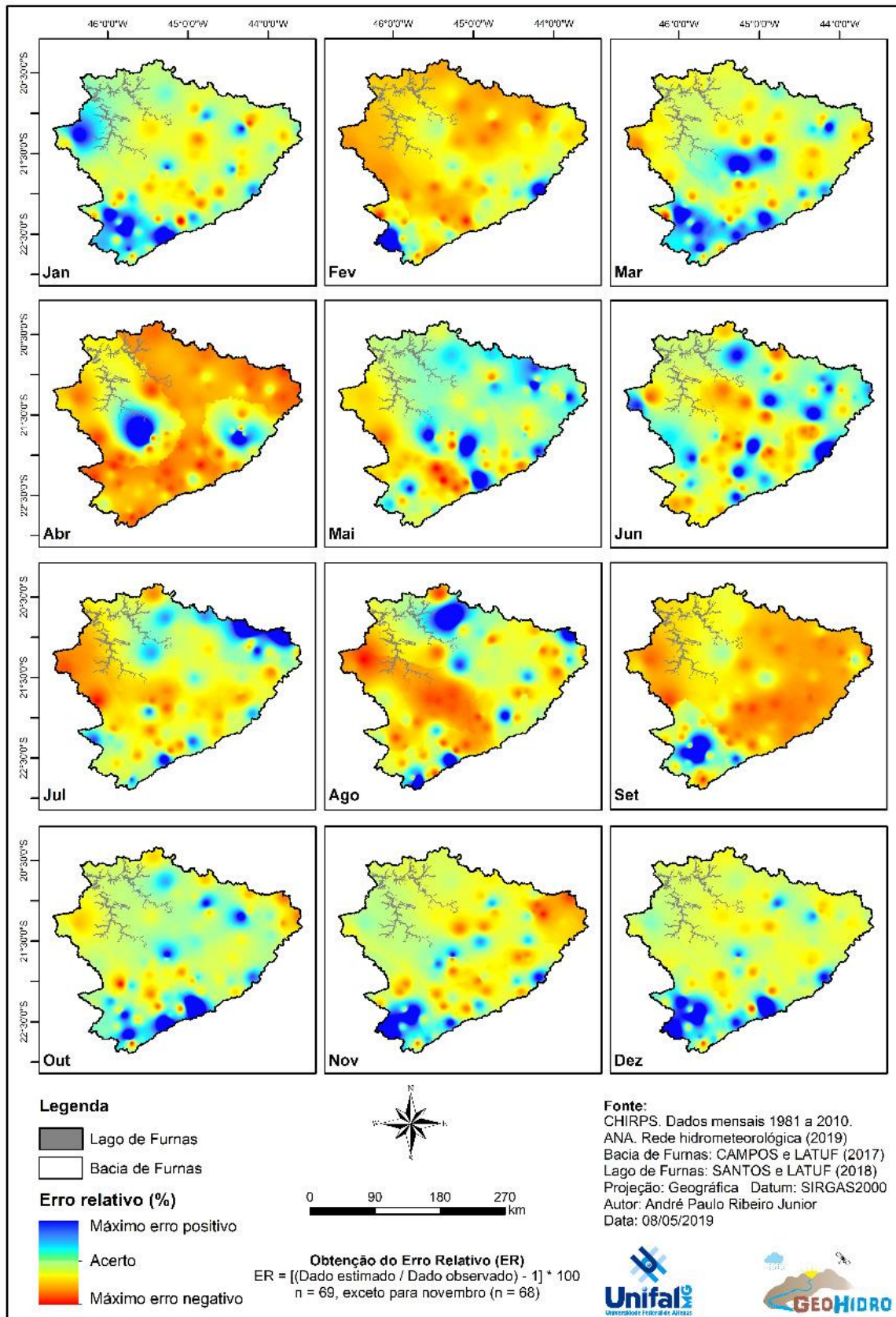
Fonte: o autor

Para melhor observação espacial a Figura 27 regionaliza os erros relativos na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas apoiada em 69 postos pluviométricos.

Em relação aos máximos erros positivos, percebe-se que os mesmos acontecem pontualmente na bacia, como ocorre nos meses de janeiro próximo a região sul da bacia, fevereiro em dois pontos da bacia, nas estações pluviométricas de Cambuí e Bom Jesus de Minas. No mês de abril pode-se identificar dois pontos de maior erro positivo na parte leste (Andrelândia) e centro-oeste (Monsenhor Paulo), já no mês de maio quatro pontos são evidenciados em relação ao erro máximo positivo (Conceição dos Ouros, Itanhandu, Conceição do Rio Verde, Monsenhor Paulo e Tiradentes) e no mês de setembro um ponto ao sul fica em destaque localizado próximo ao município de Conceição dos Ouros, os demais meses apresentam dados pontuais em alguns locais da bacia.

Em relação ao máximo erro negativo seis meses apresentam maiores índices, como o mês de janeiro que exibe em grande parte de suas áreas, principalmente no centro-norte, algum erro máximo negativo, o mês de fevereiro apresenta erros relativos mais evidentes na parte norte (Formiga, Candeias e São João del Rei) e oeste (Muzambinho e Poço Fundo) de sua delimitação, já em abril é possível verificar que a parte sul e norte apresentam áreas de erros relativos bem significativos, em junho a parte oeste destaca-se com maior abrangência de erro e no mês de agosto é perceptível que a área com maior expressividade de erro relativo é o centro-oeste (Careçu, Silvianópolis e Monte Belo).

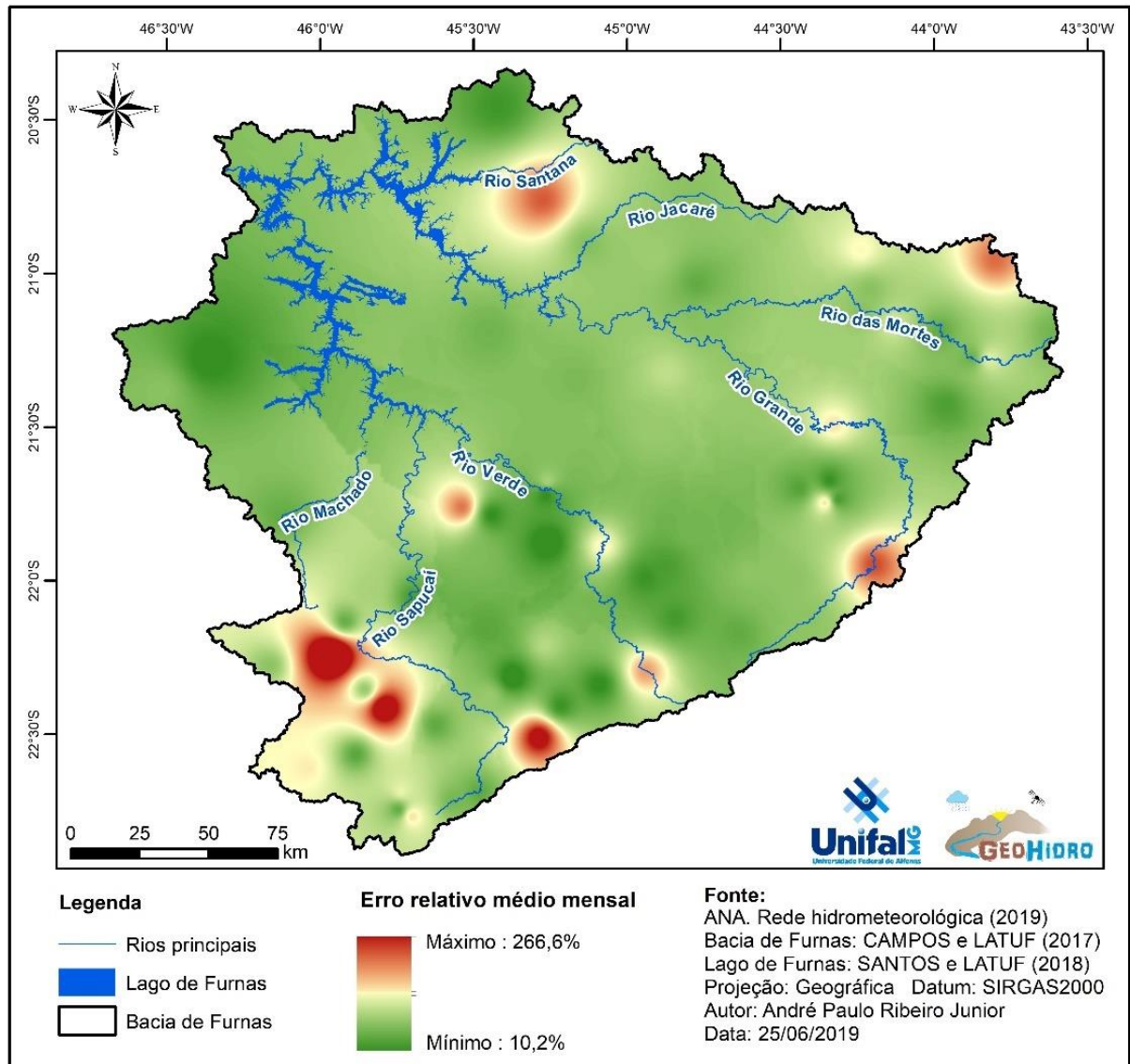
Figura 27 - Interpolação do erro relativo mensal na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas (1981 a 2010)



Fonte: o autor

A Figura 28 apresenta a interpolação dos erros relativos médios mensais da bacia do reservatório de Furnas. Nota-se que os máximos erros estão localizados a oeste da bacia do rio Sapucaí, sul da bacia do rio Santana, norte da bacia do rio das Mortes e a montante da bacia do rio Grande.

