



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS AGROINDUSTRAIS**

MAYRLLA KARLA COELHO LOPES

**ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITES
COMPARADA A REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS NA SUB-BACIA DO RIO
PIANCÓ-PARAÍBA**

**POMBAL-PB
2020**

MAYRLLA KARLA COELHO LOPES

ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITES
COMPARADA A REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS NA SUB-BACIA DO RIO
PIANCÓ-PARAÍBA

Trabalho de dissertação apresentado à coordenação do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sistemas Agroindustriais – PPGSA da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Sistemas Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Luís Gustavo de Lima
Sales

POMBAL-PB

2020

L864e Lopes, Mayrlla Karla Coelho.

Estimativas de precipitação das imagens de satélites comparada a registros pluviométricos na sub-bacia do Rio Piancó-Paraíba / Mayrlla Karla Coelho Lopes. – Pombal, 2020.

82 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2020.

"Orientação: Prof. Dr. Luís Gustavo de Lima Sales".

Referências.

1. Precipitação pluviométrica. 2. *Global Precipitation Measurement - GPM*. 3. Postos pluviométricos. 4. IMERG. I. Sales, Luís Gustavo de Lima. II. Título.

CDU 551.557(043)

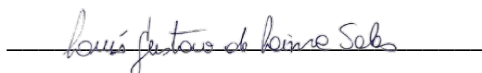
MAYRLLA KARLA COELHO LOPES

ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITES
COMPARADA A REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS NA SUB-BACIA DO RIO
PIANCÓ-PARAÍBA.

Trabalho de dissertação apresentado à coordenação do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sistemas Agroindustriais – PPGSA da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Sistemas Agroindustriais.

Aprovado em: 15 de outubro de 2020

COMISSÃO EXAMINADORA



Professor Dr. Luís Gustavo de Lima Sales (PPGSA-UFCG)

Orientador



Professora Dra. Ricélia Maria Marinho Sales (PPGSA – UFCG)

Examinador Interno



Professor Dr. Gerald Norbert Souza da Silva (UFPB)

Examinador Externo

“Com a força que Cristo me dá, posso enfrentar qualquer situação. ”

Filipenses 4:13

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelas graças alcançadas, pela força, saúde e coragem para superar os obstáculos, que por Sua graça me capacitou com inteligência e sabedoria para a realização deste trabalho.

Aos meus pais por terem me educado com base em princípios morais e éticos, por me tornar uma pessoa íntegra e por sempre estarem me apoiando na minha formação acadêmica e profissional, mesmo diante de situações financeiras adversas.

Agradeço a minha mãe Maria Rutilene, mulher guerreira e o meu exemplo de força, nunca permitiu que nada viesse atrapalhar os meus estudos, principalmente nos momentos de dificuldade. Agradeço ao meu pai Roberto Carlos, homem forte e batalhador que lutou bastante para que os seus filhos concluíssem os estudos.

As minhas irmãs Madlliza e Mayene, aos amigos Paloma, Natália e Douglas pela motivação e ajuda para que eu pudesse realizar este trabalho.

Agradeço a Luan pelo apoio e ajuda.

Obrigada professor Luís Gustavo, o senhor sempre foi paciente comigo e compreensivo, agradeço por acreditar na minha capacidade e me orientar no mestrado.

Obrigada a Andreia Cavalcanti, Técnica em geoprocessamento, pela ajuda e apoio.

Agradeço à banca examinadora pelo tempo investido para avaliar a qualidade da pesquisa e pela contribuição para o enriquecimento do trabalho desde o momento da qualificação.

LOPES, M. K. C. **ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITES COMPARADA A REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS NA SUB-BACIA DO RIO PIANCÓ-PARAÍBA**. 2020. 78f. DISSERTAÇÃO (Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sistemas Agroindustriais – PPGSA) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal – PB. 2020.

RESUMO

A precipitação é um parâmetro meteorológico de fundamental importância para gestão dos recursos hídricos a partir da sua mensuração para estudo e compreensão da precipitação. Existem diferentes contratempos quanto a estudos que almejam caracterizar o regime de precipitação em determinada área, como falhas em seus registros históricos, baixa densidade de postos e etc. Neste contexto, o uso de sensores acoplados nos satélites para estimar eventos chuvosos apresenta-se como uma opção para caracterização do regime de precipitação. *Global Precipitation Measurement* (GPM) missão espacial lançada em 2014 pelas agências NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) com intuito de estimativa de precipitação com resolução espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$. Através do IMERG (*Intercalibrated Merged Retrievals for GPM*) produto da missão que possui dados de vários satélites mesclados. O presente trabalho estuda as estimativas de precipitação oriunda do IMERG do GPM de dados diários e médias diárias mensais comparados a registros de precipitação de estações pluviométricas ao longo do período de 19 anos, além de avaliar a ocorrência de precipitações na área da sub-bacia do rio Piancó/PB. A comparação foi realizada a partir de parâmetros estatísticos métricos pela metodologia ponto-pixel e com apresentação de distribuição espacial de mapas, gráficos e tabelas. Os resultados estatísticos e gráficos indicam superestimação das estimativas de satélite, porém apresenta boa correlação na região central e de norte a sul da sub-bacia, apresentando menores erros de superestimação sobre a área do Vale do Piancó.

Palavras-Chave: GPM, Postos pluviométricos, IMERG

LOPES, M. K. C. ESTIMATES OF PRECIPITATION OF SATELLITE IMAGES COMPARED TO RAINFALL RECORDS IN THE SUB-BASIN OF THE PIANCO-PARAÍBA RIVER. 2020. 75f. DISSERTATION (Stricto Sensu Graduate Program in Agroindustrial Systems - PPGSA) - Federal University of Campina Grande, Pombal - PB. 2020.

ABSTRACT

Precipitation is a parameter of fundamental importance for the management for the study and understanding of precipitation. There are different setbacks regarding the studies that aim to characterize the precipitation regime in a given area, such as flaws in its historical records, low density, etc. Global precipitation measurement (GPM) Space mission launched in 2014 by NASA (National aeronáutics and Space Administration) and JAXA agencies (Japan Aerospace exploration Agency) With the intention of estimating precipitation, With Spatial resolution of $0.1^\circ \times 0.1^\circ$. Through IMERG, A mission product which has data from deveral blended satellites. The present work studies the precipitation estimates from the GPM IMERGE of daily data and monthly daily averages compared to rainfall records from rainfall stations over the nineteen year period, in addiction to assessing the occurrence of rainfall in the Piancó- PB sub-Basin area. The comparison was acomplished using metric statistical parameters using the point-pixel methodology and With presentation of Spatial distribution of maps, graphs and tables. The Statistical results and graphs indicate overestimation of the satellite estimates; But It presents a good correlation in the central and North to south regions of the sub- basin, With less errors of overestimation over the area of the Piancó valley.

Keywords: GPM, Rain gauges, IMERG

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Consequências do El Niño e La Niña.....	22
Quadro 2- Classificação e descrição da codificação binária	50
Quadro 3- Tabela de contingência.....	50
Quadro 4- Índices de desempenho derivados da tabela de contingência	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de precipitação	19
Figura 2- Sensores acoplados em três níveis	26
Figura 3- Coleta de dados por meio do Sensoriamento Remoto orbital.....	27
Figura 4- Constelação de satélites da Missão Espacial GPM.....	30
Figura 5- Localização dos principais sensores presentes no GPM.....	31
Figura 6-Fluxograma metodológico	38
Figura 7- Mapa de localização da Sub-bacia do Rio Piencó/PB	39
Figura 8-Mapa Hipsométrico da Sub-bacia do Rio Piencó	41
Figura 9- Distribuição dos postos pluviométricos na Sub-bacia do Rio Piencó	45
Figura 10- Malha de Pixels utilizada frente a rede de postos utilizada	47
Figura 11- Gráfico da Dupla Massa	52
Figura 12- Distribuição dos postos e pixels selecionados para comparação.	53
Figura 13- Precipitação média diária para cada mês no posto de Diamante.	55
Figura 14- Distribuição do Erro Médio para área de estudo	56
Figura 15- Distribuição do RQME sobre a área de estudo.....	58
Figura 16- Distribuição do Coeficiente de Correlação para área de estudo.	58
Figura 17- Distribuição do Percentual de Detecção (PC) sobre a área de estudo	60
Figura 18 - Distribuição do Percentual de Acerto (H) sobre a área de estudo	61
Figura 19 - Distribuição do índice de Falso Alarme	62
Figura 20- Distribuição do índice BIAS.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estações pluviométricas sobre a Sub-bacia do Rio Piencó.	44
Tabela 2- Estatísticas convencionais	54
Tabela 3- Parâmetro estatístico BIAS.	55
Tabela 4 -Estatística Quantitativa.....	57
Tabela 5- Índices de Desempenho.....	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 <i>Geral</i>	16
1.2.2 <i>Específicos</i>	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	17
2.1.1 <i>Formação da precipitação</i>	17
2.2 VARIABILIDADE ESPACIAL TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO	19
2.2.1 <i>Variabilidade espaço-temporal no Nordeste brasileiro</i>	20
2.3 PRECIPITAÇÃO EM SUPERFÍCIE E DEFICIT DE POSTOS PLUVIOMÉTRICOS	22
2.3.1 <i>Instrumentos de medição em superfície</i>	23
2.3.1.1 Pluviômetros	23
2.3.1.2 Pluviógrafos	24
2.3.2 <i>Déficit dos Postos Pluviométricos</i>	24
2.4 SENSORIAMENTO REMOTO E PRODUTOS DE SATÉLITES	25
2.4.1 <i>Produtos de satélites Meteorológicos</i>	29
2.4.1.1 Global Precipitation Measurement – GPM	29
2.4.2 <i>Aplicações dos produtos de Satélites Meteorológicos</i>	32
2.5 INTERPOLAÇÃO	33
3 METODOLOGIA	38
3.1 ÁREA DE ESTUDO	39
3.2 PRIMEIRA ETAPA: DADOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS	41
3.2.1 <i>Obtenção das séries históricas</i>	41
3.2.2 TRATAMENTO DOS DADOS	42
3.2.2.1 Preenchimento de falhas de dados	42
3.2.2.2 Homogeneidade e consistência anual dos dados	43
3.3 SEGUNDA ETAPA: OBTENÇÃO DOS DADOS GPM	45
3.4 TERCEIRA ETAPA: COMPARAÇÃO	47
3.4.1 <i>Estatística Quantitativa</i>	48
3.4.2 <i>Estatística Qualitativa (Estatística de Ocorrência)</i>	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1 TRATAMENTO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS	52
4.2 COMPARAÇÃO DIRETA (ESTATÍSTICA QUANTITATIVA)	52

4.3 OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO (ESTATÍSTICA QUALITATIVA).....	59
CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS	66
APÊNDICES	73
APÊNDICE A: Gráficos plotados das médias diárias mensais para todos os postos e pixels para o período de 2001-2019	74
APÊNDICE B: Estatística quantitativa realizada para todos os postos e pixels	79
APÊNDICE C: Tabela de estatística de Ocorrência de precipitação para todos os postos e pixels	81

1 INTRODUÇÃO

Dentre as variáveis meteorológicas, a precipitação pluviométrica é um dos indicadores mais significativos no ciclo hidrológico, pois apresenta maior variabilidade espacial e temporal, influenciando diretamente em diversas atividades antrópicas, logo que, em quase todos os anos, muitas pessoas distribuídas ao redor do globo são afetadas pelos desastres naturais e pelas mudanças climáticas, em particular os efeitos da precipitação em abundância ou escassez, que ocasionam grandes prejuízos socioeconômicos e ambientais (ANDRADE et al., 2018).

Nesse sentido, é de suma importância o conhecimento das precipitações pluviométricas para a tomada de decisões na gestão dos recursos hídricos, por meio da identificação e mensuração dos padrões de ocorrência das precipitações, trazendo, pois, subsídios imprescindíveis para pesquisas ligadas ao balanço hídrico, controle de inundações, irrigação, modelagem hidrológica, monitoramento de períodos secos e chuvosos, e a caracterização de climatologia e agrometeorologia. Assume-se, assim, requisito fundamental ao desenvolvimento socioeconômico na área das bacias hidrográficas, sub-bacias hidrográficas e micro bacias hidrográficas (ALMEIDA, 2017).

Em áreas como a Região Semiárida Brasileira, marcada por eventos extremos, como intensa escassez hídrica, há longos períodos de estiagem que, como destacam Silva Filho, Araújo e Nogueira (2016, p. 9) “[...] tendem a propiciar prejuízos agrícolas e baixo armazenamento hídrico”. Resulta em situações de deficiência hídrica, riscos e incertezas para a segurança alimentar e hídrica da região. Por outro lado, são marcadas, também, pela abundância hídrica (agressiva), caracterizada por precipitações irregulares que podem se concentrar em precipitações violentas, provocando erosão, inundação, dentre outros (SILVA et al., 2013).

Compreender o comportamento pluviométrico sobre a região semiárida é, portanto, importante para gerenciar os recursos hídricos, fato que está ligado diretamente ao desenvolvimento econômico, social e ambiental, além de reduzir os conflitos originários da escassez (SILVA FILHO; FARIAS; ARAÚJO, 2015).

A água utilizada para o desenvolvimento da vida na terra, oriunda da precipitação que está incluída no sistema de circulação da atmosfera, possui uma variabilidade espaço-temporal delimitada, principalmente, por padrões de grande escala da circulação geral da atmosfera. Estudos sobre as relações entre as alterações da circulação atmosférica e seus efeitos no clima, e conseqüentemente no regime hidrológico, foram iniciadas no século XX e procuraram estabelecer as relações dos diferentes indicadores climáticos com as precipitações (VIEIRA; MACHADO; FORTUNATO, 2011).

Com isso, a variabilidade espacial da precipitação na bacia hidrográfica pode ser modelada por meio de mapas, simplificando a apresentação e obtendo ligeira interpretação dos dados em qualquer ponto da área delimitada. A produção de interpolação espacial de dados pontuais por meios de campos contínuos resulta em padrões espaciais que podem ser defrontados com entidades espaciais contínuas (VIEIRA; MACHADO; FORTUNATO, 2011).

O monitoramento e registros da precipitação, normalmente, são realizados por equipamentos identificados como pluviógrafos e/ou pluviômetros (MELLO; OLIVEIRA, 2016). As redes de estações meteorológicas são constituídas pelos postos de registros com estes equipamentos. Porém, a maior dificuldade reside num déficit de postos espalhados espacialmente em determinada área de estudo, bem como no déficit temporal no banco de dados gerados por esses registros, a exemplo de falhas de detecção de precipitação (LELIS, 2016).

A aferição da água da precipitação através dos pluviômetros e/ou pluviógrafos consiste em instrumentos que possuem pequena área de captação e, segundo Lelis (2016), cobre uma área de aproximadamente 10^{-1} m². Mede-se, dessa forma, pontualmente a precipitação, condição que não necessariamente permite capturar a distribuição espacial da precipitação em áreas extensas e com topografias complexas, visto que a precipitação se apresenta em pontos isolados (ALMEIDA, 2017).

Por esse viés, alguns problemas são identificados no registro de precipitação, como a ocorrência de precipitações isoladas que podem ocorrer em determinada área e não ser contabilizadas na estação meteorológica mais próxima. Pode haver, também, em eventos de precipitações com grande interferência dos ventos, perda de informação, além de erros ligados a ausência de manutenção dos equipamentos de medição, o que pode influenciar significativamente nas análises (AIRES; NETO; DE MELLO, 2017).

A partir de séries históricas provenientes de pluviômetros, não é praticável tentar obter resolução espacial para áreas muito extensas e, a depender da quantidade de estações, pode ocorrer o mesmo para área de menores dimensões, devido à baixa densidade dos postos pluviométricos, séries com falhas de dias e até mesmo anos.

Diante disso, para uma rede densa de pluviômetros os custos são bastante elevados para operações, manutenção e instalação, mesmo assim uma rede densa de pluviômetros seria importante para melhor construção das séries históricas (URQUIZA, 2019). Os dados registrados pelos pluviômetros são gerenciados por entidades como Agência Nacional das Águas (ANA), Agência Estadual de Gestão das Águas (AES/A), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e demais entidades.

Considerando os problemas identificados no método tradicional de medição de precipitação, Almeida (2017) considera que os produtos dos satélites a partir do sensoriamento remoto podem ser uma alternativa para o monitoramento da precipitação na qualidade espaço-temporal, o que, segundo Lima (2019, p. 13), “é a única alternativa que pode oferecer dados abrangentes de precipitação numa escala global”.

Existem vários satélites que foram criados para medição de precipitação de forma remota, tais como:

Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), parceria entre a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), estabelecida com o objetivo de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos (NASA, 2019);

A Medição Global de Precipitação (Global Precipitation Measurement - GPM), missão internacional de satélites com objetivo de fornecer observações de última geração de chuva e neve em todo o mundo a cada três horas. Parceria entre a NASA e a JAXA, os dados que eles fornecem são usados para unificar as medições de precipitação feitas por uma rede internacional de satélites parceiros para quantificar quando, onde e o quanto chove ou neva ao redor do mundo (NASA, 2019);

METEOSAT é a denominação de uma família de satélites meteorológicos geostacionários desenvolvidos para a Agência Espacial Europeia (ESA) e operados pela EUMETSAT, que permite a observação contínua e precisa de uma região específica, fornece imagem do disco do planeta Terra e dados para previsões meteorológicas (EMBRAPA, 2018).

Contando com a grande facilidade de aquisição dos dados e melhor cobertura espacial, os produtos de satélites de precipitação requerem mais atenção. Estudos como os de Almeida (2017), Gadelha (2018) e Urquiza (2019) mostram que, devido aos erros gerados pela superestimação e subestimação apresentadas a depender da época do ano e das condições geográficas, as estimativas por satélites necessitam ser estudadas e melhoradas. Nesse sentido, autores como Santos et al. (2018) destacam que as estimativas podem ser utilizadas, mas não com 100% de confiabilidade.

Pesquisas realizadas por Almeida (2017), Aires, Neto e De Mello (2017), Campos (2017), Bernardi (2016), Gama (2016), Serrão et al. (2016), Soares, Paz e Piccilli (2016), Fensterseifer (2013), Viana; Ferreira; Conforte (2010), Leivas et al. (2009), Collischonn et al. (2006), são alguns trabalhos realizados sobre a aplicabilidade dos produtos dos satélites orbitais com registro de precipitação em diferentes dimensões de áreas entre bacias hidrográficas. A

maioria dos estudos citados objetivou comparar registros de precipitação por equipamentos terrenos e produtos do satélite.

Por seu turno, esta pesquisa objetiva utilizar como área de estudo uma sub-bacia hidrográfica com dimensão reduzida, divergente dos demais trabalhos citados, utilizando a missão GPM. Delimitada como área de estudo, a sub-bacia do Rio Piancó – PB, na busca de qualificar os produtos de estimativa de precipitação do algoritmo IMERG da missão GPM como dados complementares aos dados terrenos de precipitação para áreas de microbacias e sub-bacias, a fim de construir um banco de dados completo e confiável sobre a área completa do estudo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar as informações de estimativas de precipitação geradas pela missão GPM comparadas a registros pluviométricos na sub-bacia do Rio Piancó/PB no período de 2001-2019.

1.2.2 Específicos

- Diagnosticar as diferenças entre as estimativas de precipitação por satélite e por postos pluviométricos;
- Verificar qualitativamente, por meio da Estatística de Ocorrência, as precipitações estimadas a partir dos dados estimados e manipulação de imagens de satélites orbitais de precipitação, quando comparadas com os registros de postos pluviométricos;
- Verificar a sazonalidade sobre as estimativas de precipitações conduzidas por meio da manipulação das imagens do satélite do GPM.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

A água da atmosfera que atinge a superfície na forma de chuva, granizo, neve, neblina é denominada precipitação (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015). A precipitação integra-se de uma rotina que a água percorre diariamente em seus diversos estados físicos: sólido, vapor e líquido. Estritamente, o termo precipitação refere-se à queda de todas as formas de água, seja líquida ou congelada. Já o termo precipitação pluviométrica, em específico, remete-se à chuva precipitada em estado líquido e mensurada por pluviômetros ou pluviógrafos.

Tais precipitações pluviométricas são originárias do processo de aumento das gotículas de água suspensas na atmosfera, a partir dos núcleos de condensação como poeira, fumaça, sal marinho, óxido de enxofre e fósforo provenientes das chaminés industriais. Em determinadas condições, as gotas das nuvens aumentam sua dimensão, atingindo tamanho e peso suficiente para vencer as correntes de ar que as sustentam, haja vista que nesse processo são formadas gotículas muito pequenas com massa insuficiente para superar a força de flutuação térmica e, por conta disso, permanecem suspensas na atmosfera (BERNARDI, 2016).

A precipitação é a principal forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica, dessa forma, pode-se realizar a mensuração para direcionar a água para o consumo humano, irrigação, processos industriais, e gerir cuidados no controle de inundações, erosão do solo e etc., e seu conhecimento é fundamental para o adequado dimensionamento de obras hidráulicas.

2.1.1 Formação da precipitação

De toda a água presente na atmosfera, a maior parcela se encontra na forma de vapor. Contudo, a quantidade de vapor que o ar pode conter é limitada. O ar a 20°C tem a capacidade de abarcar uma quantidade máxima de vapor de, aproximadamente, 20 gramas por m³. Quantidades de vapor superiores a esse limite findam condensando (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

De acordo com Collischonn e Dornelles (2015, p. 53),

O ar atmosférico exibe um grau de variação de temperatura, desde temperatura relativamente alta ligada a superfície e temperatura baixa em grandes altitudes. O processo de formação das nuvens de chuva está relacionado ao movimento ascendente de uma massa de ar úmida. Nesse seguimento, a temperatura do ar vai reduzindo-se até que o vapor de ar comece a condensar. Isso é ocasionado devido à quantidade de

água que o ar pode conter sem que ocorra condensação, é maior para o ar quente do que para o ar frio. No momento em que ocorre a condensação do vapor, pequenas gotas começam a se formar, permanecendo suspensas no ar por fortes correntes de ar ascendente e pela turbulência.

O processo da condensação inicia-se em torno das partículas microscópicas em suspensão na atmosfera, partículas essas nomeadas de núcleos de condensação. Em determinadas condições, as gotas das nuvens aumentam sua dimensão, atingindo tamanho e peso suficiente para vencer as correntes de ar que as sustentam, assim a água das nuvens se precipita para a superfície da Terra, na forma de precipitação.

De acordo com Rocha et al. (2011, p. 188)

Para as condições climáticas do Brasil, a chuva é mais significativa em termos de volume. Em regiões de clima quente, pode ocorrer que durante a precipitação seja evaporada antes mesmo de chegar à superfície terrestre. É a precipitação que alimenta o ciclo hidrológico na fase terrestre, constituindo fator importante para os processos de escoamento sub superficial, infiltração, evaporação, alimentação dos aquíferos e escoamento para os rios e córregos, entre outros.

As precipitações são classificadas em Convectivas, Orográficas e Ciclônicas ou frontais como destacado pelos autores Almeida (2017), Collischonn e Dornelles (2015), Carvalho e Silva (2006) e Paz (2004):

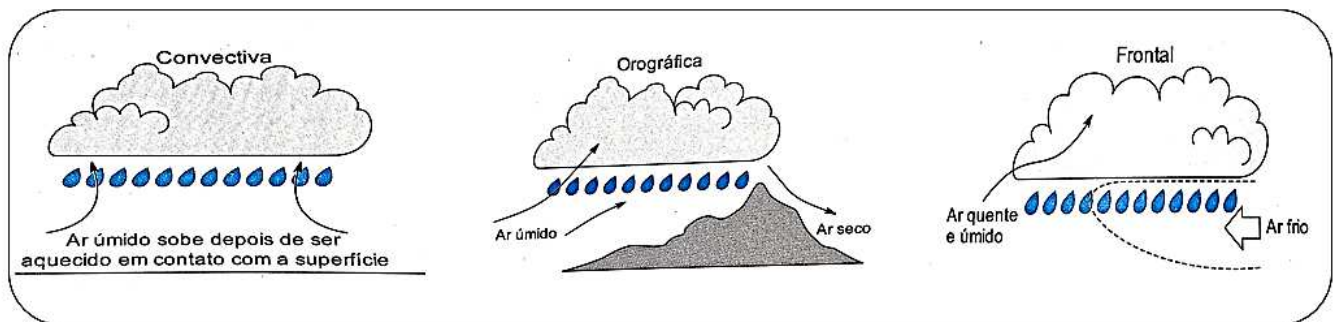
Convectivas: ocorre quando há grande circulação de ar. São provocadas pela ascensão do ar úmido aquecido decorrente de uma elevação excessiva de temperatura nas proximidades do solo. Devido ao ar quente ser menos denso que o ar frio das camadas superiores, resulta na brusca ascensão desse ar que, ao subir, sofre um resfriamento rápido, podendo atingir o seu nível de condensação com a formação de nuvens e muitas vezes gerando precipitações intensas com pequena duração, cobrindo pequenas áreas. Ademais, ocorrem com frequência em regiões equatoriais (Figura 1);

Orográficas: originam-se de ventos quentes e úmidos, geralmente procedentes do oceano para o continente, quando ocorre a ascensão mecânica dessas correntes de ar horizontal quente e úmido sobre as barreiras naturais elevadas: os obstáculos orográficos, como montanhas e serras; ao subir, ocorre o resfriamento do ar e em seguida a precipitação; são caracterizadas por serem de pequena intensidade, mas longa duração, cobrindo pequenas áreas;

Ciclônicas ou Frontais: associadas ao movimento de massas de região de alta pressão para baixa pressão, as diferenças de pressão são resultantes do aquecimento desigual da superfície da Terra. Este de tipo de precipitação ocorre no encontro de duas massas de ar, de diferentes temperatura e umidade. Na frente de contato entre as duas massas, o ar quente (mais leve e, normalmente, mais úmido) é empurrado para cima, onde atinge temperaturas mais baixas,

resultando na condensação do vapor. As massas de ar que formam as precipitações frontais têm centenas de quilômetros de extensão e movimentam-se de forma relativamente lenta, conseqüentemente as precipitações frontais caracterizam-se pela longa duração e por atingirem grandes extensões, apresentam intensidade de baixa à moderada. É importante ressaltar a importância desse tipo de precipitação para o desenvolvimento e manejo de projetos de grandes bacias.

Figura 1- Tipos de precipitação



Fonte: COLLISCHONN e DORNELLES (2015)

2.2 VARIABILIDADE ESPACIAL TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO

Ao se abordar a variabilidade espacial temporal da precipitação, tem-se que a água quando precipita não obedece a um padrão unificado da sua distribuição no tempo e no espaço, o que é predominante em eventos de precipitação de curta, média e longa duração (PINTO et al, 2003). Em outras palavras, precipitação não vai ocorrer seguindo um padrão de duração ou intensidade pluviométrica constante, devido à precipitação se mover em direção paralela à direção predominante do vento (WMO, 1974).

A esse respeito, Fetter, Oliveira e Steinke (2018, p. 226) dissertam que em relação ao “aspecto espacial, os processos determinantes da variabilidade versaram tanto sobre características locais, como a topografia, quanto características de meso escala, sinóticas e de acoplamento atmosfera-oceano”.

A compreensão da variabilidade espaço-temporal da precipitação é crucial para se entender o funcionamento dos sistemas terrestres e para o melhoramento dos eventos de riscos naturais. Desta feita, sabendo que grande partes das atividades estão ligadas à gestão de recursos hídricos, estudos ambientais carecem de análises de estimativas de precipitação o mais próximo da realidade ocorrida na região (NICOLETE, ROMAGNOLI, ZIMBACK, 2017).

2.2.1 Variabilidade espaço-temporal no Nordeste brasileiro

A variabilidade espaço-temporal da precipitação no Nordeste brasileiro apresenta-se com característica notável, principalmente sobre a região semiárida, não só relacionada à precipitação, mas também à disponibilidade de recursos hídricos. Denota anos extremamente secos e chuvosos, resultantes da circulação Geral da Atmosfera que, por seu turno, é consequência do aquecimento diferencial do planeta pela radiação solar, pela distribuição assimétrica de oceanos e continentes, além das características topográficas sobre os continentes (relevo), que em grande parte é fator determinante do clima de qualquer região (OLIVEIRA, 2016).

A sazonalidade das precipitações se detém a períodos mais secos e mais chuvosos. O período seco consiste nos meses do ano em que as precipitações médias da série histórica referente a eles são inferiores à precipitação média dos 12 meses. Ainda sobre a região semiárida nordestina, no tocante a variabilidade, destacam-se como seus principais fatores determinantes: posição geográfica, o relevo, as características da superfície e os sistemas atmosféricos atuantes na região (LUCENA; STEINKE, 2015).

O NEB ocupa 1.600.000 km² do território nacional e tem incrustado em 62% da sua área, o Polígono das Secas, uma região semiárida de 940 mil km², que abrange nove Estados do Nordeste e enfrenta um problema histórico com seca e escassez de água. Em razão disso, apresenta precipitação média anual abaixo de 800 mm (MARENGO et al., 2011, p. 01).

Em 2017, a SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste), por meio da RESOLUÇÃO Nº 107/2017, realizou a nova delimitação do Semiárido Brasileiro. Atualmente, ele conta com dez estados e é composto por 1.262 municípios, esta delimitação foi realizada com base nos seguintes critérios:

- Precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm;
- Índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50;
- Percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano.

Os principais sistemas atmosféricos que afetam a variabilidade das precipitações nas regiões sertanejas estão sujeitos à posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), aos Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) e às brisas terrestres e marítimas, assim como às bandas de nebulosidade associada à frente frias e sofrem, também, com a influência das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) do oceano Atlântico Tropical e Pacífico Equatorial, *El Niño* e *La Niña* (FERREIRA; MELLO, 2005; ARAÚJO, 2016).

Segundo Vieira (2014), a ZCIT é formada pela união dos ventos alísios de nordeste e os ventos alísios de sudeste, resultando em movimento ascendente do ar com alto teor de vapor d'água. Ao subir, o ar se resfria, dando origem às nuvens. A ZCIT é o fator mais importante na determinação de quão abundante ou deficiente serão as precipitações no setor norte do Nordeste do Brasil (FERREIRA; MELLO, 2005). Além disso, é um dos principais sistemas a influenciar a área mais ao norte do NEB, principalmente o estado do Ceará, oeste do Rio Grande do Norte e interior da Paraíba e Pernambuco. É um fenômeno tipicamente climático que acompanha o deslocamento aparente do sol com um atraso de aproximadamente dois meses, em média. Sua posição mais ao sul é de 2º sul, podendo atingir até 5º sul de latitude eventualmente.

Na região semiárida há ocorrências frequentes do fenômeno seca, a qual pode ser analisada em termo de sua duração, intensidade e/ou variação espacial (ARAÚJO, 2016). A irregularidade das precipitações é um empecilho ao desenvolvimento das atividades agropecuárias na região.

No sertão paraibano, por exemplo, não há ação direta das estações do ano, as únicas estações que são conhecidas pelos sertanejos são a chuvosa e a de seca. Todavia, há consequências das estações do ano na região sertaneja. Segundo a AESA (2019), a localização do estado da Paraíba, por estar próximo à Linha do Equador, não sofre variações climáticas muito acentuadas quando ocorre a mudança de uma estação para outra.

Neste período, o principal sistema meteorológico gerador de precipitações na Paraíba é constituído por distúrbios ondulatórios de leste, isto é, nuvens que se formam no Oceano Atlântico e se deslocam em direção à costa leste do Nordeste do Brasil, principalmente sobre as regiões do Agreste, Brejo e Litoral (AESA, 2019).

Nesse sentido, os principais sistemas causadores de precipitações sobre o estado da Paraíba são a ZCIT e os Vórtices ciclônicos em Ar Superior, que induzem precipitações representativas sobre a região e são responsáveis por aproximadamente 80% do total precipitado, conforme dados da AESA (2006).

Os fenômenos *El Niño* e *La Niña*, nesse cenário, baseiam-se na anomalia da temperatura das águas do pacífico equatorial, resultando em grande influência na circulação geral atmosférica. *El Niño* é um fenômeno atmosférico oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Equatorial, evidencia-se que as precipitações ficam abaixo das médias na região nordeste sob sua influência. Enquanto o fenômeno *La Niña* tem características contrárias, singulariza-se pelo resfriamento anormal das águas do pacífico e pelo registro de precipitações acima da média na região Nordeste (ARAÚJO, 2016).

Estes fenômenos podem durar vários meses, causando excesso de precipitações em

algumas regiões e secas em outras, com intensidades que variam entre forte, moderado e fraco, conforme Santos (2012). A ação dos fenômenos resulta na alteração das condições climáticas de algumas regiões do mundo de forma diferente. No Quadro 1, estão descritas as consequências das alterações das condições climáticas gerada pela ação dos fenômenos nas regiões do Brasil.

Quadro 1- Consequências do *El Niño* e *La Niña*

Regiões	<i>El Niño</i>	<i>La Niña</i>
Norte	Redução na precipitação/ seca/ incêndios	Aumento da precipitação e no volume de água nos rios
Nordeste	Seca de diversas intensidades e períodos longos	Aumento da precipitação e elevação das vazões dos rios
Sul	Aumento das temperaturas médias e dos índices pluviométricos	Longos períodos de estiagem
Sudeste	Aumento moderado nas temperaturas médias no inverno	Sem grandes alterações
Centro-Oeste	Precipitações abundantes acima da média histórica e pequenas elevações nas temperaturas	Sem grandes alterações

Fonte: adaptado de ARAUJO (2016); MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA (2007); CPTEC (2017).

2.3 PRECIPITAÇÃO EM SUPERFÍCIE E DEFICIT DE POSTOS PLUVIOMÉTRICOS

As precipitações pluviométricas são resultantes do processo da condensação do vapor de água na atmosfera e sua queda na superfície terrestre, gravitacionalmente, é medida em milímetros o somatório da quantidade de água precipitada em um determinado local e em um dado período de tempo, Medições diretas e pontuais de precipitações acumuladas, essa mensuração é realizada por aparelhos denominados pluviômetros e pluviógrafos (ALMEIDA, 2017).

A precipitação é medida por meio de equipamentos que quantificam a precipitação que cai sobre a área de captação do pluviômetro. Revela-se a quantidade de precipitação (h) pela altura de água que se precipita e se concentra em uma superfície plana e impermeável (CARVALHO; SILVA, 2006).

Considerando o que postula Rocha et al. (2011, p. 189-190), as grandezas características da precipitação são descritas a seguir:

Após a realização da medição de precipitação, há como resultado o registro da altura pluviométrica, a partir da qual, quando relacionada com outras variáveis, é possível obter informações de duração, intensidade e frequência.

- Altura pluviométrica: medida da altura ou lâmina d'água obtida em pluviômetros e expressas, normalmente, em milímetros. A altura pluviométrica pode ser determinada com o uso da equação:

$$h = \frac{\text{Volume Precipitado}}{\text{área de captação}}$$

- Intensidade da precipitação (i): é a razão entre a altura precipitada e o tempo de duração da precipitação, geralmente em mm/h ou mm/min; indica o número de vezes que ocorre a precipitação em um determinado intervalo de tempo pré-estabelecido.
- Duração (t): intervalo de tempo decorrido entre o instante em que se inicia a precipitação e seu final, medida em h ou min.