Figura 28 - Interpolação do erro relativo médio mensal (1981 a 2010)



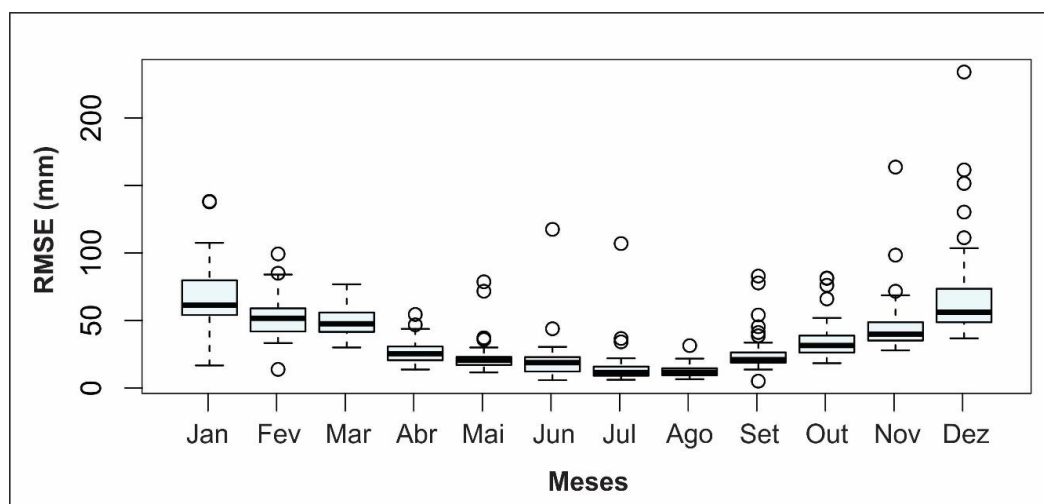
Fonte: O autor

6.3. RAIZ DO ERRO MÉDIO QUADRÁTICO

A raiz do erro médio quadrático (RMSE) visa apresentar a média dos erros estimados, em que quanto mais próximo de zero, maior será a acurácia dos valores estimados.

Conforme demonstra a Figura 29, a maior discrepância da raiz do erro médio quadrático ocorreu no mês de dezembro (RMSE = 233,4 mm) e apresentou o menor valor no mês de setembro (RMSE = 13,7 mm).

Figura 29 - Raiz do erro médio quadrático das precipitações mensais (1981 a 2010)



Fonte: o autor

Em uma análise mais apurada é possível verificar que a mediana, que representa 50% do conjunto de dados, variou entre 11,6 mm, no mês de julho e 61,5 mm, no mês de janeiro. Os valores discrepantes (outliers) se encontram nos meses de dezembro (RMSE = 234,0mm), novembro (RMSE = 163,6mm), junho (RMSE = 117,5mm) e julho (RMSE = 107,0mm).

Nota-se que dois meses apresentaram dados discrepantes abaixo do mínimo, que são os meses de fevereiro com o valor de 13,8 mm e setembro com o valor de 13,7 mm de RMSE.

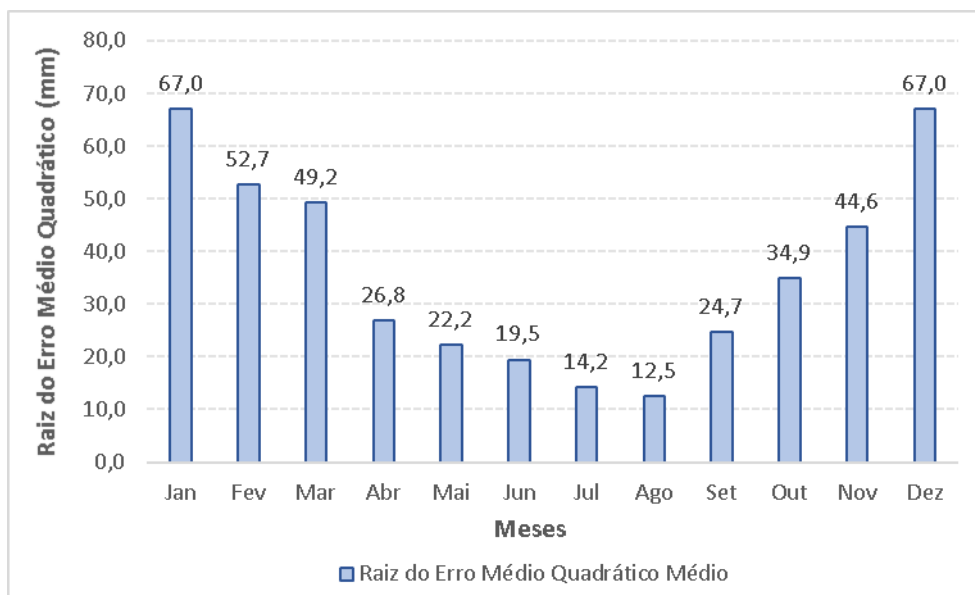
Observa-se que no período do verão, em que os índices de precipitação na bacia do reservatório de Furnas são maiores, que a mediana varia entre 34,9mm (outubro) a 67,0mm (janeiro e dezembro), já no período do inverno, em que os índices de precipitação são menores, a mediana varia em torno de 26,8mm (abril) e 12,5mm (agosto).

A Figura 30 apresenta a média da raiz do erro médio quadrático mensal, no qual nos mostra que os maiores valores ocorreram nos meses de maior incidência de precipitação que são os meses de outubro a março, exibindo valores máximos de 67 mm e menores índices nos meses de julho e agosto, com valores de 14,2 mm e 12,5 mm respectivamente, meses que a incidência de chuva na região é bem menor comparado com os meses em que a média apresenta-se maior.

Esses valores podem estar relacionados intrinsecamente com os tipos diferentes de chuvas que se encontram nos dois períodos mencionados, no verão as precipitações líquidas

ocorrem, em sua maioria, devido a convecção e orografia próximo a serra da Mantiqueira. Já no inverno, a região se apresenta com menores índices pluviométricos, quando ocorrem, se dá pelo encontro das massas de ar, mTa e mPa.

Figura 30 - Média da raiz do erro médio quadrático médio (1981 a 2010)



Fonte: o autor

A Tabela 4 demonstra os valores de desvio padrão, com ocorrência dos maiores desvios acompanhando as médias nos meses de janeiro e dezembro (de acordo com a Figura 30), meses cujo as lâminas de precipitação são bem significativas e os menores valores se encontram abril e agosto, os demais meses apresentam valores de desvio entre 11,2 mm e 18,7 mm.

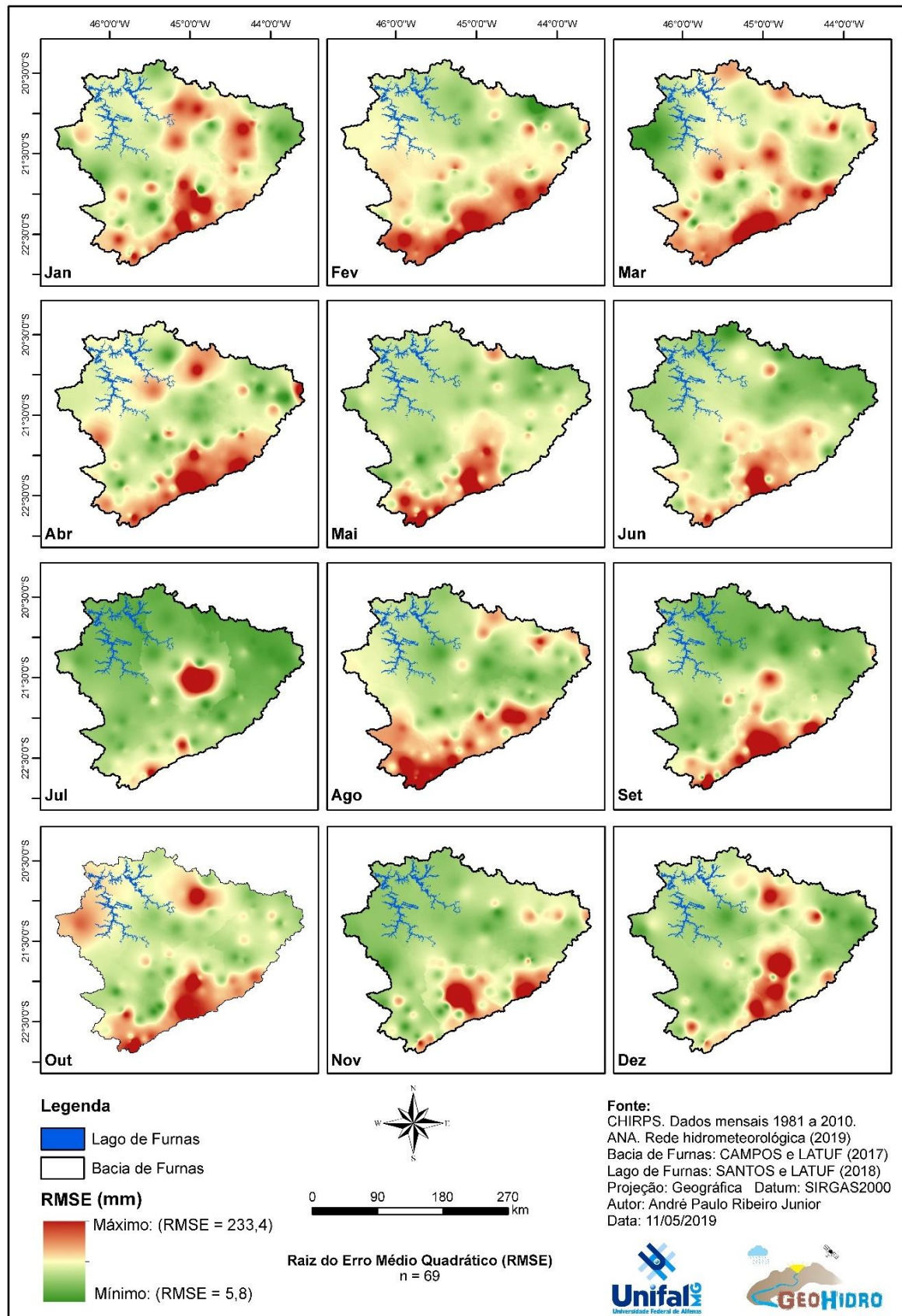
Tabela 4 - Desvios padrões mensais da raiz do erro médio quadrático na bacia do reservatório de Furnas (1981 a 2010)

Mês	Desvio padrão (mm)	Mês	Desvio padrão (mm)
Janeiro	21,5	Julho	12,6
Fevereiro	14,1	Agosto	4,2
Março	11,2	Setembro	12,2
Abril	8,0	Outubro	12,9
Mai	10,5	Novembro	18,7
Junho	13,9	Dezembro	32,0

Fonte: O autor

A Figura 31 demonstra regionalmente onde há os maiores e menores índices da RMSE na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas.

Figura 31 - Interpolação da raiz do erro médio quadrático mensal na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas (1981 a 2010)



Fonte: o autor

Pode-se analisar que os valores de RMSE máximos se encontram próximos às regiões elevadas na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas, especialmente a serra da Mantiqueira, na porção Leste-Sul da bacia, próximos as cidades de Delfim Moreira e Campos do Jordão, nas bacias hidrográficas dos rios Sapucaí e Verde.

Observa-se que o mês de julho apresenta um dado bem discrepante no valor de 117,5mm, sendo evidenciado na Figura 31 devido aos demais valores que se encontram entre 9,6mm e 43,9mm, esse valor foi registrado no município de Luminárias. Nota-se que há três erros bem consideráveis no mesmo município (Santo Antônio do Amparo) nos meses de abril, outubro e dezembro.

Ao sul as estações que apresentam maiores erros são nos meses de fevereiro, maio, agosto e outubro nas seguintes estações, Cambuí e Bairro do Analdinho no município de Consolação, Fazenda da Guarda em Campos do Jordão, Zé da Rosa em Santo Antônio do Pinhal e Sapucaí-Mirim.

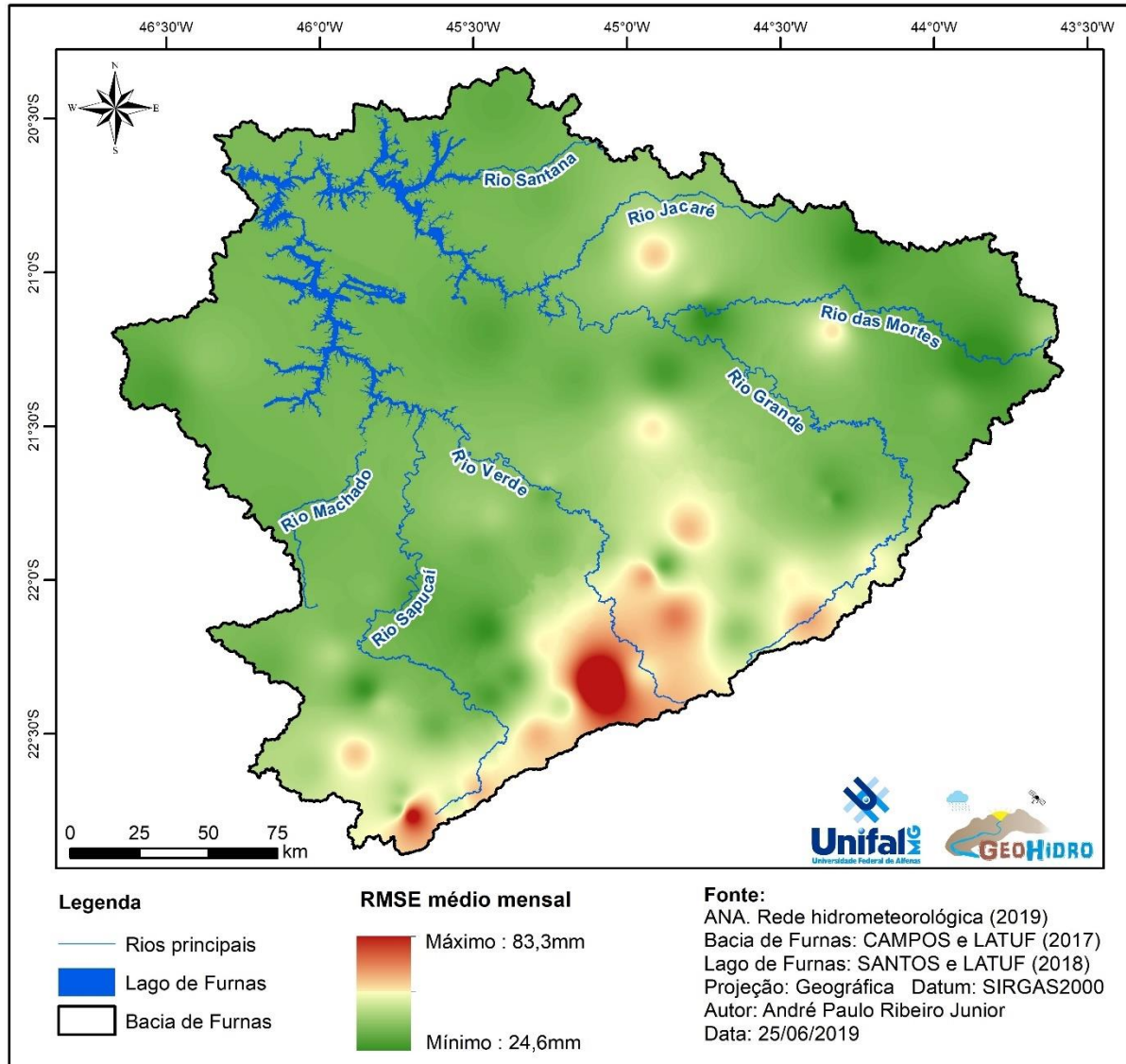
Os valores mínimos são encontrados em sua maioria na parte centro-norte da bacia, principalmente nos meses de menores índices pluviométricos (março a setembro), no que tange os meses de outubro a março nota-se alguns erros a norte da bacia.

As estações Campoloide (Antônio Carlos), Usina Barbacena (Barbacena), Vargem do Engenho (Barbacena), Ponte Fernão Dias (Oliveira), Formiga (Formiga), Muzambinho (Muzambinho), Juréia (Monte Belo), Fazenda Paraíba (Andrelândia, Aiuruoca (Aiuruoca), Sapucaí-Mirim (Sapucaí-Mirim) e Borda da Mata (Borda da Mata), apresentam dados com valores mínimos.