2.3.1 Instrumentos de medição em superfície

2.3.1.1 Pluviômetros

Consiste em um cilindro receptor de água com medidas padronizadas, com um receptor adaptado ao topo. O modelo padrão deste equipamento conhecido como Ville de Paris tem um diâmetro de cerca de 20 cm no topo, área de captação de 400 cm² e um total nominal de 125 mm (MILANESI; ALVES; GALVANI, 2017). O pluviômetro é instalado a uma altura de 1,5 metros e a certa distância de casas, árvores e outros obstáculos que podem interferir na quantidade de precipitação captada (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Tem forma de funil que recebe a precipitação no período de 24 horas, após o qual o volume de precipitação coletada no corpo do pluviômetro é despejado, através da parte inferior do aparelho, para uma proveta graduada, na qual se faz a leitura. Os valores de precipitação são expressos em milímetros de água correspondente entre o intervalo de tempo precedente e a altura da água coletada. De forma teórica, a precipitação de 1 mm é equivalente ao volume de 1 litro de água numa superfície de 1m² (ROCHA et al., 2011).

2.3.1.2 Pluviógrafos

Instrumento de características semelhantes ao pluviômetro, mas que possui característica registradora automática ou semiautomática. Realiza o registro da quantidade de precipitação, o instante de ocorrência e intensidade (quantidade por unidade de tempo). Há vários tipos de pluviógrafos, como: Pluviógrafos de passagem, em que a precipitação é captada num cilindro que está sobre uma balança; Pluviógrafos de caçambas basculantes, constituídos por dois compartimentos, cada caçamba tem a capacidade de 0,025 cm de precipitação, situados na base de um funil de 25 cm; e o Pluviógrafo de flutuador, semelhante ao pluviógrafo de peso. Neste último o aparelho é provido de um sistema mecânico de registro através de uma pena em papel fixado num cilindro acoplado a um mecanismo de relógio. É comum a instalação de um pluviômetro próximo ao pluviógrafo, para os casos de falha nos mecanismos deste.

2.3.2 Déficit dos Postos Pluviométricos

As coletas das informações diárias de precipitação são realizadas por um operador no equipamento mecânico, mas, apesar da relevante eficiência dos registros de medição, existem alguns problemas na utilização dos equipamentos, como os citados por Gadelha (2018):

- Erros associados por parte do operador no manuseio do equipamento na hora da coleta da informação (pluviômetro);
- Devido a erros no sistema ou na alimentação da energia do equipamento, pode ocorrer a perda de informações (pluviógrafos);
- A evaporação da água retida na parede dos equipamentos;
- Erro na coleta da precipitação quando nos casos de equipamentos instalados em locais indevidos, como próximo a edificações ou árvores;
- Nos casos de precipitação com grande interferência dos ventos, ocorre a perda de informação;
- Erros ligados à ausência de manutenção dos equipamentos de medição.

Para Araújo, Sanches e Ferreira (2017), além dos erros citados que influenciam na qualidade dos dados, há outros fatores intervenientes na aferição das informações que estão atrelados a dificuldades em assegurar o funcionamento dos postos pluviométricos, como o alto custo de operação e de compras de materiais, distribuição geográfica, quantidade de

equipamentos e sua localização, a periodicidade de monitoramento. Por tudo isso, a qualidade dos dados pode ser comprometida.

Apesar desses cenários, o conjunto destes aparelhos forma uma rede que possibilita o estudo climatológico (BERTONI; TUCCI, 2001; OLIVEIRA, 2015).

No limite territorial brasileiro, as informações sobre precipitação são principalmente oriundas de estações pluviométricas. Os trabalhos de medição de precipitação no Brasil são originários das agências a nível federal ANA (Agência Nacional das águas), CEMANDEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais), INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e estadual ADASA (Agência Reguladora de Água, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal); AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas), dentre outras agências estaduais que monitoram diversos postos distribuídos no país. Dentre todas, boa parte dos postos são monitorados e administrados pela ANA, devido ser ela a responsável pela implementação da gestão dos recursos hídricos nacionais.

Sabendo que os pluviômetros são utilizados em todo território nacional, ainda há regiões brasileiras que não possuem postos em funcionamento adequado ou séries confiáveis de dados, o que resulta em sérios problemas quando é necessário realizar estudos na região (LIMA, 2019).

Considerando que os dados de campos obtidos por pluviômetros apresentam alguns problemas no registro das precipitações e falhas nas séries históricas, há outras formas de medir a ocorrência das precipitações, como o sensoriamento remoto, que é uma alternativa na geração dos dados estimados de precipitação.

2.4 SENSORIAMENTO REMOTO E PRODUTOS DE SATÉLITES

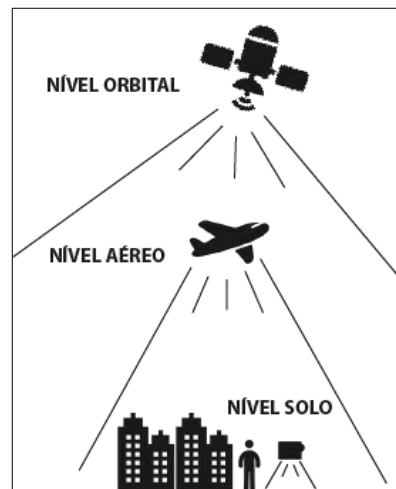
A aferição da precipitação, geralmente, é realizada pontualmente por meio das redes meteorológicas pontuais, todavia elas possuem limitações na representação espacial da precipitação em grande escala (LELIS, 2016). Diferentemente, o sensoriamento remoto (SR) pode ser utilizado em áreas geográficas de grandes extensões.

A definição de sensoriamento remoto, segundo Menezes e Almeida (2012), é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres sem que haja qualquer contato físico entre o sensor e o objeto.

Os sensores podem ser divididos em três níveis, acoplados em diferentes plataformas, segundo Vettorazzi (1996), conforme se observa na figura 2:

- Sensor no nível de campo: terrestre ou solo;
- Sensor de nível aéreo (acoplado em aviões, balões, VANT, helicópteros, aeronaves mono e bimotores e aeronaves a jato) dentro da atmosfera terrestre;
- Sensor de nível orbital: localizado fora da atmosfera terrestre, acoplado nos satélites em órbita com um ou mais sensores, com abrangência territorial maior e em um curto período de tempo.

Figura 2- Sensores acoplados em três níveis



Fonte: FLORENZANO (2007)

A obtenção das imagens por sensoriamento remoto ocorre da seguinte forma: o sol é a principal fonte de energia. A energia emitida, por seu lado, é denominada de incidente; quando atinge a superfície terrestre e/ou elementos (mananciais, edificações, etc.) dispostos sobre a superfície, parte da energia é absorvida e parte é refletida de volta para o espaço. Nesse momento, esta energia é captada pelos sensores acoplados nos satélites em órbita da Terra e, a partir deste momento, as informações são geradas em formato de imagens e são armazenadas nas estações de recepções, onde as imagens são tratadas, processadas e disponibilizadas para o público em geral. (figura 3)

Figura 3- Coleta de dados por meio do Sensoriamento Remoto orbital



Fonte: FLORENZANO (2007)

Os sensores podem ser divididos em imageadores, os dados produzidos são identificados em forma de imagens, como fotografias aéreas e imagens de satélite, e em não-imageadores, compostos por dados em tabelas, gráficos, etc., obtidos, por exemplo, por espectrorradiômetros (PACHECO, 2009).

Segundo Santos (2013), sensoriamento remoto pode ser classificado como ativo ou passivo, a depender da fonte de radiação eletromagnética. No passivo, é necessária energia proveniente de fonte natural, uma fonte externa de radiação eletromagnética, a exemplo do uso da radiação solar como é utilizada no Sensor OLI (*Operational Land Imager*) a bordo do satélite *Landsat 8* – exemplo de sensor passivo que produz imagens multiespectrais, de grande utilidade para o mapeamento dos recursos naturais, uso e cobertura da terra e outras aplicações.

Já os sensores ativos são aqueles em que um sistema emite energia em direção ao objeto e posteriormente mede a parcela refletida sobre a superfície. A principal vantagem de um sensor ativo em relação aos sensores passivos é que a radiação emitida não sofre interferência da atmosfera, permitindo a obtenção de imagens em qualquer condição atmosférica e em qualquer hora do dia ou da noite. A missão STRM é citada como exemplo de sensor ativo, fornecendo um modelo digital de elevação para diferentes áreas da superfície terrestre, muito explorada para análise do relevo e obtenção de parâmetros, como altitude e declividade (TAGLIANI et al., 2012).

As resoluções de imagens de satélites são produzidas por sensores imageadores, os quais possuem diferentes resoluções, fato que influencia na detecção ou identificação de um objeto: resolução espacial, resolução espectral, resolução radiométrica e resolução temporal.

A resolução espacial é um importante parâmetro do sensor, possui a habilidade de distinguir e medir o alvo, determina o tamanho do menor objeto que pode ser identificado em

uma imagem diretamente relacionado com o pixel: quanto menor o tamanho do pixel, maior é a resolução espacial da imagem, pois maior é o detalhamento dos objetos que podem ser visualizados para a mesma área (MENESES; ALMEIDA, 2012).

A medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno é conhecido como resolução espectral. Diante disso, percebe-se que envolve pelo menos três parâmetros de medida, segundo Meneses e Almeida (2012, p. 27): “número de bandas que o sensor possui, a largura em comprimento de onda das bandas e as posições que as bandas estão situadas no espectro eletromagnético”. Essas bandas são identificadas como intervalos do espectro eletromagnético. Desta feita, quanto mais estreitas e em grande quantidade forem essas bandas, maior é a resolução espectral, ampliando a capacidade de distinção entre os objetos da imagem (OLIVEIRA, 2018).

Quanto à definição de resolução radiométrica, segundo Oliveira (2018), refere-se à capacidade do sistema sensor em detectar as variações da radiância espectral recebida. A radiância de cada pixel passa por uma codificação digital, obtendo um valor numérico, expresso em bits, denominado de Número Digital (ND).

A resolução espacial, por fim, é a frequência com que o sensor acoplado ao satélite percorre um mesmo local, em certos intervalos de tempo. Este ciclo está relacionado às características orbitais da plataforma (altura, velocidade, inclinação) e ao ângulo total de abertura do sensor, ou seja, quanto menor o tempo de revisita, maior é a resolução temporal. Essa característica é de grande importância para o monitoramento ambiental, pois permite verificar as mudanças de objetos na superfície em diferentes períodos (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

Por meio destas imagens geradas, é possível adquirir dados de precipitação pluviométrica. A aquisição dos dados pluviométricos via sensoriamento remoto se diferencia dos dados obtidos de forma convencional (pluviômetros), que registram adequadamente o volume precipitado. Entretanto, como ponto negativo da forma convencional, possui baixa representatividade espacial, cujos empecilhos da representatividade espacial são maiores sob condições de precipitação de origem convectivas e isoladas, podendo ocorrer precipitações em pequenas áreas com intensidade forte que podem não ser registradas pelos equipamentos (CALVETTI et al., 2003). Dados provenientes do SR podem utilizar áreas de grande extensão territorial, disponibilizando uma visão resumida e na temporalidade desejada.

Os satélites e os sistemas de sensoriamento remoto têm aplicações em diversas áreas do conhecimento, entre elas atividades militares e de defesa, prevenção de catástrofes, detecção de

queimadas, sendo que a obtenção de dados hidrológicos ou de parâmetros para a modelagem hidrológica é apenas mais uma das possibilidades do sensoriamento remoto.

No início, as estimativas de precipitação por satélites não apresentavam resolução espacial-temporal compatíveis com trabalhos em hidrologia, mas há poucos anos as estimativas por satélites alcançaram níveis de precisão admissíveis, segundo Lelis (2016). No século XX, com a evolução tecnológica, benefícios foram gerados para a ciência, o que permitiu o crescimento na utilização do SR na obtenção de informações. Um dos avanços foi a criação e lançamento de satélites com finalidade na observação dos recursos naturais, como a criação do Programa LANDSAT, por parte dos Estados Unidos (LIMA, 2019).

Nessa perspectiva, importantes missões espaciais foram criadas voltadas para geração de informações relacionadas ao fenômeno atmosférico e características físicas do planeta. Além da Missão LANDSAT, surgiram NOAA (*National Oceanic Atmospheric Administration*), que gera dados relacionados ao clima e dinâmica da atmosfera, e SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), uma missão espacial responsável por obter modelo digital do terreno da Terra entre os paralelos 56°S e 60°N, de modo a gerar uma base completa de cartas topográficas digitais terrestre de alta resolução. Outras missões espaciais foram lançadas especificamente para gerar banco de dados de estimativa de precipitação, proporcionando uma maior difusão dos dados por apresentarem diferentes características, dessa forma atendem demandas cada vez mais diversas.

2.4.1 Produtos de satélites Meteorológicos

São satélites artificiais em órbita aprimorados por meio de sensores para monitorar o tempo e o clima do planeta, como vantagem monitora algumas ações antrópicas e naturais, como queimadas, níveis de poluição, desmatamento, tempestades e etc. Existem vários satélites que foram criados para medição de precipitação de forma remota.

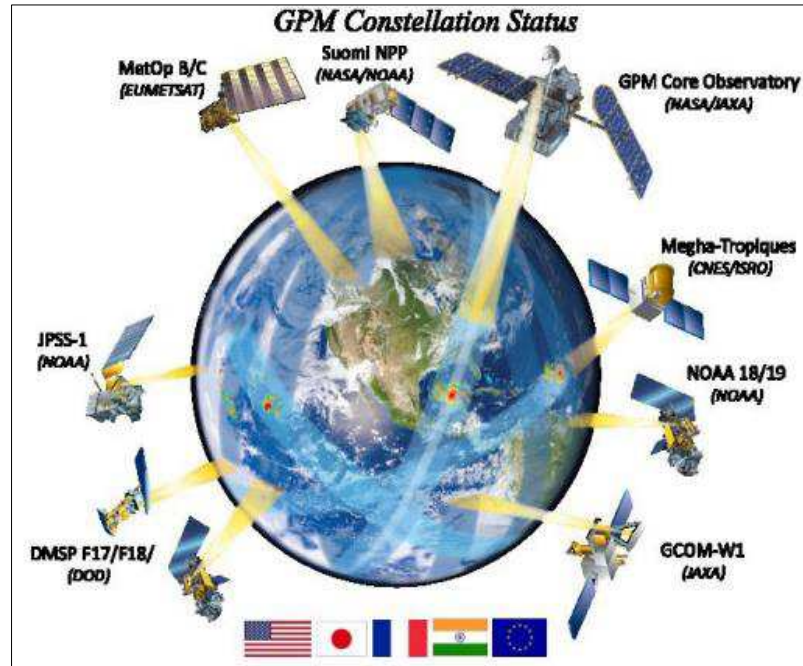
2.4.1.1 Global Precipitation Measurement – GPM

A Medição Global de Precipitação é um programa desenvolvido pela NASA e JAXA, com o foco de aperfeiçoamento da estimativa de precipitação, inicialmente obtida pela missão TRMM.

A base da missão do GPM é o satélite do Observatório Principal, onde os dados coletados do satélite Core servem como padrão de referência que unifica as medições de

precipitação de satélites a partir de uma constelação (Figura 4) de pesquisa e sensores de microondas, lançados por um consórcio de parceiros do GPM internacionais com os Estados Unidos, Japão, França, Índia e Europa (NASA, 2019).

Figura 4 - Constelação de satélites da Missão Espacial GPM



Fonte: NASA (2020)

Os produtos gerados pela missão GPM contam com resolução espaço-temporal mais detalhada quando comparada ao satélite TRMM. O objetivo da missão do GPM visa fornecer uma nova geração de observações remotas de precipitação, a fim de aperfeiçoar o entendimento da água no planeta e também o ciclo de energia da Terra, melhorando a previsão de eventos extremos que causam desastres naturais e ampliando as capacidades atuais de usar informações de precipitação de satélites, de modo a beneficiar diretamente a sociedade (LELIS, 2016).

Dados indicados pela NASA (2020) descrevem as funções em particular do GPM:

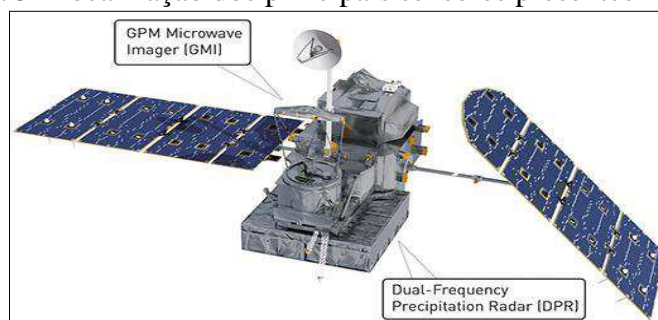
- Fornece medições de propriedades microfísicas e informações de estrutura vertical usando técnicas ativas de sensoriamento remoto em uma ampla faixa espectral;
- Mede taxas de neve e chuvas mais leves através do uso de radiometria passiva de microondas de alta frequência;
- Melhora os algoritmos de recuperação passiva de microondas (PWR) em terra;
- Melhora as medições de precipitação em latitudes médias e altas durante as estações frias.

O observatório central do GPM mede precipitação e neve usando dois instrumentos científicos: o GPM *Microwave Imager* (GMI) e o Radar de Precipitação de Dupla Frequência (DPR).

O GMI captura intensidades de precipitação e padrões horizontais, pois o sensor de micro-ondas com escaneamento cônico de multicanais tem a frequência de canais variando entre 10 GHz a 183 GHz, enquanto o DPR fornece *insights* sobre a estrutura tridimensional de partículas precipitantes com a banda Ku a 13,6 GHz e a banda Ka a 35,5 GHz (LIMA et al., 2015). Verificando as qualidades dos sensores do GPM, é possível identificar as melhorias e avanços comparados ao TRMM, o qual contava com radar de frequência simples com banda Ku a 13,8 GHz e a amplitude da frequência do TMI entre 10 a 85,5 GHz, inferior a 183 GHz do GPM, justificando a função do GPM de captar precipitações leves ou neve (TANG et al., 2016).

O satélite voa a uma altitude de 253 milhas (407 quilômetros) em uma órbita não-síncrona do Sol que cobre a Terra de 65°S a 65°N, desde o Círculo Antártico até o Círculo Ártico (NASA, 2020). Possui resolução 0,1°×0,1° e as taxas de precipitação a cada 3h, juntamente com seus resultados acumulados para as escalas diárias e mensais (HOU et al., 2014), conforme a figura abaixo:

Figura 5- Localização dos principais sensores presentes no GPM



Fonte: NASA (2020)

Os dados de precipitação global do GPM contribuem para avanços científicos e benefícios sociais nas seguintes áreas: melhor conhecimento do ciclo da água da Terra e sua ligação com as mudanças climáticas; novos *insights* sobre a microfísica da precipitação, estruturas de tempestades e processos atmosféricos em grande escala; recursos estendidos no monitoramento e previsão de furacões e outros eventos climáticos extremos; melhoria das capacidades de previsão de perigos naturais, incluindo inundações, secas e deslizamentos de terra; habilidades de previsão numérica aprimoradas para clima; melhor previsão de culturas agrícolas e monitoramento de recursos de água doce (NASA, 2020).

Além disso, o GPM conta com o IMERG Nível 3, que realiza as estimativas de precipitação combinando dados de todos os instrumentos de micro-ondas passivos na constelação de GPM. Este algoritmo/produto já conta também com melhorias que facilitam sua manipulação, tendo os pixels padronizados na grade de 0,1° de resolução. Gadelha (2018) ressalta que o IMERG conta também com radares e uma rede de postos pluviométricos em solo para fazer seus ajustes finais.

Esse algoritmo destina-se a intercalibrar, mesclar e interpolar estimativas de precipitação por micro-ondas por "todos", juntamente com estimativas de satélite por infravermelho (IR) calibrado por micro-ondas, análises de medidor de precipitação e outros estimadores de precipitação em escalas finas de tempo e espaço para o TRMM e Eras do GPM em todo o mundo. O sistema é executado várias vezes para cada tempo de observação, primeiro fornecendo uma estimativa rápida (IMERG "*early run*") e fornecendo sucessivamente melhores estimativas à medida que mais dados chegam (IMERG "*late run*"). A etapa final usa dados mensais de mensuração para criar produtos em nível de pesquisa (IMERG "*Final run*") (NASA, 2020).

2.4.2 Aplicações dos produtos de Satélites Meteorológicos

Almeida (2017) relata que, no estudo realizado sobre a bacia hidrográfica do rio Itapemirim utilizando a comparação de dados do TRMM por meio do produto 3B42, versão 7, as estimativas de precipitação dos postos pluviométricos apresentaram-se consistentes.

O autor disserta que a análise quantitativa se apresentou como alternativa eficiente para a apropriação de totais anuais e totais mensais precipitados. Apresenta, ainda, que a análise de ocorrência indicou que o satélite possui capacidade de registrar corretamente um dia chuvoso ou um dia de estiagem em cerca de 50% dos casos e eficiência total de mais 70% na identificação da ocorrência de precipitação. Mesmo consideradas satisfatórias, as respostas obtidas a partir da manipulação das imagens de satélite associadas aos períodos secos apresentaram menor qualidade. Conclui, portanto, que as estimativas associadas à manipulação das imagens do TRMM permitiram reproduzir as variações das precipitações na região hidrográfica, espacialmente e temporalmente. Desta forma, as estimativas das imagens de satélite podem complementar as informações das redes pluviométricas, suprir as áreas com cobertura deficiente de pluviômetros, além das áreas de difícil acesso ao observador, melhorando a estimativa da variabilidade espacial.

Objetivo semelhante ao trabalho citado anteriormente, Pessi et al (2019) realizou a comparação no estado do Mato Grosso com banco de dados no período de 10 anos, os dados pontuais com dados estimados do produto 3B43 do satélite TRMM e optou como forma de comparação os indicadores estatísticos: Erro Médio Absoluto (EMA), Erro Médio Quadrático (EMQ), coeficiente de correlação de Spearman (r_{Spearman}) e o índice de concordância de Willmott (d). O autor discorre que os dados de estimativas via satélite foram satisfatórios, pois constatou-se forte correlação sobretudo para os meses de junho, julho e agosto. Os resultados indicam que o uso dos dados estimados via satélite podem ser uma alternativa ao uso de estações meteorológicas.

Já Serrão (2016) realizou um estudo analisando estatisticamente as precipitações fornecidas pelas missões GPM e TRMM comparando as análises estatísticas e a validação dos dados, por meio dos dados de superfície, na área de estudo delimitada da bacia hidrográfica do Rio Solimões. O mesmo constatou que a combinação da leitura das missões para todo o globo permite avaliar melhor a precipitação espaço-temporal, assim, dando subsídio para caracterização dos períodos de cheias e estiagens e melhoria da rede de monitoramento e avaliação de impactos sobre os ambientes locais. O autor identificou, também, que o produto 3B43 do TRMM possui a desvantagem de resolução espaço-temporal comparadas ao IMERG.

2.5 INTERPOLAÇÃO

Estudos foram realizados em diversas áreas do conhecimento utilizando métodos para análise espacial, geoestatístico. Segundo discorrem Aquino et al. (2014), a utilização das técnicas geoestatísticas permitem constatar a existência da dependência e distribuição espacial dos fenômenos, constituindo importante ferramenta na análise e descrição dos mesmos.

A interpolação por meio de determinados métodos tem como foco central a análise da variabilidade espacial de um determinado atributo a ser estudado com base nos dados amostrais de uma localidade de interesse (LIMA *et al.*, 2015).

As técnicas de espacialização, por meio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), viabilizam a análise da forma como os fenômenos se distribuem no espaço, assim como a associação com diversos fatores relacionados aos mesmos, possibilitando estudos mais abrangentes, com rapidez e precisão (FREITAS et al., 2001). Diversos autores têm usado métodos de interpolação espacial para efetuar estimativas e espacializar determinados fenômenos; porém, deve-se atentar para a necessidade de definir qual o método de interpolação mais adequado (SILVA et al., 2013).

Costa (2010) discorre que há variedades de métodos de interpolação que podem ser utilizados para auxiliar no aperfeiçoamento de dados coletados, como vizinho mais próximo, inverso do quadrado da distância, Triangulação com interpolação linear, Krigagem, curvatura mínima, entre outros. Entretanto, não existe, na literatura, um método que se sobressaia ao outro, no entanto, deve-se determinar o melhor método para cada circunstância (LENNON; TUNNER, 1995).

Na literatura sobre a questão, Assad et al. (2003) desenvolveram um estudo objetivando comparar os métodos de espacialização de valores numéricos dos índices agrometeorológicos e avaliar a sua variação espacial para o índice de satisfação das necessidades de água da planta (ISNA), no Estado de São Paulo, para todo o Vale do Rio Tietê. Eles optaram pelos métodos geostatísticos, krigagem ordinária, krigagem por indicação e o método da média ponderada.

Os autores verificaram que, comparando a média ponderada e a krigagem ordinária, obtém-se em resultado estruturas circulares isoladas e falha no espaço na área do vale do rio Tietê. Descobriram, ainda, que, comparando com método da krigagem por indicação, as falhas deixaram de existir e ficou mais evidenciada a continuidade no espaço, aparecendo a ligação completa em todo o Vale do Rio Tietê. Assim, concluíram que há desvantagem da krigagem ordinária em relação à krigagem por indicação, principalmente em relação à continuidade no espaço dos índices analisados, uma vez que, enquanto a krigagem ordinária considera apenas a distribuição espacial dos pontos amostrais, a krigagem por indicação leva em conta a variabilidade do atributo, permitindo uma análise da incerteza dos valores nos locais não-amostrados.

A krigagem por indicação, além de ser o método mais adequado para especializar o ISNA, permite uma análise mais confiável da qualidade da informação gerada, associada à sua incerteza espacial.

Para Braz et al. (2007) a pluviosidade é um fenômeno natural local e, com essa afirmativa, surgiu a necessidade de estudos regionais para caracterização da precipitação. O estudo realizado por eles apresenta informações consistentes, baseadas em séries pluviométricas históricas, direcionadas a estudos de modelagem ambiental, estimativas de produtividade, evapotranspiração e planejamento agrícola. Utilizaram, para tanto, um SIG, que aponta dentre os métodos da média aritmética, polígonos de Thiessen e interpolação, o que melhor caracteriza a distribuição da precipitação ao longo dos meses do ano e geograficamente na bacia Barra Seca, que é uma pequena bacia hidrográfica contida na bacia “Doce-Suruaca”.

A distribuição temporal da precipitação foi bastante semelhante para os métodos escolhidos, sendo recomendados polígonos de Thiessen e o interpolador IDW utilizarem 5

postos pluviométricos. Em relação à distribuição espacial, recomenda-se somente o interpolador IDW por este produzir mapas contínuos e permitir que se observe as isolinhas e a dinâmica da distribuição pluviométrica heterogêneos de distribuição das precipitações na área de contribuição da bacia Barra Seca.

Para melhor compreensão da pluviosidade e dependência espacial, Melo et al. (2003) desenvolveram um estudo para comparação de dois procedimentos estatísticos mais exatos, conforme já constatado em outras aplicações físicas, que são a krigagem e o inverso do quadrado da distância, para interpolação dos parâmetros da equação de precipitações intensas. Utilizaram-se 140 estações meteorológicas do estado de São Paulo, as quais dispõem da respectiva equação de precipitações intensas, estimadas com base em dados pluviométricos consideradas como ideais. Destas, 126 foram utilizadas para estudo da dependência espacial dos parâmetros e 14 para comparação de erros nas estimativas da precipitação intensa. Constatou-se que ambos os métodos apresentaram boa precisão, mas a krigagem produziu menores erros médios para 11 estações, verificando-se melhorias consideráveis em especial para tempos de retorno e tempos de duração da precipitação usuais em projetos em pequenas bacias hidrográficas, podendo-se sugerir este método como o mais adequado.

Alguns autores realizaram estudos em que utilizaram dados de precipitação pluviométrica, geralmente utilizando séries históricas de precipitação com período aproximados entre 20, 30 ou mais anos de observações. Eles optaram por comparar os métodos geoestatísticos que melhor condissessem com os dados utilizados. Para a análise da distribuição espacial, Francisco et al (2015) utilizaram o *software* Surfer® e o método de interpolação krigagem para ocorrência das precipitações mais significativas e isoladas nas regiões do Sertão e Alto Sertão paraibano e concluíram que o método da Kigragem gerou mapas coerentes com os dados de precipitação pluvial quando determinou as médias mensal e anual, desvio padrão, coeficiente de variação, e as médias sazonais dos períodos seco e chuvoso.

Já Gardimane et al. (2012) realizaram a comparação e o desempenho de cinco métodos de interpolação: inverso da distância ponderada (IDW), Krigagem esférico, natural vizinho, *Spline* regularizada e Topo to Raster.

Foram utilizados, pelos autores, dados de precipitação pluviométrica média mensal de um período de trinta anos, com estações localizadas dentro e fora da área da bacia hidrográfica do rio Itapemirim, sul do estado do Espírito Santo. Os autores concluíram que os melhores desempenhos foram obtidos (nessa ordem) pelos métodos Krigagem com modelo semivariograma esférico, IDW, *Spline* regularizada, Vizinho natural e, por último, Topo to Raster. Mas a Krigagem, com modelo semivariograma esférico, foi o método de interpolação

que apresentou as melhores estimativas da variável estudada, em caráter comparativo aos demais métodos.

Sousa et al. (2011) realizaram, também, estudo com temática semelhante a Viola et al. (2010), na espacialização das variáveis climáticas, com foco especialmente na precipitação pluviométrica. Em Viola et al. (2010), o objetivo foi avaliar o desempenho dos interpoladores krigagem, a partir do melhor modelo de semivariograma, cokrigagem, introduzindo a altitude como variável secundária, modelagem estatística, na qual a precipitação média pode ser estimada a partir de coordenadas geográficas, e inverso do quadrado da distância (IQD).

Por sua vez, Sousa et al. (2011) objetivaram o uso e avaliação de alguns dos principais métodos de interpolação (Inverso Ponderado da Distância; Krigagem; spline e triangulação com linear interpolação). Para Viola et al. (2010) todas as metodologias de interpolação avaliadas produziram erros aceitáveis, em se tratando do mapeamento de variáveis climáticas; entretanto, a cokrigagem, utilizando a altitude como variável secundária, resultou em menores erros em 5 dos 10 períodos analisados, sendo indicada, então, para o mapeamento da precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais.

Victória (2004) descreve que a metodologia do Inverso Ponderado da Distância (IDW) possui a vantagem de ser muito simples e rápido. Enquanto Silva et al. (2013) definem o IDW como um interpolador determinístico univariado de médias ponderadas. Já Jakob e Young (2016) frisam que o IDW é um método interpolador que é exato. Poucas decisões são tomadas acerca dos parâmetros do modelo. Este método pode ser adequado para uma visualização ou interpretação preliminar da interpolação de uma superfície.

Para Jakob e Young (2016), este método implementa explicitamente o pressuposto de que as coisas mais próximas entre si são mais parecidas do que as mais distantes. Para predizer um valor para algum local não medido, o IDW usará os valores amostrados à sua volta, que terão um maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta, daí seu nome.

Sousa et al. (2011) realizaram a comparação entre os métodos de interpolação para espacialização da precipitação, utilizando quatro métodos (Krigagem, IDW, Triangulação com interpolação linear, Mínima curvatura (*Spline*)). Os melhores resultados foram obtidos pela krigagem, seguidos pela curvatura mínima e inverso ponderado da distância.

Segundo afirmaram, o inverso ponderado da distância é um método matemático, o qual estima um valor para um local não amostrado como uma média dos valores dos dados dentro de uma vizinhança. O cálculo da média é ponderada pela distância entre o ponto a ser interpolado e seus vizinhos.

Atentando-se para definição do melhor método de interpolação desta pesquisa, foi selecionado como adequado o método IDW. A partir das conclusões de alguns autores citados anteriormente, como Braz et al. (2007), que recomenda o interpolador IDW por produzir mapas contínuos sobre subáreas de bacia hidrográfica (deve-se remeter a sub-bacia e micro bacia). Gardimanet et al. (2012) confirma que o IDW possui bons desempenhos na interpolação, bem como Victória (2004) destaca a vantagem do método de ser simplificado e ágil na produção da interpolação. Ademais, é destacado por Jakob E Young (2016) como interpolador exato, devido a poucas decisões a serem tomadas acerca dos parâmetros do interpolador.

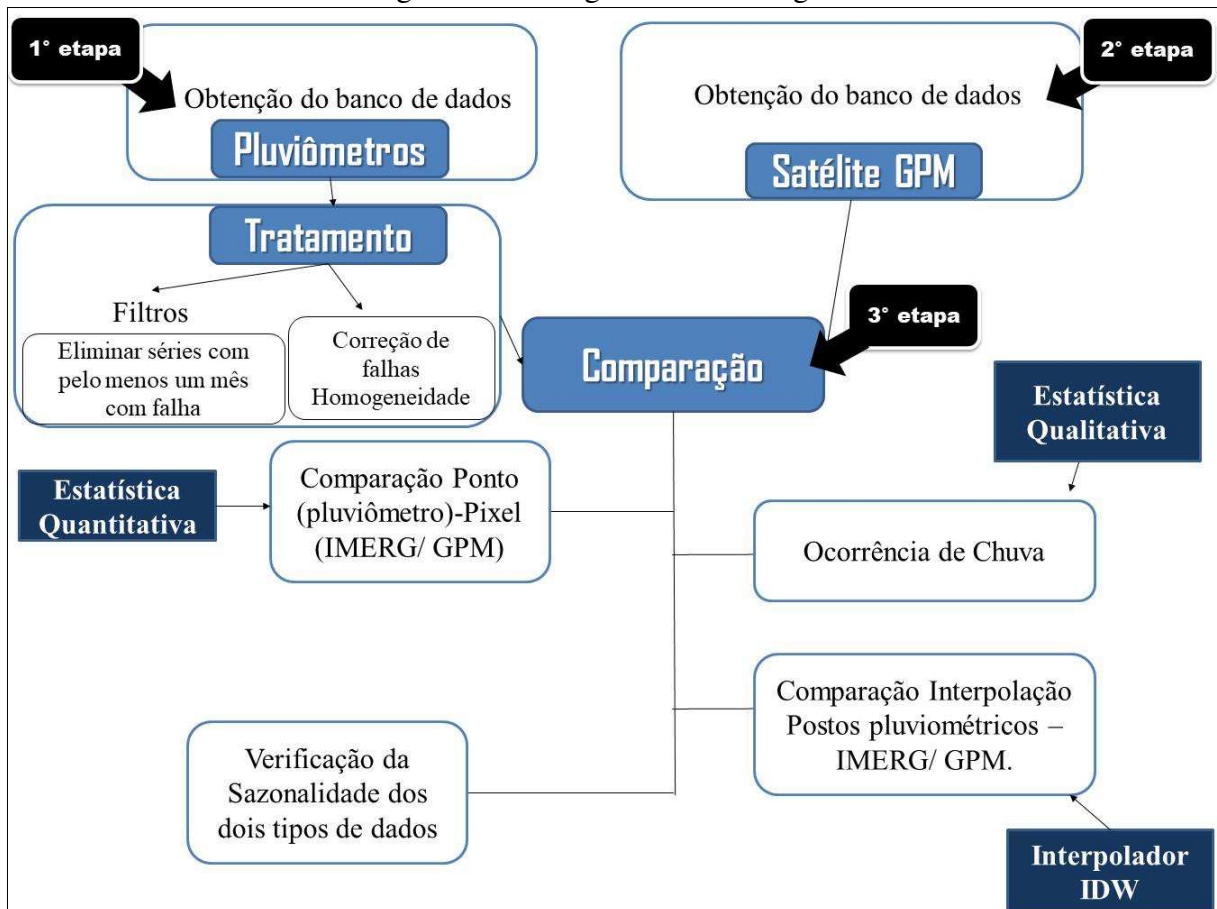
3 METODOLOGIA

Este capítulo está dividido em quatro sessões: descreve, inicialmente, a metodologia de forma sucinta e apresentada por meio de fluxograma, seguindo com a área de estudo e o detalhamento de cada etapa metodológica adotada.