A Figura 32 especializa a raiz do erro médio quadrático médio mensal mostrando onde se localiza a região com o máximo valor de erro médio, nota-se que há dois principais pontos de erros máximos a sudeste e sul da bacia, próximos as regiões do município de Cristina e de Santo Antônio do Pinhal e a montante do rio Verde e Sapucaí. Já próximos aos municípios de Santo Antônio do Amparo, São João Del Rei, Consolação e Baependi, observam-se valores mais próximos a zero.

Nota-se que as raízes dos erros médios quadráticos máximos se encontram próximos a serra da Mantiqueira no sul-sudeste da bacia, sendo ela uma barreira orográfica podendo para a mTa durante o período do verão, contribuindo para a incidência de precipitação na área, sendo possivelmente responsável pelos erros máximos nesta região da bacia.

Figura 32 - Raiz do erro médio quadrático médio mensal (1981 a 2010)

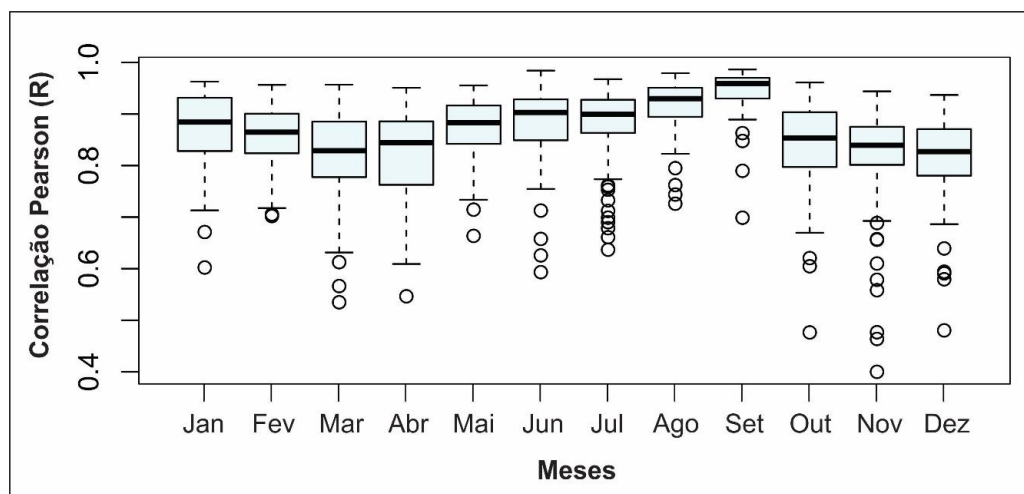


Fonte: O autor

6.4. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R)

A correlação de Pearson visa demonstrar qual o grau de relacionamento entre dois conjunto de dados, para uma correlação ser perfeita ela deve apresentar índice 1 ou -1, quanto mais afastado deste valor, menor será a correlação (próximo a zero), deste modo, é possível observar na Figura 33 em que os boxplots mensais apresentam sua mediana com valores entre 0,9592 em setembro e 0,8271 em dezembro.

Figura 33 - Coeficiente de correlação de Pearson das precipitações mensais (1981 a 2010)



Fonte: o autor

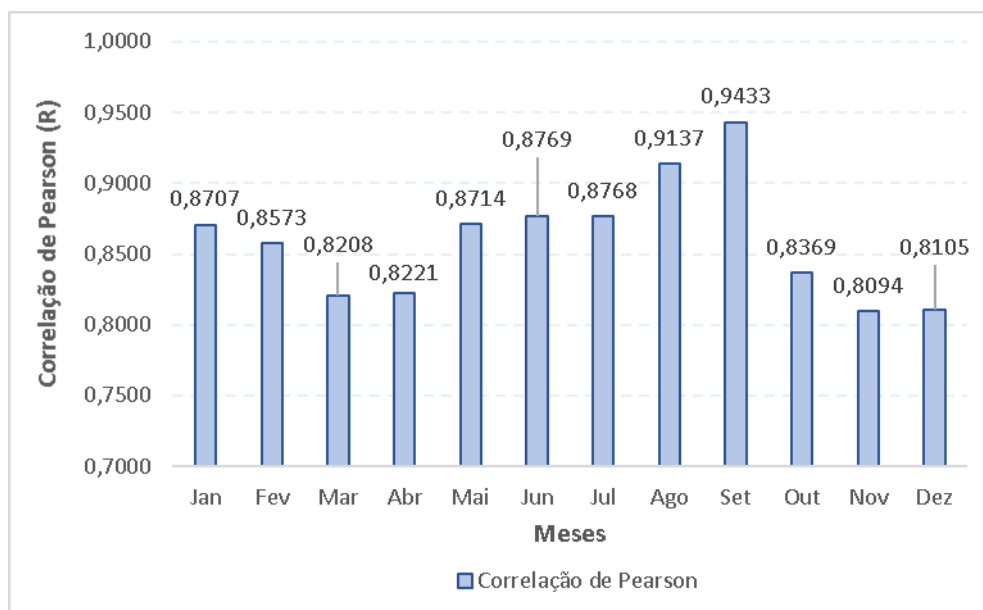
Nota-se no Figura 33 que as medianas se apuram quando se aproximam os meses de abril a setembro, mostrando correlações próximas a 1, meses esses, como já mencionados, que tem valores de precipitação reduzidas, o oposto ocorre com os meses de outubro a março, meses de maior incidência pluviométrica.

No que tange a maiores discrepâncias (dados *outliers*) os meses de outubro ($R = 0,4763$), novembro ($R = 0,3999$) e dezembro ($R = 0,4803$) apresentam os maiores valores abaixo do mínimo mensal, já o valor máximo de correlação foi detectado no mês de setembro ($R = 0,9863$).

A Figura 34 apresenta a média do coeficiente de correlação de Pearson, em que apresentam a média das 69 estações mensalmente, sendo assim, a maior média de correlação se deu no mês de setembro, assim como a máxima do boxplot supramencionado, por outro lado a menor média é encontrada no mês de novembro, observando os demais valores nota-se que eles variam entre 0,8105 e 0,9137 de correlação, apresentando 5 correlações abaixo de 0,85 (limite aceitável para estudos hidrológicos) nos meses de março, abril, outubro, novembro e dezembro.

Visando demonstrar a variabilidade entorno da média a Tabela 5 apresenta os desvios padrões das médias mensais de correlação de Pearson na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas no período de 1981 a 2010

Figura 34 - Média mensal da correlação de Pearson (1981 a 2010)



Fonte: o autor

Tabela 5 - Desvios padrões mensais da correlação de Pearson na bacia do reservatório de Furnas (1981 a 2010)

Mês	Desvio padrão	Mês	Desvio padrão
Janeiro	0,0743	Julho	0,0797
Fevereiro	0,0576	Agosto	0,0536
Março	0,0902	Setembro	0,0461
Abril	0,0870	Outubro	0,0905
Maio	0,0633	Novembro	0,1119
Junho	0,0793	Dezembro	0,0924