A metodologia obteve início a partir da seleção da área de estudo que resultou na Sub-bacia do Rio Piancó – PB. Em seguida foram adquiridos os dados de precipitação dos pluviômetros e do IMERG da missão GPM.

Após os tratamentos dos dados, foram determinadas as métricas de comparação para o estudo da avaliação das estimativas de precipitação. Foram utilizadas equações estatísticas métricas, que empregadas nos valores obtidos dos pluviômetros e estimados por satélite contribuíram para o alcance dos objetivos da pesquisa. Além do processo de comparação, foi verificada a sazonalidade entre os dois bancos de dados. A figura 6 representa a estruturação da metodologia.

Figura 6 – Fluxograma metodológico

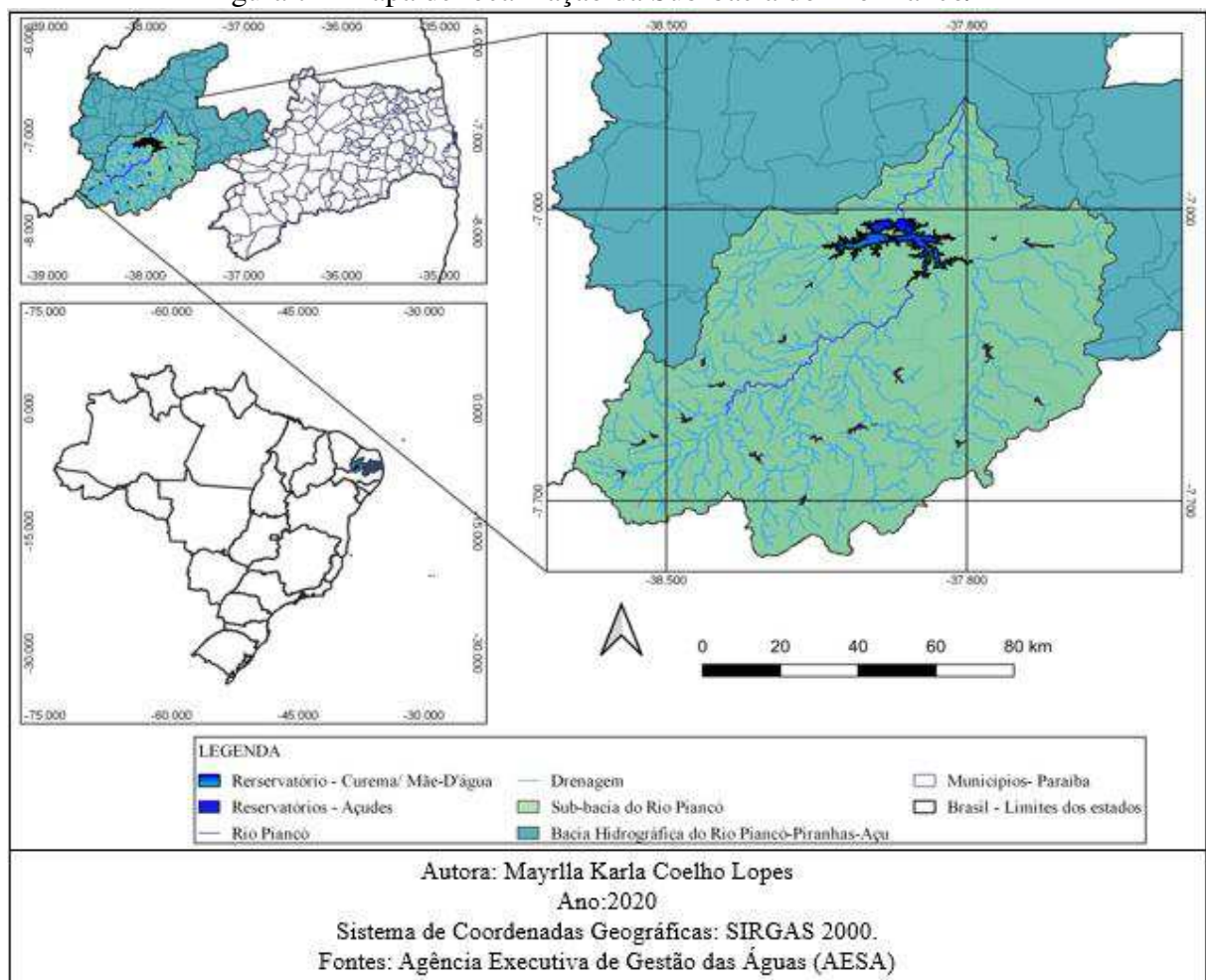


Fonte: Autoria própria (2020)

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Delimitada como área de estudo, a sub-bacia do rio Piancó (Figura 7), que pertence à Bacia Hidrográfica do rio Piranhas-Açu, é a maior da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, com área total de 43.683 km². A bacia hidrográfica tem clima semiárido, de domínio federal, possui uma área de drenagem de 43.681,50 km², e encontra-se dividida em quatro sub-bacias: Rio do Peixe, Rio Piancó, Rio Espinharas e Rio Seridó, segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (PERH-PB) (AESAs, 2006).

Figura 7 – Mapa de localização da Sub-bacia do Rio Piancó/PB



Fonte: AESA (2019) e IBGE (2019).

A sub-bacia do rio Piancó se localiza nas coordenadas geográficas 6°43'52'' – 7°50'28'' S e 37° 26'56'' – 38°42'56'' O (figura 7, mapa gerado a partir da manipulação dos dados obtidos da AESA e IBGE), no extremo sudoeste da Paraíba. Parte da perenização do trecho do rio Piancó ocorre através de dois reservatórios de regularização construídos pelo Departamento

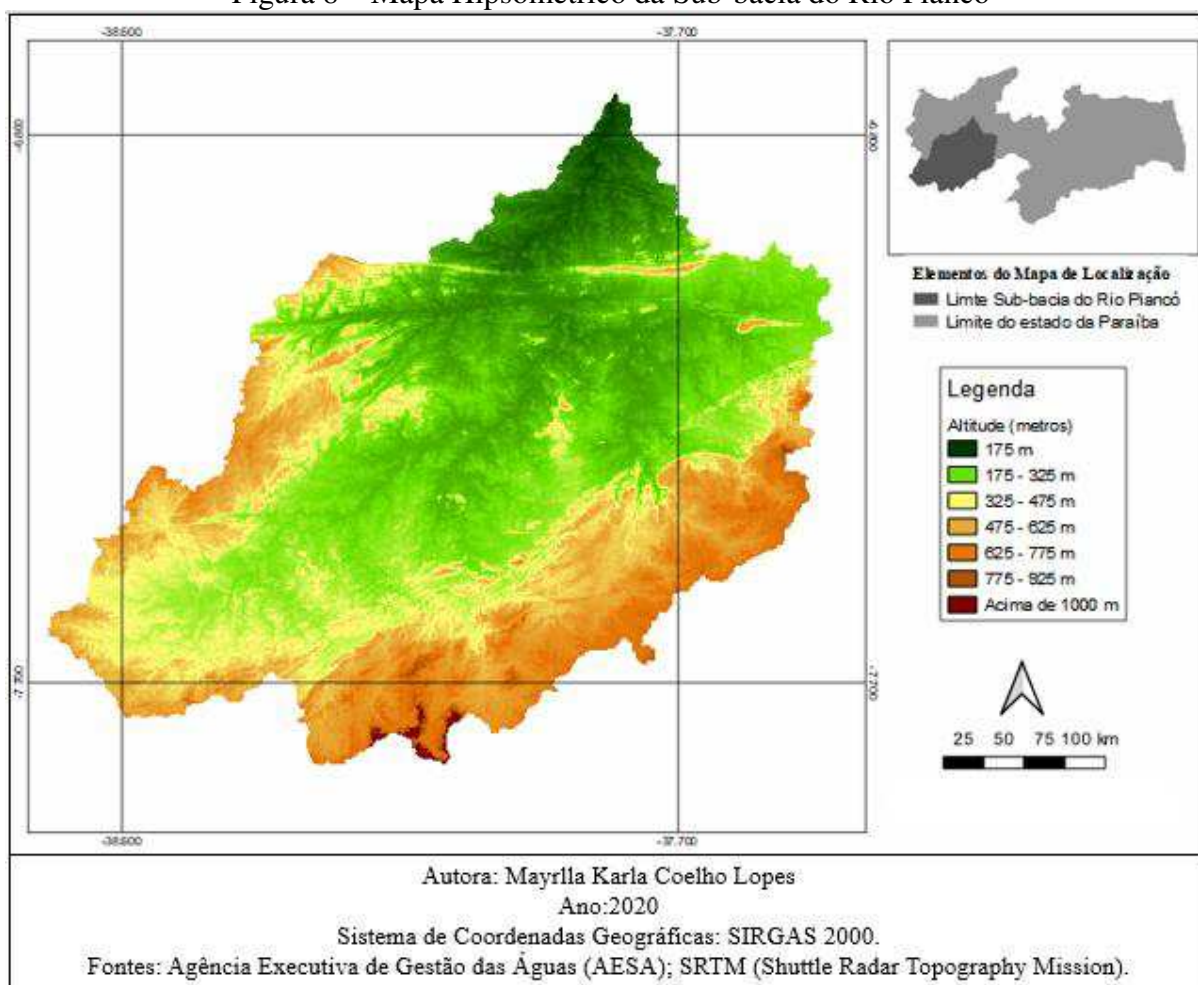
Nacional de Obras Contra a Seca - DNOCS: Açude Curema e Mãe d'Água, com capacidade de 1.159 hm³ (ANA, 2016).

Segundo o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (ANA, 2014), a sub-bacia do rio Piancó conta com 9.207 Km² de extensão, integra-se de 41 municípios e compõe cerca de 21,1% da área da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu.

A sub-bacia hidrográfica do rio Piancó está totalmente inserida em território de clima semiárido, apresenta precipitações concentradas em poucos meses do ano e um padrão de forte variabilidade interanual, caracterizado pela alternância entre anos de pluviosidade acima da média, regular e anos consecutivos de valores abaixo da média, que resultam em secas prolongadas e baixa disponibilidade hídrica. O registro de precipitação pluviométrica média anual é abaixo de 800 mm (ANA, 2012).

Trata-se, portanto, de uma região que possui uma carência alta de água subterrânea e está inserida em um espaço onde o solo se apresenta constituído predominantemente por formações cristalinas. Com base no Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu ANA (2016, p. 22), “O embasamento cristalino corresponde principalmente à Depressão Sertaneja, caracterizada por topografia plana a levemente ondulada, com altimetria mínima de aproximadamente 175 m, e formas de relevo tabulares e pouco aprofundadas” (figura 8, mapa gerado a partir da manipulação dos dados SRTM). A vegetação predominante é do bioma caatinga (ANA, 2016), uma região com temperatura média anual de 26°C.

Figura 8 – Mapa Hipsométrico da Sub-bacia do Rio Piancó



Fonte de dados: SRTM (2020)

3.2 PRIMEIRA ETAPA: DADOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

3.2.1 Obtenção das séries históricas

Os dados pontuais são registrados *in loco*, onde são realizadas coletas diárias de todos os pluviômetros e/ou pluviógrafos que constituem séries históricas de precipitação localizados dentro da sub-bacia do Rio Piancó.

As informações de precipitação dos postos pluviométricos utilizados na pesquisa são gerenciadas e operados pela ANA (Agência Nacional de água) e AESA (Agência Executiva de Gestão das águas do estado da Paraíba). Os dados foram adquiridos a partir dos websites de cada entidade responsável: ANA – <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>, AESA – <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/>.

Foram selecionados dados de precipitação diários para a área de estudo, os quais são disponibilizados em formato Access e CSV. São fornecidas, igualmente, as informações de nome do município e estação, longitude e latitude dos postos.

A malha de postos pluviométricos foi montada para a área da sub-bacia e área em torno da sub-bacia; foram coletadas séries históricas dos estados do Paraíba, Ceará e Pernambuco.

3.2.2 TRATAMENTO DOS DADOS

Com os postos pluviométricos obtidos a partir da AESA e ANA, foi realizado o tratamento das informações para evitar eventuais erros na aplicação da estatística. O tratamento dos dados foi realizado a partir do filtro. Este foi aplicado para seleção das séries históricas para comparação direta de valores mensais dos pluviômetros com dados estimados de satélite da missão GPM.

O critério de seleção adotado foi admitir séries com 19 anos de dados completos sem interrupção; eliminar séries com menos de 19 anos de dados com, pelo menos, um mês de interrupção de registros dos dados pluviométricos. Desta forma, foi definido o período de monitoramento compreendido entre janeiro do ano de 2001 a dezembro do ano de 2019.

Para interpolação dos valores de precipitação média diária mensais para os 12 meses do ano, foram admitidas séries com pelo menos dois ou mais meses sem registros para postos dentro e fora do limite da sub-bacia. Foi realizada a correção de falhas mensais e verificada a homogeneidade a partir dos métodos descritos nos subtópicos a seguir.

3.2.2.1 Preenchimento de falhas de dados

A ponderação regional (preenchimento de falhas) é, segundo Bertoni e Tucci (2001), um método simplificado normalmente utilizado para o preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitações, visando a homogeneização do período de informações e a análise estatística das precipitações.

Para um grupo de postos, devem ser selecionados pelo menos três que possuam, no mínimo, dez anos de dados. Os postos vizinhos devem estar, pois, numa região climatológica semelhante ao posto a ser preenchido. O preenchimento efetuado por esta metodologia é simples e apresenta algumas limitações, quando cada valor é visto isoladamente. Dessa forma, para as correções foram utilizados postos pluviométricos fora da área da bacia

Vale ressaltar que este método foi utilizado apenas para falhas mensais.

3.2.2.2 Homogeneidade e consistência anual dos dados

Para homogeneidade das estações investigadas, foi utilizado o método da Dupla Massa, descrito por Mello e Silva (2013) e por Bertoni e Tucci (2001). Esta curva é gerada plotando-se no eixo y os totais anuais acumulados da estação em análise e, no eixo x, o acumulado da média aritmética dos totais anuais precipitados em cada estação de apoio. Uma mudança brusca de direção da reta indica alguma anormalidade ocorrida na estação em análise naquele ano.

Os valores diários de precipitação, todavia, são de difícil preenchimento devido à grande variação espacial e temporal da precipitação para os eventos de frequências médias e pequenas (BERTONI; TUCCI, 2001).

Diante disso, Bertoni e Tucci (2001) demonstram as variadas metodologias utilizadas para preenchimento de falhas, embora comentem que não há um método realmente eficiente para o preenchimento de falhas diárias, ainda que destaquem ser recomendado o preenchimento de falhas mensais ou anuais.

Sobre o assunto, a ANA (2012) considera que o preenchimento de falhas em nível diário constitui ainda um campo aberto à pesquisa. Assim, na grande maioria dos casos, opta-se por não proceder ao preenchimento diário.

Com base nas conclusões das obras citadas e no banco de dados analisado, foi constatada uma quantidade muito pequena de falhas diárias, logo, não foi realizada correção dessas falhas e, na comparação direta, estes dados foram excluídos da comparação.

Foi utilizado um banco de dados sem interrupções mensais apenas para comparação direta com dados estimados de satélite. Após o tratamento desses dados, foi possível obter valores mensais e totais anuais para cada um dos postos.

Foi utilizada, ainda, a interpolação IDW Ponderação do Inverso das Distâncias (Inverse Distance Weighting) por meio do ambiente SIG no *Software* Qgis 3.10. O interpolador IDW permite gerar imagens de dados raster, possibilitando realizar a distribuição final dos resultados obtidos da comparação entre pluviômetros e os dados do *IMERG* da missão GPM.

Para confecção dos mapas interpolados foram selecionadas séries históricas de precipitação de 42 estações dentro e fora do limite da bacia. Vale ressaltar que apenas 20 postos foram utilizados para comparação ponto-pixel e aplicação da estatística. Na Tabela 1 são apresentadas as estações pluviométricas e suas respectivas coordenadas.

Tabela 1- Estações pluviométricas sobre a Sub-bacia do Rio Piancó.