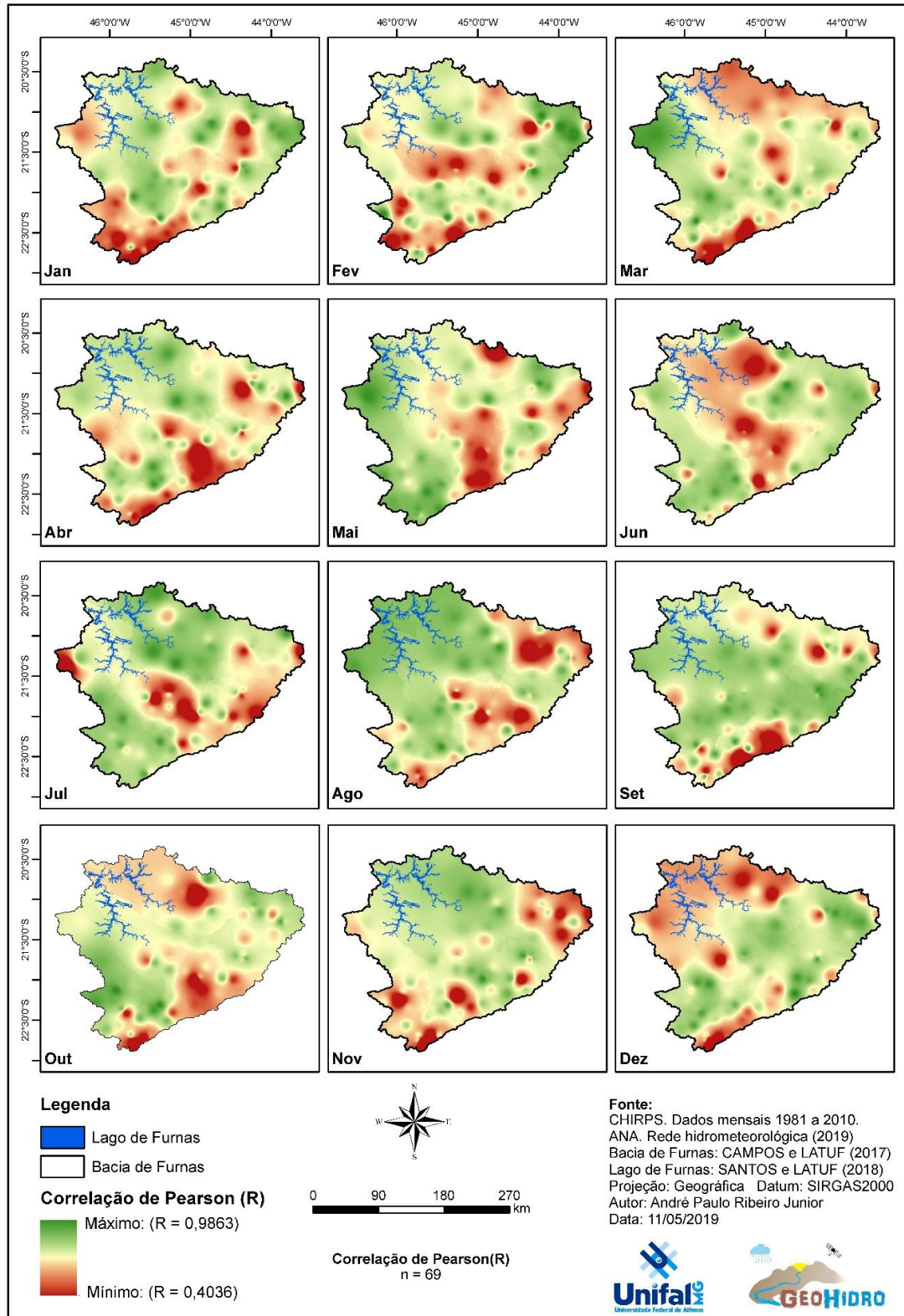
Fonte: O autor

A Tabela 5 demonstra que o maior desvio ocorreu no mês de novembro, em que apresentou a menor correlação dentre todos os meses, já o menor desvio ocorre no mês de setembro, o desvio padrão confirma que quanto maior for a incidência de precipitação maior será a média e, conseqüentemente, maior a correlação entre o dado estimado e observado, isso fica claro ao observarmos que as maiores correlações estão nos meses em que ocorrem as menores índices de precipitação na região e as menores correlações se encontram nos meses de maior incidência de precipitação.

Em análise da média sazonal, o verão apresenta uma correlação de 0,8343, enquanto o inverno um valor de 0,8840, mostrando que nos períodos de menor incidência de precipitação e ou estiagem a correlação entre os dados observados e estimados é melhor. A Figura 35 apresenta mapas mensais dos dados de correlação regionalizados na bacia hidrográfica do

reservatório de Furnas, este auxiliará na observação de maiores e menores correlações na bacia.

Figura 35 - Interpolação dos dados de coeficiente de correlação de Pearson na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas (1981 a 2010)



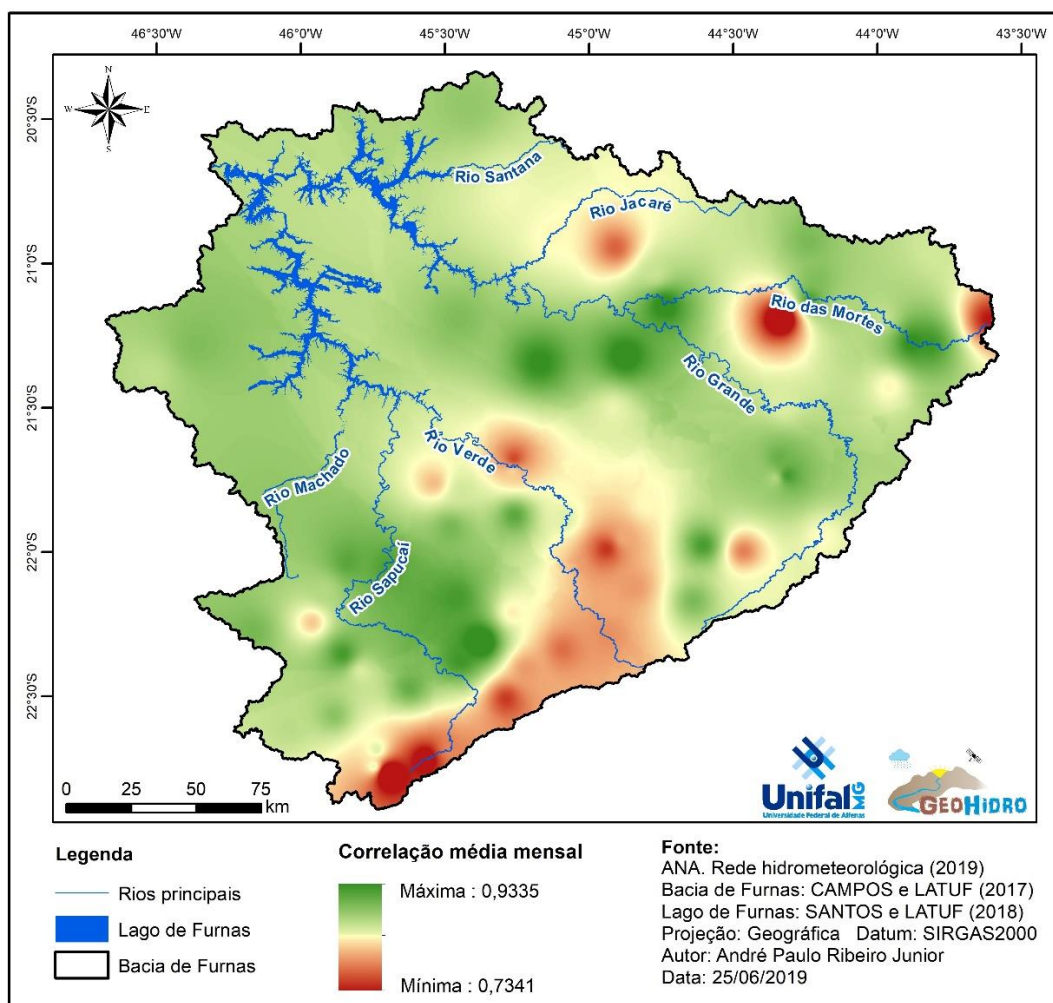
Fonte: o autor

As menores correlações estão localizadas no extremo sul, norte e oeste da bacia hidrográfica do reservatório de Furnas, dentre elas vale destacar as estações de Monte Belo, Muzambinho, Santana do Jacaré, Vila Rio das Mortes (São João del Rei), Delfim Moreira, Cambuí, Conceição do Rio Verde, Pouso Alegre, Porto das Elvas (Tiradentes), que apresentam correlações menores na maioria dos meses.

As maiores correlações ou que os dados estimados e observados mais se aproximam se encontra no centro-norte e nordeste da bacia do reservatório de Furnas, sendo próximas aos municípios de Lavras, Luminárias, Santana do Jacaré, Barbacena e Barroso.

A Figura 36 demonstra a interpolação dos dados médios mensais da correlação de Pearson na bacia do reservatório de Furnas no período de 1981 a 2010. Nota-se que as menores correlações se encontram a montante do rio das Mortes e rio do Sapucaí, no percurso do rio Verde há algumas correlações com valores baixos próximos aos municípios de Baependi, Caxambu, Três Corações e Conceição do Rio Verde.

Figura 36 - Interpolação da correlação média mensal de Pearson (1981 a 2010)



Fonte: o autor

Observa-se que os máximos erros de correlação se encontram no sul-sudeste da bacia hidrográfica do reservatório Furnas, sendo influenciado pela serra da Mantiqueira, que apresenta altitudes de aproximadamente 1.800m a 2.400m.

No que se refere a correlações boas se encontram próximas a sul do rio Grande, próximo ao município de Itumirim, Luminárias e Lavras, a jusante do rio das Mortes na estação de Ibituruna, próximos ao rio Sapucaí observa-se que os municípios de Itajubá, Brazópolis, Conceição dos Ouros e Conceição das Pedras.