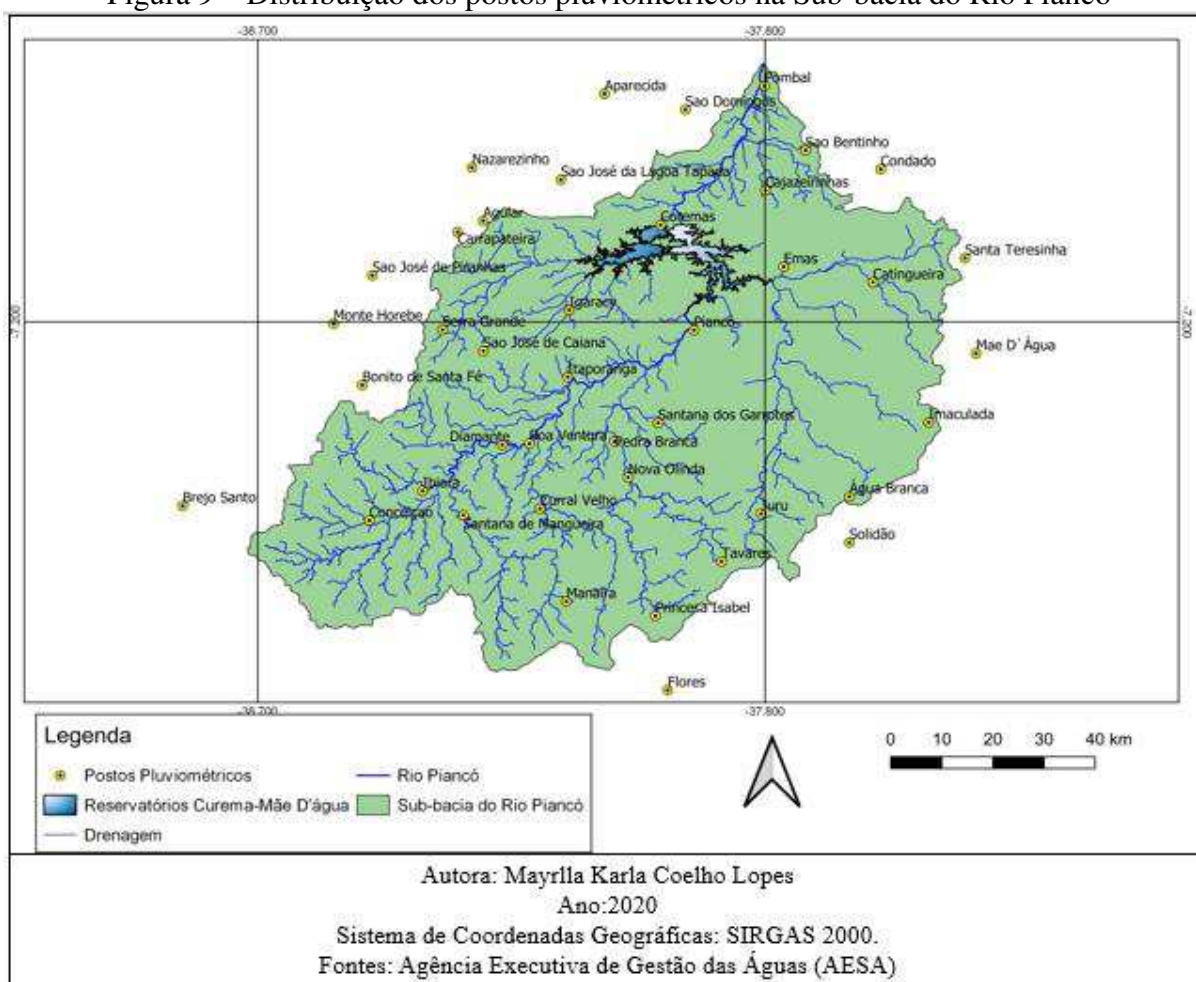
Estação	Latitude (Graus Decimais)	Longitude (Graus Decimais)
ÁGUA BRANCA	-7,5167	-37,6500
AGUIAR	-7,0167	-38,3000
APARECIDA	-6,7864	-38,0847
BOA VENTURA	-7,4206	-38,2178
BONITO DE SANTA FÉ	-7,3144	-38,5144
BREJO SANTO	-7,5333	-38,8333
CAJAZEIRINHAS	-6,9614	-37,7992
CARRAPATEIRA	-7,0369	-38,3453
CATINGUEIRA	-7,1283	-37,6083
CONCEIÇÃO	-7,5600	-38,5019
CONDADO	-6,9231	-37,5947
COREMAS	-7,0239	-37,9853
CURRAL VELHO	-7,5383	-38,1992
DIAMANTE	-7,4228	-38,2661
EMAS	-7,1000	-37,7667
FLORES	-7,8678	-37,9725
IBIARA	-7,5064	-38,4072
IGARACY	-7,1786	-38,1472
IMACULADA	-7,3822	-37,5094
ITAPORANGA	-7,3000	-38,1500
JURU	-7,5478	-37,8067
MÃE D'ÁGUA	-7,2572	-37,4253
MANAÍRA	-7,7069	-38,1525
MONTE HOREBE	-7,2031	-38,5653
NAZAREZINHO	-6,9200	-38,3197
NOVA OLINDA	-7,4819	-38,0425
PEDRA BRANCA	-7,4167	-38,0667
PIANCÓ	-7,2150	-37,9258
POMBAL	-6,7719	-37,8006
PRINCESA ISABEL	-7,7331	-37,9944
SANTA TERESINHA	-7,0842	-37,4450
SANTANA DE MANGUEIRA	-7,5503	-38,3353
SANTANA DOS GARROTES	-7,3833	-37,9897
SÃO BENTINHO	-6,8889	-37,7278
SÃO DOMINGOS	-6,8150	-37,9413
SÃO JOSÉ DA LAGOA TAPADA	-6,9422	-38,1619
SÃO JOSÉ DE CAIANA	-7,2525	-38,2997
SÃO JOSÉ DE PIRANHAS	-7,1156	-38,4967

SERRA GRANDE	-7,2142	-38,3722
SOLIDÃO	-7,6000	-37,6500
TAVARES	-7,6344	-37,8769
TRIUNFO	-7,8333	-38,1167

Fonte: AESA (2006)

Na figura 9 (mapa gerado a partir da manipulação dos dados oriundos da AESA) é apresentada a distribuição das estações pluviométricas na sub-bacia do Rio Piancó.

Figura 9 – Distribuição dos postos pluviométricos na Sub-bacia do Rio Piancó



Fonte de dados vetoriais: AESA (2019).

3.3 SEGUNDA ETAPA: OBTENÇÃO DOS DADOS GPM

Após a seleção do satélite meteorológico, foi realizada a aquisição dos dados estimados de precipitação por meio do Website <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>, Plataforma Giovanni da NASA, que disponibiliza, de forma gratuita, os dados imageados das missões espaciais.

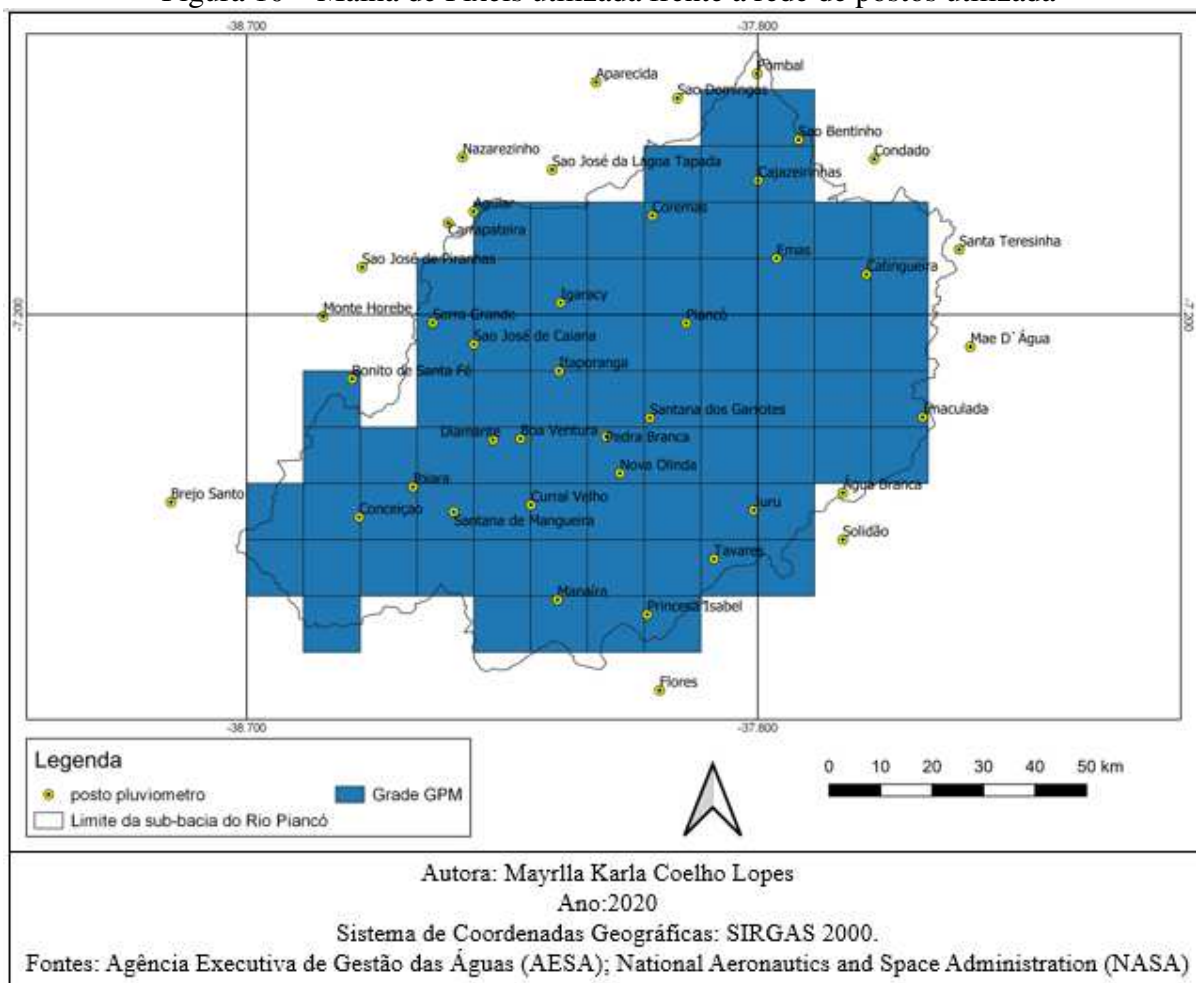
A missão selecionada de satélite meteorológico foi a missão espacial GPM, cujos dados estimados são gerados a partir do algoritmo IMERG v6 com resolução espacial $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ tipo do produto *Final Run*.

Foram selecionados dados em escala diária (mm/dia), cuja coleta foi realizada nos seguintes formatos: a primeira em formato de imagens TIFF e o segundo os dados extraídos em formato *Comma Separated Values* (CSV) pixel a pixel e agrupados para as devidas comparações com os dados pluviométricos. Foram adquiridas no período de 1º de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2019.

Ademais, foi obtida a imagem com a malha de pixels do satélite GPM e a sobreposição sobre os postos pluviométricos, conforme demonstra a Figura 10 (mapa gerado a partir da manipulação dos dados oriundos da AESA e NASA). Identificou-se que a maioria dos pixels possuíam apenas um posto dentro do limite de área de cada um deles.

Foram identificados 74 pixels dentro da área de estudo, porém apenas 19 possuíam postos com séries históricas de 19 anos sem falhas. Por isso, os pixels que não possuíam postos foram excluídos da comparação Ponto-Pixel. De um montante de 64 postos, após a aplicação do filtro, resultou em 20 postos pluviométricos, compreendendo o período dos anos de 2001 a 2019. Foram verificadas as precipitações na região de estudo, utilizando a precipitação diária e, a partir dela, foi obtida a média mensal diária para os postos e pixels provenientes do GPM.

Figura 10 – Malha de Pixels utilizada frente a rede de postos utilizada



Fonte: NASA e AESA (2019).

3.4 TERCEIRA ETAPA: COMPARAÇÃO

A metodologia para confrontação dos dois bancos de dados foi realizada a partir do Ponto-Pixel. Esta comparação ocorre de forma direta dos dados provenientes dos postos pluviométricos e dos dados de estimados pelo satélite meteorológico. Segundo Santos (2019), a metodologia Ponto-Pixel apresenta melhor desempenho quando comparada a outras metodologias comparativas semelhantes, como a Ponto-Ponto e a Pixel-Pixel.

Tendo em vista as dificuldades de caracterização das precipitações, não necessariamente existe uma única estatística que permita avaliar melhor a qualidade de determinada estimativa, carecendo de um agrupamento de estatísticas para avaliar a qualidade dos dados analisados.

Com essa constatação, para análise dos dados de precipitação por pluviômetros e estimada por satélite, foram realizadas análises por meio de cálculos estatísticos convencionais, como: precipitação média, desvio padrão, número de dias de precipitação, número de dias sem

precipitação, precipitação acumulada, entre precipitação de satélite e de pluviômetro. Todavia foram realizados cálculos estatísticos mais complexos para a validação dos dados.

Análise estatística para validação da precipitação estimada por satélite recomendadas pelo IPWG por meio do WWRP/WGNE *Joint Working Group on Verification* (*World Weather Research Programme/Working Group on Numerical Experimentation*). Nesse sentido, as estatísticas da análise de desempenho propostas pelo IPWG são divididas em dois grupos, os quais são apresentados a seguir.

3.4.1 Estatística Quantitativa

As estatísticas quantitativas são direcionadas para a verificação de diferenças nos valores dos dados observados e estimados de precipitação. Para o presente estudo foram escolhidos quatro testes quantitativos, abaixo descritos.

Como forma de padronização das variáveis utilizadas, toma-se P_i como a precipitação observada (Pluviômetro) no instante i ; P a precipitação média da série; Z_i a precipitação estimada (Satélite) no instante i ; Z a precipitação média do satélite e “ n ” o número total de dados.

- Erro Médio

O Erro Médio (EM) indica a diferença média entre as intensidades de precipitação por satélites e pluviômetros, representados em milímetros. Observe a equação 1:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - Z_i) \quad [1]$$

É importante mencionar que, caso a soma dos erros positivos seja igual à soma dos erros negativos, o modelo de previsão torna-se imparcial, isto é, a soma é próxima de zero.

- Erro Quadrático Médio

O Erro Quadrático Médio (EQM) avalia o erro por meio do quadrado das diferenças entre precipitações estimadas e observadas, representado em porcentagem. Essa estatística possui maior influência sobre erros de maior magnitude. Um EQM mínimo indica uma provável variação mínima dos dados, portanto, apresentando uma boa estimativa. O EMQ é apresentado com o emprego da equação 2.

$$EQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - Z_i)^2} \quad [2]$$

- Coeficiente de Correlação

O Coeficiente de Correlação (r), estimado pela equação 3, representa a associação linear entre os dados estimados e observados. Assumindo valores entre -1 e 1, em que $r = 1$ significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis, e $r = -1$, conseqüentemente, uma correlação negativa perfeita entre as variáveis, isto é, à medida que uma aumenta, a outra diminui. O valor de $r = 0$ significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - P)(Z_i - Z)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - P)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_i - Z)^2}} \quad [3]$$

- BIAS

O parâmetro BIAS relaciona as estimativas de precipitação por satélite (Z) com as estimativas obtidas pelos pluviômetros (P). Para valores de BIAS superiores à unidade, o satélite superestima a precipitação obtida pelos pluviômetros; quando BIAS é inferior à unidade, significa que ocorreu uma subestimação. Na equação 4, por meio da qual se apropria o parâmetro BIAS, n é quantidade de dados observados.

$$BIAS = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n Z}{n}}{\frac{\sum_{i=1}^n P}{n}} \quad [4]$$

3.4.2 Estatística Qualitativa (Estatística de Ocorrência)

As estatísticas de ocorrência estão relacionadas com o acontecimento ou não de um evento de precipitação na bacia. Adotou-se, dessa forma, um valor limite de precipitação de 1 mm.dia⁻¹ para caracterizar o evento como chuvoso, posteriormente os dados de precipitação foram transformados em código binário (valores de 0 e 1), codificando, assim, a ocorrência ou não de precipitação. Nesse sentido, a combinação das diferentes possibilidades entre as precipitações observadas e estimadas define os diferentes parâmetros.

No quadro 2 é apresentada a classificação adotada para cada codificação, bem como uma breve descrição sobre.

Quadro 2 – Classificação e descrição da codificação binária

CODIFICAÇÃO BINÁRIA	Classificação	Descrição
11	A – Sucesso	Quando ambos indicam a ocorrência do evento
10	B – Alarme Falso	Quando o satélite registra o evento, mas o pluviômetro não
01	C – Falha	Quando o satélite não registra o evento, mas o pluviômetro registra
00	D – Correto Negativo	Quando ambos não indicam a ocorrência do evento

Fonte: SANTOS (2019)

Foram escolhidas quatro estatísticas de ocorrência (Quadro 4), abaixo descritas. As estatísticas referentes a esse item são baseadas num quadro de contingência (Quadro 3), que contém as quatro combinações de concordância entre as imagens de satélite e pluviômetros.

Quadro 3 – Tabela de contingência

		PLUVIÔMETRO	
		Ocorrência	Não ocorrência
SATÉLITE	Ocorrência	A	B
	Não ocorrência	C	D

Fonte: SANTOS (2019)

Quadro 4 – Índices de desempenho derivados da tabela de contingência

Proporção Correta (PC)	$\frac{A + D}{n}$
Percentual de Acerto (H)	$\frac{A}{A + C}$
Índice de Falso Alarme (F)	$\frac{B}{B + D}$
BIAS	$\frac{A + B}{A + C}$

Fonte: SANTOS (2019)

Para Almeida (2017), o BIAS é utilizado como um indicador de subestimação ou superestimação do número de eventos chuvosos que são corretamente identificados pela estimativa por satélite. Para uma perfeita detecção desses eventos chuvosos, o valor do BIAS é igual à unidade. O índice H é a razão entre as previsões corretas e o número máximo de vezes que o evento ocorreu. Já no Índice de Falso Alarme (F), é representado o percentual em que os dias de estiagem não são corretamente identificados por satélites. Sendo necessário para calcular o índice, todos os elementos da tabela de contingência (Quadro 3).

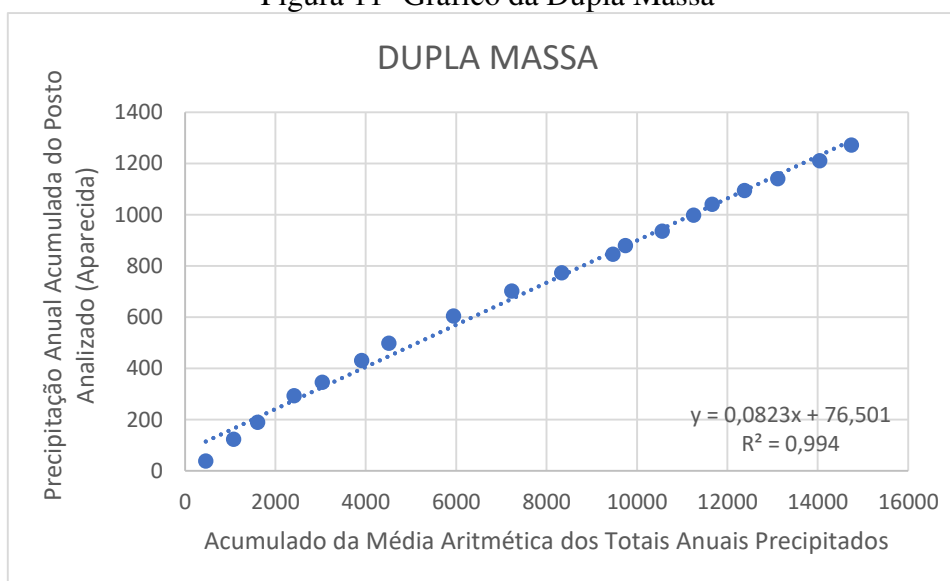
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TRATAMENTO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Em decorrência da composição do banco de dados pluviométricos, por meio das séries históricas selecionadas, dentro e fora do limite da sub-bacia, que continham falhas, foram realizadas as correções de falhas e verificada a homogeneidade dos dados trabalhados. Na Figura 11 é apresentada a consistência do banco de dados utilizado na pesquisa, verificando-se a consistência dos dados de todas estações em estudo.

Essa consistência foi obtida e apresentada no gráfico, o qual mostra que não há mudanças bruscas dos dados apresentados, definindo, assim, como dados consistentes a partir das definições do método da dupla massa. Devido à extensa lista de estações avaliadas neste trabalho, todavia, será apresentado o resultado do teste de Dupla Massa somente para o posto Aparecida.

Figura 11- Gráfico da Dupla Massa



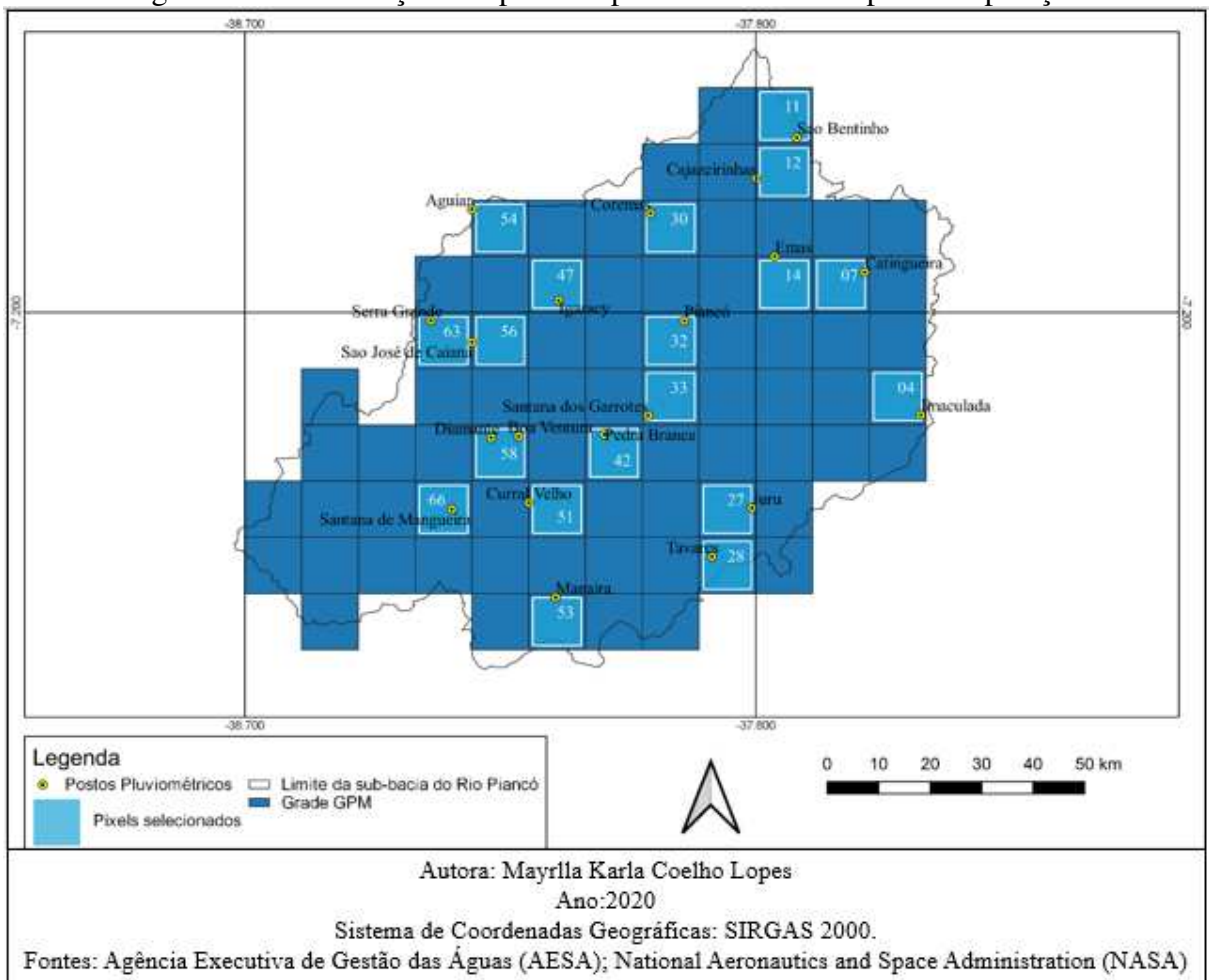
Fonte: Autoria própria (2020)

4.2 COMPARAÇÃO DIRETA (ESTATÍSTICA QUANTITATIVA)

Na avaliação comparativa das estimativas derivadas de satélite e os pluviômetros, inicia-se pelo método de confrontação direta simplificada ponto-pixel. Essa metodologia foi utilizada para comparação, pois desconsidera as discrepâncias espaciais, analisando apenas o valor da precipitação registrada no posto e o valor do pixel que abarca a área em que esse posto está localizado.

Já a confrontação dos dados estimados pelo GPM e os postos pluviométricos inicia-se pela escolha dos pixels e seus respectivos postos. No que se refere à sobreposição da malha GPM sobre os postos, foi possível identificar que a maioria dos pixels possui apenas um posto interno na área de cada pixel de 100 km². Na malha GPM foram identificados 19 pixels para confrontação direta com 20 postos pluviométricos, que atenderam ao critério de seleção de postos com séries históricas de 19 anos sem falhas, conforme se percebe na figura 12 (mapa gerado a partir da manipulação dos dados da AESA e NASA). Recorde-se que os pixels que não possuíam postos foram excluídos da comparação.

Figura 12 – Distribuição dos postos e pixels selecionados para comparação.



Fonte de dados: NASA e AESA (2019)

As séries históricas estão limitadas ao período entre os anos de 2001 a 2019. Foram verificadas as precipitações na região de estudo, utilizando a precipitação diária e, a partir dela, foi obtida a média mensal diária para os postos pluviométricos e pixels provenientes do GPM.

A média diária mensal foi selecionada devido a metodologia de ocorrência de chuva, que foi analisada a partir de dados diários. Para efeito de harmonia de trabalho manual, foi selecionado trabalhar com esta escala de dados.

De mesmo modo, para uma melhor apresentação dos resultados obtidos, utilizou-se um pixel e seu respectivo posto. Destaque-se que o posto selecionado está localizado no município de São Bentinho – PB e o número do pixel correspondente é o pixel 11. Os demais resultados estão disponíveis no **Apêndice A**, ao final deste trabalho.

Em seguida, foram realizados cálculos estatísticos convencionais, cujos resultados são apresentados na Tabela 2. Nela pode-se verificar que a estimativa por satélite possui a quantidade de dias com precipitação aproximadamente 2,6 vezes maior que o número registrado pelo pluviômetro e, conseqüentemente, a quantidade de dias sem precipitação é reduzida para o satélite. Vê-se, além disso, que as médias diárias das séries em comparação não possuem grande diferença, bem como o desvio padrão comparando as duas séries, sendo o valor máximo de precipitação registrado pelo pluviômetro.

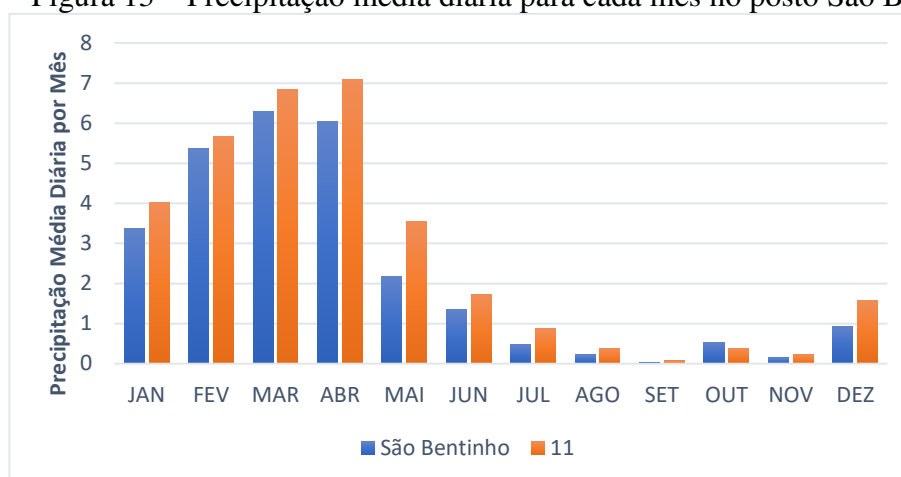
Tabela 2 – Estatísticas convencionais

Posto/Pixel	Nº de dias com precipitação	Nº de dias sem precipitação	Média diária	Desvio padrão	Nº total de dias analisados	Máximo	Mínimo
São Bentinho	1086	5853	2,23	8,87439	6939	156,50	0
11	2887	4052	2,65	8,58969	6939	144,47	0

Fonte: Autoria própria (2020)

A fim de verificar se as séries possuem comportamento semelhante em regime de precipitação entre o satélite e o posto, foi obtido a média diária mensal, a qual foi plotada em gráfico de barras ao longo do período de estudo, como apresentado na figura 13, que detalha a média da precipitação diária mensal no período de 19 anos, comparando os dados pontuais e os dados estimados.

Figura 13 – Precipitação média diária para cada mês no posto São Bentinho.



Fonte: Autoria própria (2020)

Na figura 13, é possível identificar que o período chuvoso se inicia no mês de janeiro, mas com maiores valores médios principalmente no mês de março. Esta consideração é oriunda da série histórica dos postos pluviométricos, no entanto os dados estimados acompanham a tendência da precipitação com maiores valores médios estimados para o mês de abril.

Na tabela 3 estão apresentados os valores do Bias em cada mês, sendo possível verificar pelo método estatístico que, em grande maioria, os registros dos pixels resultaram em superestimar os registros dos pluviômetros.

Tabela 3 – Parâmetro estatístico BIAS.

	<i>JAN</i>	<i>FEV</i>	<i>MAR</i>	<i>ABR</i>	<i>MAI</i>	<i>JUN</i>	<i>JUL</i>	<i>AGO</i>	<i>SET</i>	<i>OUT</i>	<i>NOV</i>	<i>DEZ</i>
<i>BIAS</i>	0,97	1,03	1,01	1,49	1,29	1,19	1,18	2,59	6,93	2,63	4,65	2,07

Fonte: Autoria própria (2020)

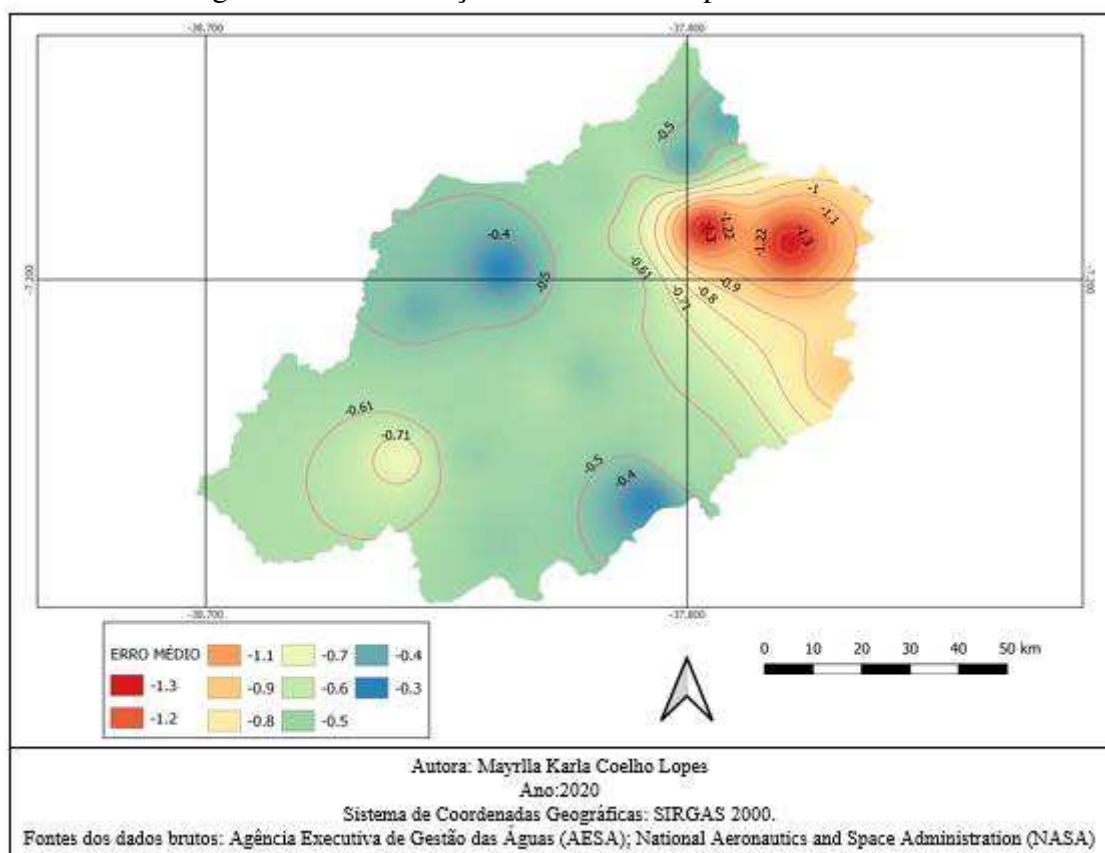
Nesse sentido, é possível identificar uma sazonalidade semelhante entre pluviômetro e satélite: de janeiro a maio são os meses mais chuvosos, a partir do mês de junho ocorre a redução da precipitação e iniciando o período seco, com precipitação reduzida, entre os meses de julho e dezembro, conforme a tabela 3. Em suma, mesmo apresentando superestimação na maior parte dos dados, existe semelhança na sazonalidade entre ambos.

Além disso, os dados estimados mensais possuem estimativa de precipitação um pouco elevada comparado ao pluviômetro, com exceção ao mês de outubro, que apresenta valor médio abaixo do registro pluviométrico. A estimativa GPM de forma visual, por meio da figura 13, registra que, na maioria dos meses, são superiores aos valores de precipitação dos pluviométricos, isso deve ocorrer a partir de precipitações isoladas que não são registradas pelos

pluviômetros, interferência dos ventos no momento da captação da água e/ou erro na estimativa por parte do sensor e demais interferências.

No que diz respeito à estatística quantitativa, foi analisado o Erro Médio (EMR) referente aos dados de escala diária, que apresenta o resíduo entre a diferença das fontes. Para resultados com valores positivos, indica que os valores de precipitação dos postos são maiores que os valores estimados por satélite (remete-se à subestimação); já para valores negativos de EMR, indica que os valores estimados são superiores ao valor dos dados dos postos pluviométricos (remete-se a superestimação). Logo, relacionando os valores dos resultados do EMR de valores negativos com o gráfico de barras, é possível identificar a concordância dos valores de estimativa superiores aos pluviômetros, obtendo a informação de superestimação para escala média diária mensal. Na Figura 14, apresenta a distribuição espacial de valores de EMR para todos os postos e pixels estudados com valores variando entre -1,3438 e -0,3037 mm com média de -0,6 mm e pode-se perceber que os menores valores de erro médio estão distribuídos nas regiões norte a sul e leste da bacia.