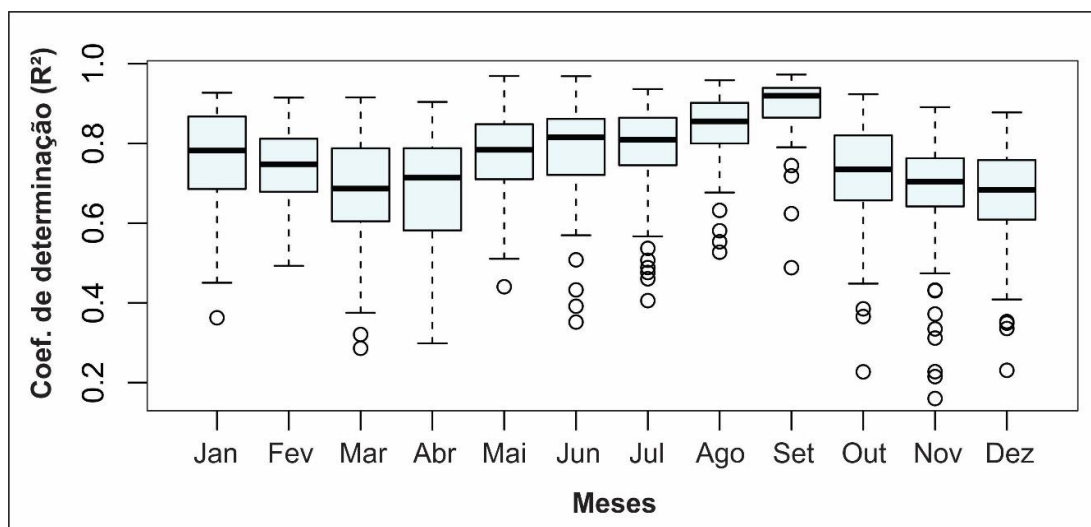
Nas proximidades dos relevos acidentados, serra da Mantiqueira e serra da Canastra, constata-se que menores correlações se encontram próximas da serra da Mantiqueira da qual se encontra a sul-sudeste da bacia.

6.5. COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2)

O coeficiente de determinação indica o grau de relacionamento entre os dados, evidenciando o nível de ajustamento estatístico entre eles em função de um modelo de regressão, vale lembrar que quanto mais próximo os valores estiverem do número 0 menor será o seu coeficiente de determinação, será maior, quando os valores estiverem próximos do a 1.

A Figura 37 apresenta valores de medianas entre 0,6840 no mês de dezembro e 0,9197 no mês de setembro, a máxima correlação apresenta valor de 0,9647 no mês de setembro e a mínima correlação apresenta valor de 0,3709 no mês de abril.

Figura 37 - Coeficiente de determinação das precipitações mensais (1981 a 2010)



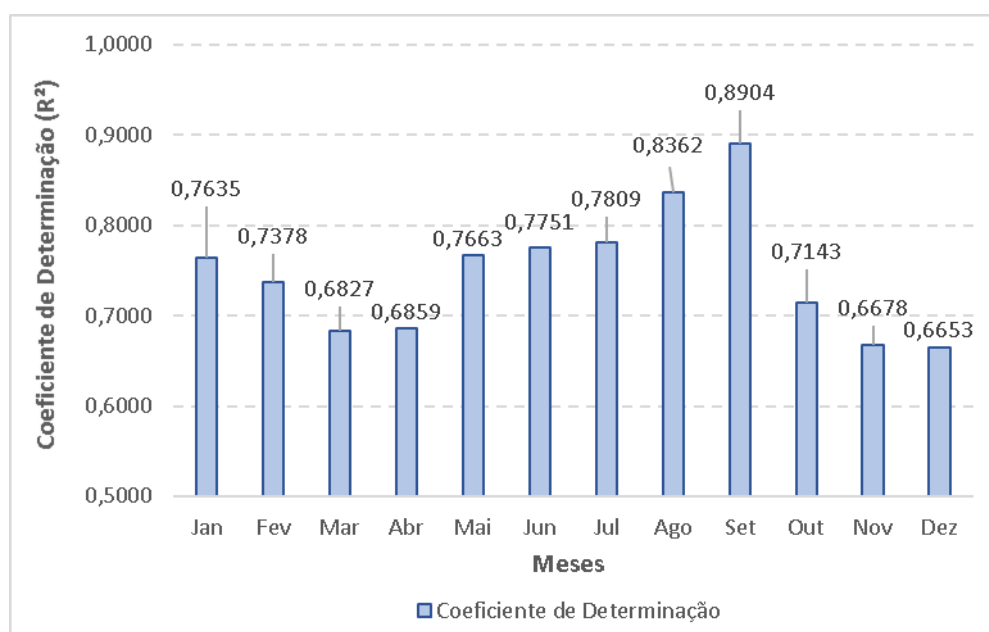
Fonte: o autor

Os dados discrepantes (outliers) na Figura 37 mostram que houve uma subestimação do satélite, principalmente, nos meses de outubro ($R^2 = 0,2269$), novembro ($R^2 = 0,2149$) e dezembro ($R^2 = 0,2307$), como já mencionado anteriormente, meses que ocorrem maiores índices de precipitação líquida na bacia do reservatório de Furnas.

Em análise das amplitudes apresentadas pela Figura 36, mostra que as maiores amplitudes também ocorrem nos períodos de maior incidência de precipitação, ou seja, no verão, em especial nos meses de março e outubro.

A Figura 38 exibe a média mensal do coeficiente de determinação das 69 estações que foram analisadas ao longo do período-base de 1981 a 2010.

Figura 38 - Média mensal do coeficiente de determinação (1981 a 2010)



Fonte: o autor

As médias mensais do coeficiente de determinação exibidas na Figura 38, apresenta dados entre os valores de 0,6653 no mês de dezembro e 0,8904 no mês de setembro, sendo as menores e maiores médias mensais durante o período-base. Percebe-se que 8 meses exibem correlações superiores a 0,7000, sendo eles: janeiro, fevereiro, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro, segundo a média mensal os dados de coeficiente apresentam coeficientes aceitáveis.

A Tabela 6 demonstra os desvios padrões médios mensais do coeficiente de determinação, na qual visa demonstrar a variabilidade entorno da média mensal.

Tabela 6 - Desvios padrões mensais do coeficiente de determinação na bacia do reservatório de Furnas (1981 a 2010)

Mês	Desvio padrão	Mês	Desvio padrão
Janeiro	0,1222	Julho	0,1245
Fevereiro	0,0967	Agosto	0,0924
Março	0,1391	Setembro	0,0804
Abril	0,1379	Outubro	0,1384
Maio	0,1085	Novembro	0,1580
Junho	0,1287	Dezembro	0,1391

Fonte: o autor

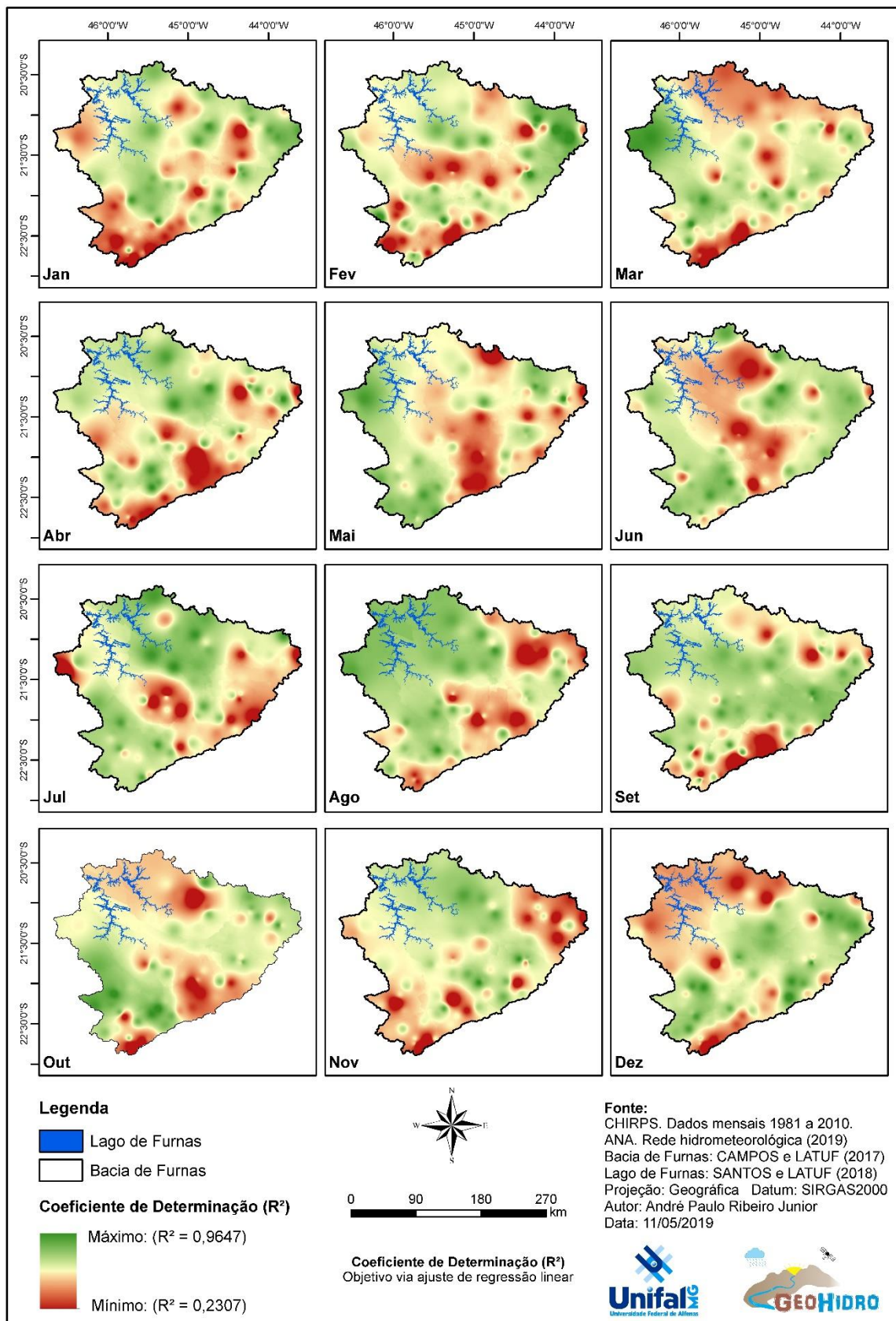
A Tabela 6 mostra que os maiores desvios padrões se encontram nos meses de março e novembro, em contraponto, o menor desvio padrão se encontra no mês de setembro em concordância com os demais resultados apresentados de coeficiente de determinação, no qual mostra que estes meses ocorrem os maiores e menores índices de precipitação.

A Figura 39 apresenta mapas mensais que regionalizam os coeficientes de determinação na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas no período de 1981 a 2010.

Nota-se na Figura 39 que os valores mínimos de R^2 se encontram ao sul, próximo aos municípios de Consolação, Santo Antônio do Pinhal, Campos do Jordão, Delfim Moreira e Cambuí e ao norte, nos municípios de São João del Rei, Barbacena e Santana do Jacaré nos meses de outubro a março, nos meses de abril a setembro os valores mínimos se encontram próximos aos municípios de Caxambu, Baependi, Alagoa, Bom Jardim de Minas a leste, Muzambinho a oeste no mês de julho, Oliveira, Santana do Jacaré, Candéias, Barbacena, São João del Rei e Santo Antônio do Amparo a norte da bacia e Três Corações, Conceição do Rio Verde, Luminárias, Cruzília e Campanha no centro da bacia do reservatório de Furnas.

No que se refere aos máximos R^2 é possível observar próximo ao lago de Furnas nos meses de janeiro, fevereiro, abril, maio, julho, agosto, setembro, outubro e novembro, principalmente nos municípios de Coqueiral, Formiga, Lavras, Monte Belo, Candéias e Santana do Jacaré. Nos demais meses ocorrem em junho e dezembro a norte da bacia nas proximidades dos municípios de Barbacena, São João del Rei, Barroso, Tiradentes e Antônio Carlos, no mês de março coeficientes com valores significantes em Muzambinho ($R^2 = 0,8771$) e Monte Belo ($R^2 = 0,8904$) a oeste da bacia.

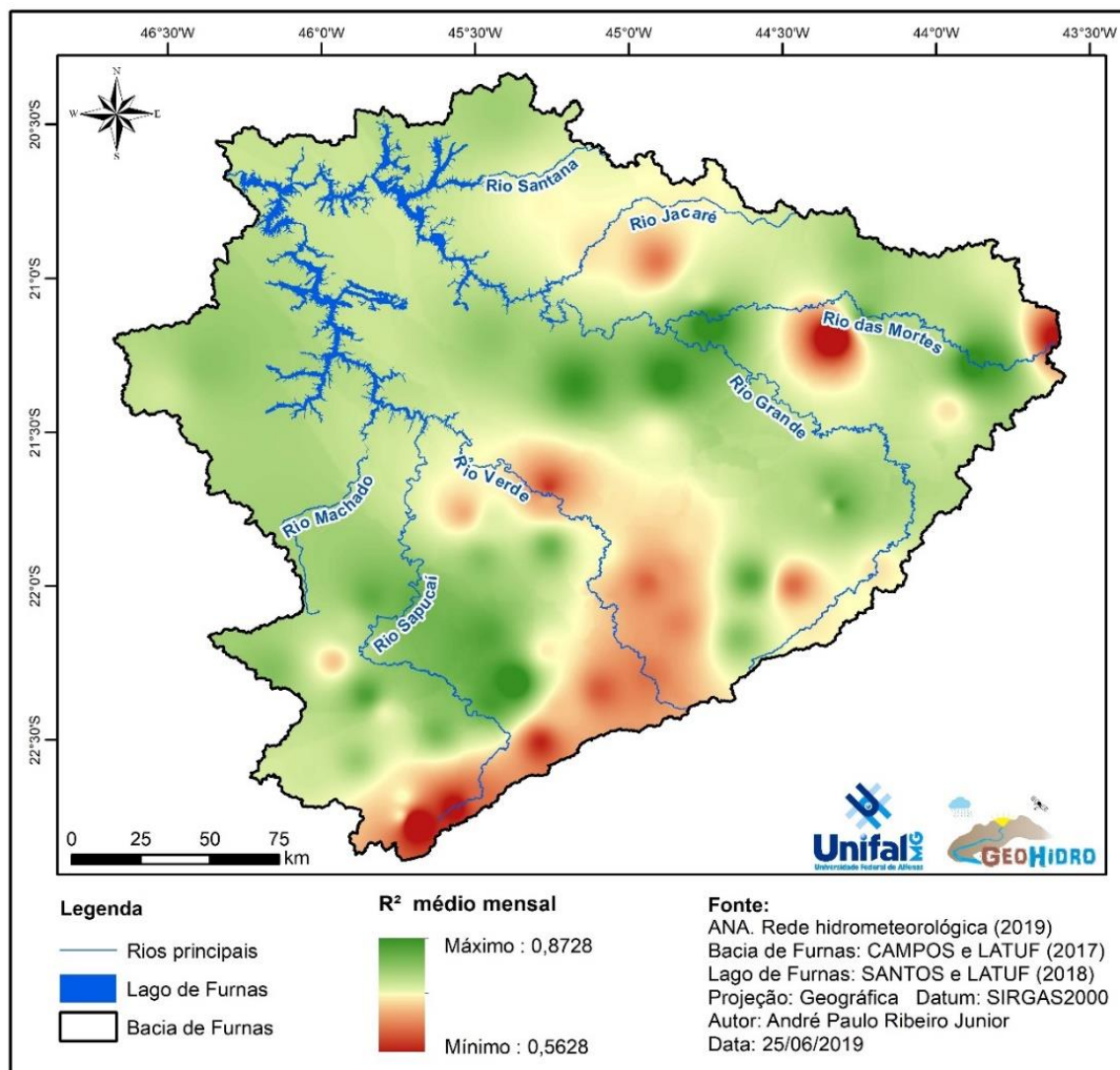
Figura 39 - Interpolação dos dados de coeficiente de determinação na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas (1981 a 2010)



Fonte: O autor

A Figura 40 especializa a média mensal do coeficiente de determinação na bacia do reservatório de Furnas e a localização dos principais rios afluentes ao reservatório de Furnas.

Figura 40 - Interpolação da média mensal do coeficiente de determinação (1981 a 2010)



Fonte: O autor

Nota-se na Figura 40 que os valores mínimos de coeficientes de determinação se encontram a montante do rio Sapucaí nas proximidades de Santo Antônio do Pinhal e Campos do Jordão, Verde nos municípios de Virgínia, Baependi e Itanhandu e das Mortes próximo a Barbacena e São João del Rei, vale ressaltar que os mínimos a leste e sul estão próximos da serra da Mantiqueira, podendo sofrer interferência na detecção das lâminas precipitadas pelo satélite devido a orografia acidentada. As correlações maiores de acordo com a Figura 40 estão próximas ao rio Grande, municípios de Ibituruna, Itumirim, Luminárias e Lavras e Sapucaí principalmente nos municípios de Itajubá e Maria da Fé.

Ao realizar a média dos dados de coeficiente de correlação sazonal, verão ($R^2 = 0,7052$) e inverno ($R^2 = 0,7892$), são apresentados valores que confirmam que quanto menor a incidência de precipitação menor será o erro da detecção do satélite, uma vez que ele não terá uma margem para errar, quanto no período do verão.

Como já supramencionado a influência orográfica da serra da Mantiqueira faz com que a região sul-sudeste da bacia apresente menores valores de coeficiente, conseqüentemente menores correlações entre os dados observados e estimados.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que a acurácia das estimativas de precipitação de base orbital para a bacia do reservatório de Furnas é uma fonte válida, com ressalva em alguns locais da bacia, principalmente próximos a relevos acidentados. Tais fatos podem ocorrer em outras regiões que utilizam dados de base orbital, tanto no Brasil como nos demais países, portanto, sempre que utilizar dados de base orbital, faz-se necessário avaliar a acurácia dos dados para que tais não comprometam a análise dos dados finais.

Nota-se que os testes realizados entre os dados dos pontos amostrais das estações da ANA e as estimativas do CHIRPS, indicam maior discrepância entre os dados em épocas mais chuvosas, nos meses outubro a março, isso é um problema, pois quanto maior a incidência maior o erro e mais distante está dos dados reais de precipitação, comprometendo futuras análises e estudos advindos destes dados.

As regiões que apresentaram um bom índice de correlação entre os dois conjuntos de dados se encontram próximas ao reservatório de Furnas, na região centro-oeste e noroeste da bacia, próximos aos municípios de Candéias, Monte Belo, Guapé e Coqueiral, contudo, é a região que contém menos postos pluviométricos o que pode contribuir para a avaliação positiva de acordo com a análise do erro.

Como supramencionado, as regiões próximas aos relevos acidentados, em especial a serra da Mantiqueira, deve ser analisado com cuidado, buscando compreender a influência orográfica no comprometimento e influência na detecção de precipitação por satélite.

Em continuações deste estudo, recomenda-se a realização de análises estatísticas a partir de outras fontes de dados, como por exemplo, as estimativas de precipitação fornecidas pelo *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) e Hidroestimador, buscando observar se

há mudanças no comportamento dos erros na região da bacia hidrográfica do reservatório de Furnas.

Além disso, faz-se necessária a avaliação da influência da disposição orográfica na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas, em especial à serra da Mantiqueira (de Extrema-MG a Barbacena-MG), localizada a sul-sudeste da bacia em que se encontraram os maiores erros, mas adotando eventos pluviométricos, a partir de dados orientados seguindo perfis topográficos e pluviômetros próximos a esses perfis.

Conclui-se que a utilização do satélite CHIRPS para a bacia do reservatório de Furnas é válido, mas deve-se fazer uma análise sobre a influência das orografias sobre a detecção de precipitação do satélite, os dados fornecidos poderão ser aplicados na previsão de vazões, operação do reservatório, estudos hidrológicos, hidrossedimentológico, além de auxiliar os Comitês Federais (GD3).

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Sistemas de Informações Hidrológicas**. 2019.

AIRES, U. R. V.; NETO, J. O. N.; MELLO, C. R. Estimativas de precipitação derivadas do satélite TRMM para a bacia hidrográfica do rio Paraopeba, MG. **Revista Scientia Agrária**, ISSN 1983-2443. SA vol. 17, nº 2, Curitiba, abril/maio 2016, p. 57-66.

ALMEIDA, K. N. **Análise de desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a região hidrográfica do rio Itapemirim**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES.

ANJOS, R. S.; CANDEIAS, A. L. B.; NÓBREGA RA, Y. S. Caracterização das chuvas através do satélite TRMM em Petrolândia-PE. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 12, volume. 18, jan./jun. 2016, p. 307-326.

ARAÚJO, A. N.; GUETTER, A. K. **Avaliação hidrológica da técnica CMORPH de estimativa de chuva por satélite sobre a bacia do Iguaçu**. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20 a 24 de novembro de 2005, João Pessoa/PB.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 4 ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 1996. 332p.

BRAGA, F. F. **A construção do conceito de bacia hidrográfica no ensino em geografia: uma proposta didática**. Rio de Janeiro: UERJ, 2009.

CALBETE, N. O.; CALBETE, S. R.; ROZANTE, J. R.; LEMOS, C. F. **Precipitações intensas ocorridas no período de 1986 a 1996 no Brasil**, 2003.

CAMPOS, L. B.; LATUF, M. O. **Base Cartográfica Digital da Bacia Hidrográfica do Lago de Furnas**. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. 2017.

CASTELHANO, F. J.; PINHEIRO, G. M.; ROSEGHINI, W. F. F. **Correlação entre precipitação estimada por satélite e dados de superfície para aplicação em estudos climatológicos**. Geosul, Florianópolis, v. 32, n. 64, p. 179-192, maio/ago. 2017.

CHEVALLIER, P. In: **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2009.

COLLISCHONN, B. **Uso da precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. Dissertação de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, março de 2006.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a Bacia do Paraguai Superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 59/01, abril 2007, ISSN 1808-0936.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Estimativa de precipitação por sensoriamento remoto passivo: desempenho do satélite TRMM na Bacia do Alto Paraguai até descalvados. In: Anais 1º **Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Campo Grande, Brasil, 11-15 novembro de 2006, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 47-56.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 2015.

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.

COSTA, H. V. V. **Introdução ao R**. Departamento de estatística. Universidade Federal de Pernambuco. 2017.

CRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

DIAZ, C. C. F.; PEREIRA, J. A. S.; NÓBREGA, R. S. **Validação de dados de precipitação diária estimados por satélite sobre a bacia do rio Uma**. In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, Vol. 18, n. 1, 2009

FURNAS. **Usina de Furnas**. Disponível em: <https://www.furnas.com.br/subsecao/120>. Acesso dia 04 de junho de 2019.

GAMA, N. A. **Validação das estimativas de precipitação observadas pelo Tropical Rainfall Measuring Mission para o Brasil**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

GEOGRAFIA OPINATIVA. **Massas de ar que atuam no Brasil**. 2016. Disponível em: <https://www.geografiaopinativa.com.br/2016/03/massas-de-ar-que-atuam-no-brasi.html>. Acesso dia 01 de julho de 2019.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Diagnóstico da situação dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Grande (BHRG) – SP/MG (Relatório Síntese – R3)**. São Paulo: IPT, 2008.

JIMÉNEZ, K. Q.; COLLISCHONN, B. Método de combinação de dados de precipitação estimados por satélite e medidos em pluviômetros para a modelagem hidrológica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 20, nº 1, Porto Alegre, jan./mar. 2015. p. 202-2017.

KATSANOS, D.; RETALIS, A.; TYMVIOS, F; MICHAELIDES, S. **Analysis of precipitation extremes based on satellite (CHIRPS) and in situ dataset over Cyprus**. Natural Hazards. 2016, 83. 10.1007/s11069-016-2335-8.

LOUZADA, F. L. R. O. et al. **Análise da precipitação estimada por satélite para a bacia hidrográfica do Rio Doce**. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE 6645.

LOUZADA, F. L. R. O. **Balanco hídrico climatológico com dados estimados pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission para a bacia hidrográfica do Rio Doce**. 2016. Tese de doutorado. Universidade Federal do Espírito Santo.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à Hidrogeografia**. São Paulo, Cengage, 2017.

MELO NETO, J. O. **Análise de Sensibilidade Escalar do Modelo Hidrológico SWAT**. 2012. 149 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

MOL, J. M.D. **Estimativa de Precipitação por meio de Sensoriamento Remoto**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação. DM-

86/2005, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2005, 88p.

NÓBREGA, R. S.; SOUZA, E. P.; GALVÍNCIO, J. D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental. **Revista de Geografia**, v. 25, n. 1, p. 6-20, 2008.

PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos dados de precipitação estimados por satélite TRMM para o Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 18, n°. 3, jul./set. 2013, p. 139- 148.

PEREIRA, G. et al. Variabilidade da precipitação no estado de Minas Gerais no período de 1981 a 2017. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 14, nov. 2018.

PIRH. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio Grande**. Relatório final. Agência Nacional das Águas. Outubro de 2017.

REBOITA, M. S. et al. A influência da topografia da região sul de Minas Gerais nas variáveis atmosféricas simuladas com o RegCM4. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 11. n.3. 2018.

REBOITA, M. S. et al. Aspectos Climáticos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 11 – Vol. 17 – JUL/DEZ 2015.

SALDANHA, C. B. et al. **Avaliação da chuva do Hidroestimador para modelagem hidrológica na região da bacia do rio Grande**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2007.

SANTOS, W. O. et al. Variabilidade espacial e temporal das precipitações para a Microrregião de Pau dos Ferros-RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.07, n.03 (2014), 434-441.

SERRÃO, E. A. O.; WANZELER, R. T. S.; SANTOS, C. A.; GONÇALVES, L. J. M.; LIMA, A. M. M.; ROCHA, E. J. P. Avaliação estatística entre as estimativas de precipitação da constelação GPM com satélite TRMM: uma análise a bacia hidrográfica do rio Solimões. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 12. vol. 18. jan./jun. 2016.

SOARES, A. S. D; PAZ, A. R; PICCILLI, D. G. A. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 21, n°. 2, Porto Alegre, abr/jun. 2016, p. 288-299.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à Climatologia**. São Paulo, Cengage, 2017.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2009.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital 2. Recife, 2006.

TUBELIS, A. NASCIMENTO, F. L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1980.