Figura 14 – Distribuição do Erro Médio para área de estudo



Fonte: Autorial própria (2020)

Pesquisas que utilizaram o parâmetro Erro Médio obtiveram os seguintes resultados: Gadelha (2018) 0,047 mm/dia/19anos; Almeida (2017) -24,4 mm/mês/17 anos; Bernardi (2016) 3,6 mm/dia/15 anos; Santos (2019) -0,38 mm/dia/19 anos. Levando em consideração os valores obtidos pelos autores e por serem em escala diária e período de estudo aproximado com o utilizado na pesquisa, pode-se considerar aceitáveis os resultados obtidos neste trabalho.

Vale ressaltar que os mapas gerados com os resultados das estatísticas realizadas foram de autoria própria e com auxílio da manipulação de dados *Shapefile* oriundos da AESA.

A tabela 4 apresenta os valores de Erro Médio, Coeficiente de Correlação e Erro Médio Quadrático, para o posto São Bentinho e o pixel 11. Em relação à Raiz do Erro Médio Quadrático (RQME), ela mede a acurácia dos dados com valores de erros na mesma dimensão daqueles que estão sendo comparados, sendo o valor ideal próximo a zero, pois indica a concordância absoluta sobre as fontes.

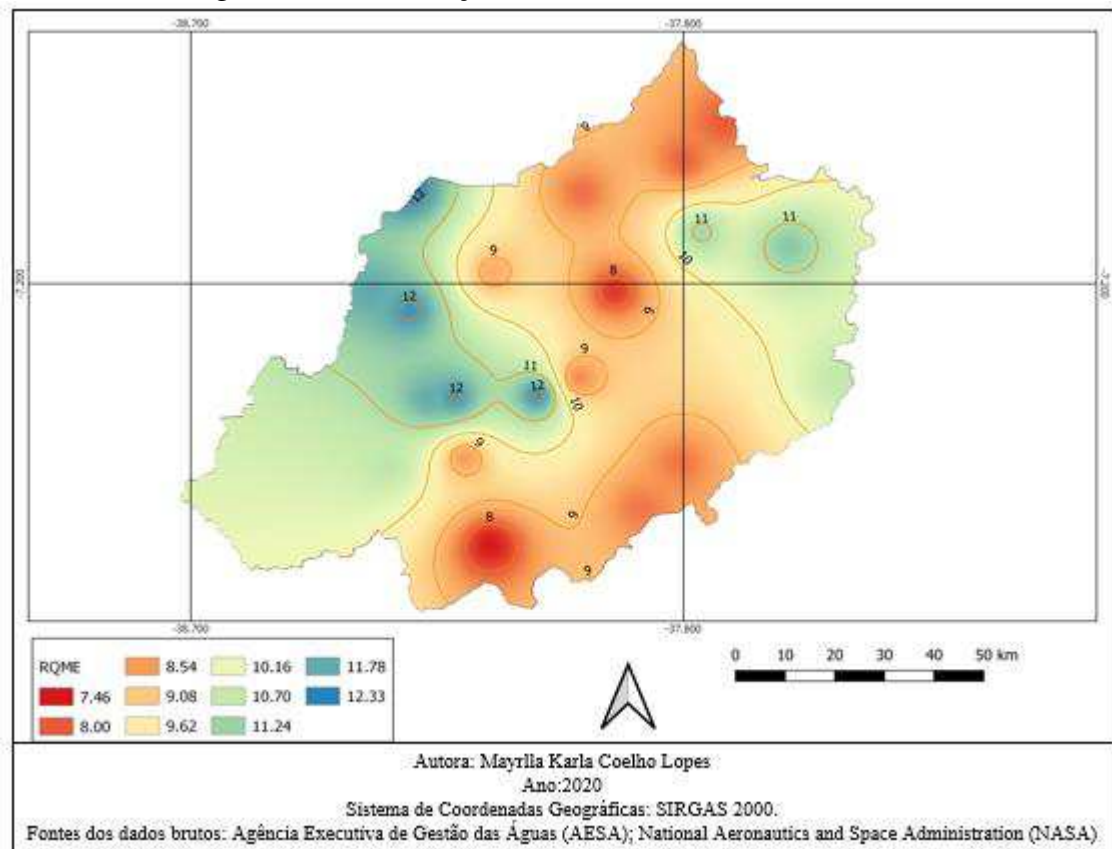
Tabela 4 – Estatística Quantitativa

Posto/Pixel	CC	EMR	RQME
São Bentinho	0,58063	-0,4205	8,01151
11			

Fonte: Autoria Própria (2020)

A RQME possui média de 8,01151 mm na área de estudo. Este valor significa que, em média, a partir das séries históricas utilizadas, o GPM superestima valores de precipitação em torno de 8 mm, variando aproximadamente entre 7,45mm e 12,36 mm. A Figura 15 apresenta a distribuição do RQME sobre a sub-bacia, que apresenta os menores valores de erros quadráticos nas distribuições norte, sul e centro, e nas regiões leste e oeste destacam-se os maiores erros quadráticos. No **Apêndice B** está disponível o quadro com valores obtidos que se distanciam de zero, pois indicam que não possui concordância absoluta entre pluviômetros e satélite.

Figura 15 – Distribuição do RQME sobre a área de estudo.



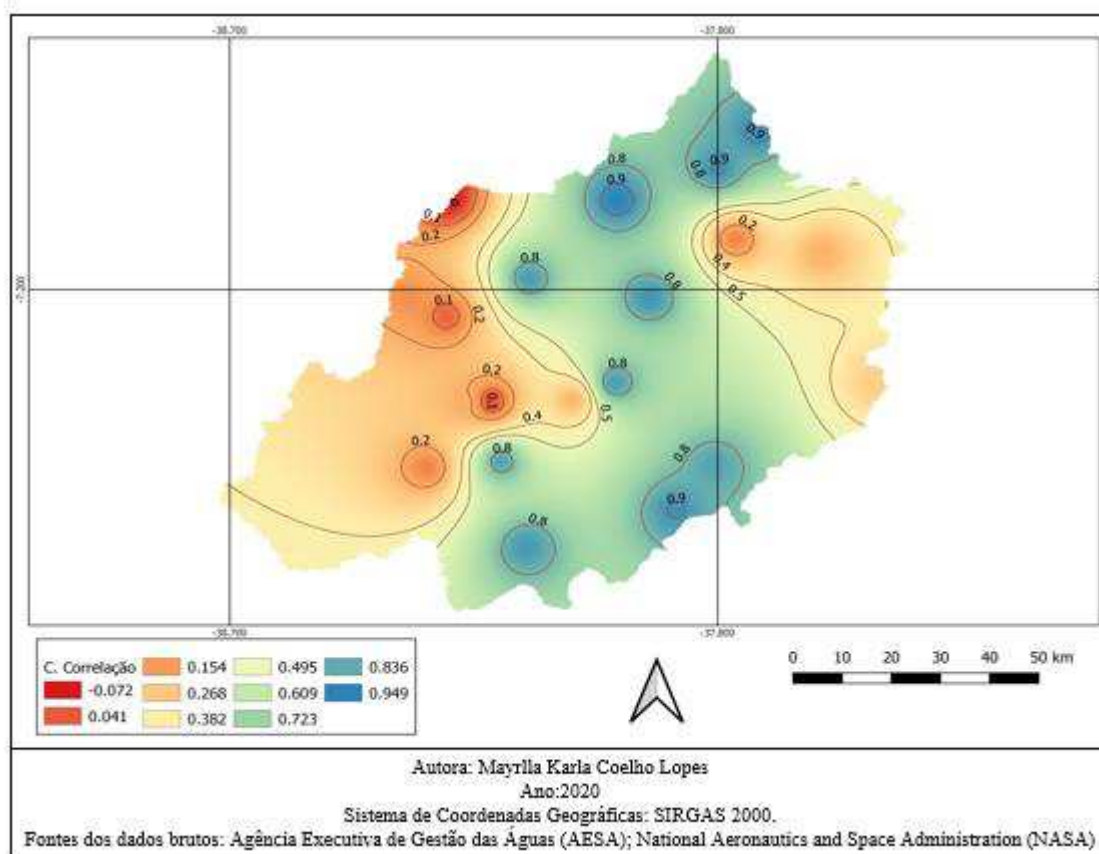
Fonte: Autoria Própria (2020)

Pesquisas que utilizaram o parâmetro Erro Médio Quadrático obtiveram os seguintes resultados: Bernardi (2016) 10 mm/dia/15 anos; Santos (2019) 9,28 mm/dia/19 anos, comparando ao valor médio obtido de 8 mm/dia/19 anos. Este valor considera-se aceitável, devido ser o melhor resultado para EMQ próximo de zero e o valor obtido nesta pesquisa ser inferior se comparado com os dados obtidos na literatura.

De acordo com a equação 3, vista anteriormente, o parâmetro de Coeficiente de Correlação avalia a dependência linear entre os dados variando entre -1 e +1, e, em caso de valores próximos de zero, significa que não há relação entre os dados. Nesse sentido, os Coeficientes de Correlação obtidos nesta pesquisa são inferiores a 1, indicando que os dados estimados possuem boa dependência linearmente uma da outra, assim como valores 0,9, e indicada, também, que há séries que possuem baixa correlação.

As melhores correlações estão distribuídas no sentido norte a sul da sub-bacia, conforme apresentado na figura 16. As regiões leste e oeste da bacia apresentaram os menores valores de correlação entre as séries dispostas na região.

Figura 16 – Distribuição do Coeficiente de Correlação para área de estudo.



Fonte: Autoria Própria (2020)

4.3 OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO (ESTATÍSTICA QUALITATIVA)

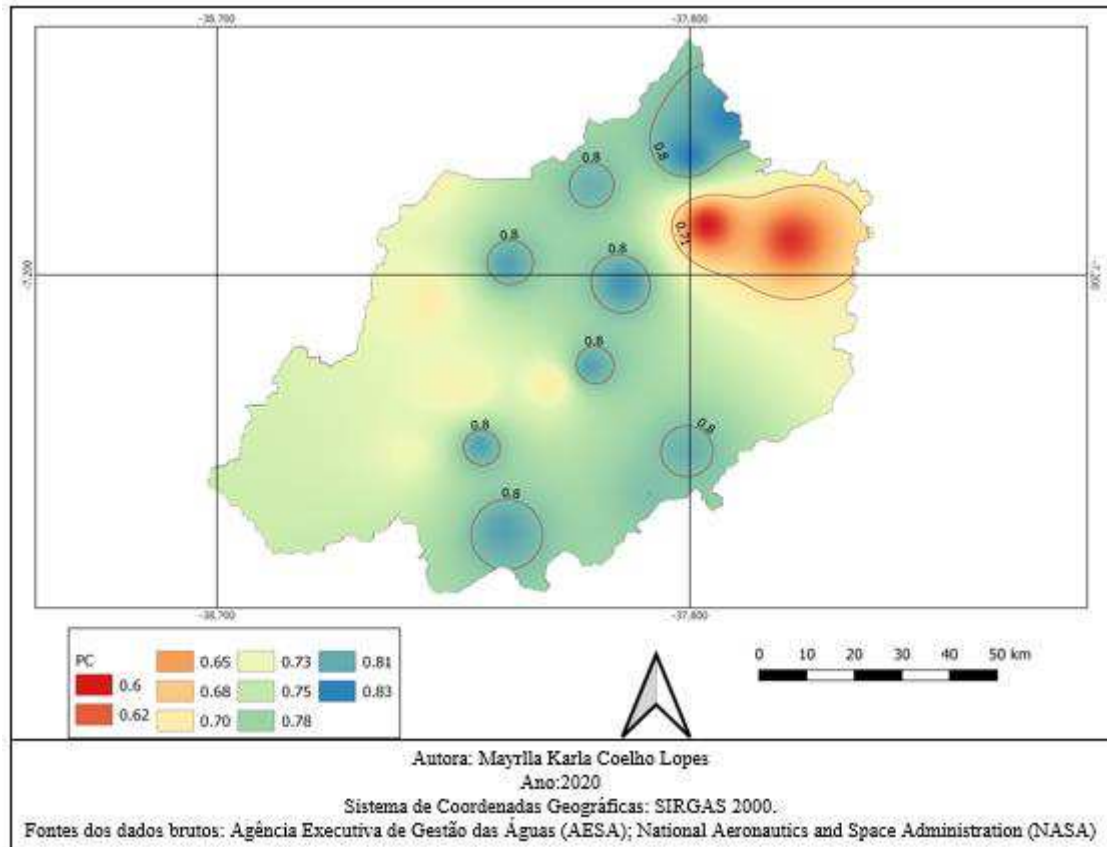
Com a estatística de ocorrência de precipitação, transformam-se os dados de precipitação em codificação binária, sendo esta a base essencial para uso das estatísticas de índices de desempenho. Esse processo pode ser verificado a partir das equações disponíveis no Quadro 4, apresentado no capítulo 3 deste trabalho.

Calculado o Percentual de detecção (PC), no qual este índice indica o percentual de acertos estimados pelo satélite de ocorrência ou não de precipitação, quando comparado aos dados pluviômetros correspondentes, a média geral de PC, para área de estudo, fica em torno de 76%. Apresenta, pois, um bom desempenho, variando de 60% a 84%, além do mais as maiores porcentagens de detecção ocorreram sobre os pixels 11, 12 e 47, referentes aos postos São Bentinho, Cajazeirinhas e Igaracy, respectivamente.

A figura 17 apresenta a distribuição dos percentuais sobre a área da sub-bacia, considerando que, para uma perfeita detecção, o valor de PC deve chegar o mais próximo possível de 100%. Na tabela 5, em seguida, são apresentados os valores de índices de desempenho obtidos para o posto São Bentinho e o pixel 11. Na figura 17, em comparativo, é

perceptível que os maiores valores de percentual de detecção estão distribuídos na região de norte a sul e centro da sub-bacia.

Figura 17 – Distribuição do Percentual de Detecção (PC) sobre a área de estudo



Fonte: Autoria Própria (2020)

Tabela 5- Índices de Desempenho

Posto/Pixel	PC	H	F	BIAS
São Bentinho 11	0,8371	0,46741	0,0555	0,66297

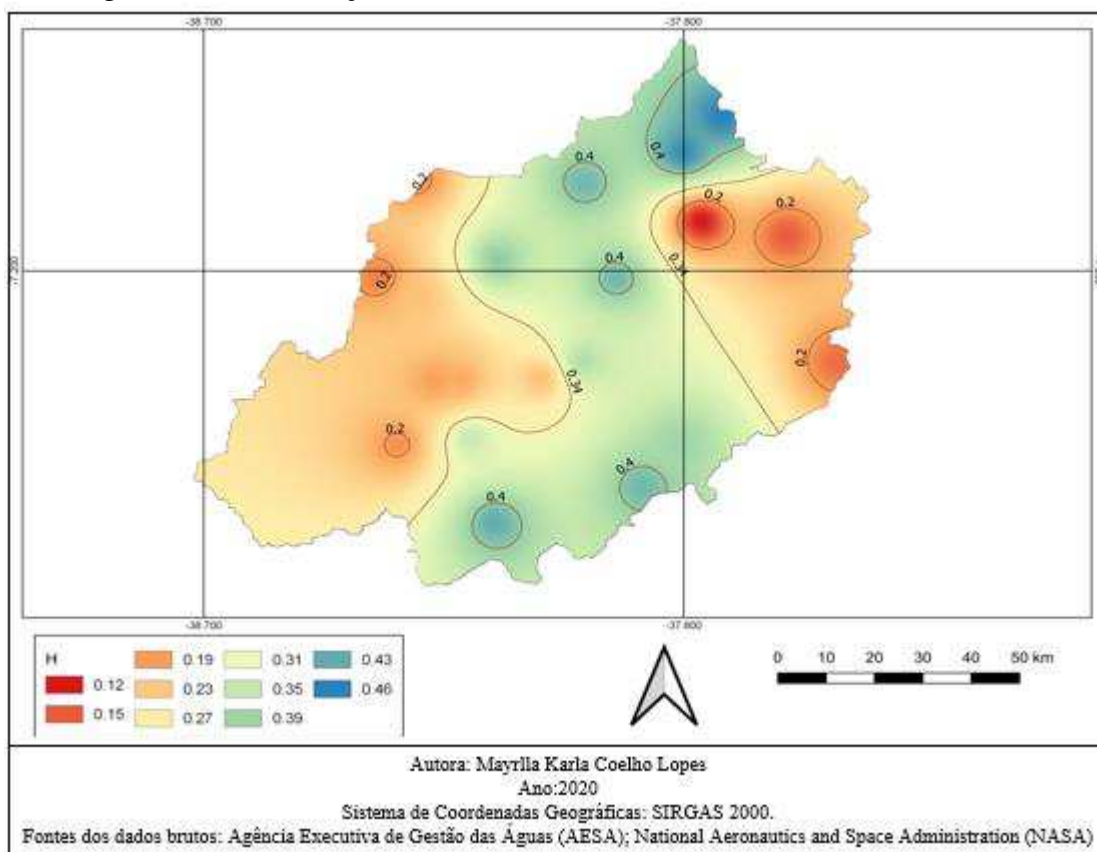
Fonte: Autoria Própria (2020)

Dos trabalhos que utilizaram os índices de desempenho, destacam-se Santos (2019) com PC = 0,84 valor médio para escala diária no período de 19 anos; Bernardi (2016) com PC = 0,79 valor médio para escala diária no período de 15 anos; e Gadelha (2018) com PC = 0,62 valor médio para escala diária no período de 01 ano. O valor ideal para o PC é o mais próximo de 1 ou 100%, e o valor médio de PC obtido nesta pesquisa é de 0,76 ou 76 %, valor aproximado das literaturas citadas.

O índice de Percentual de Acerto (H) identifica as porcentagens do número de vezes da assertividade das previsões de evento chuvoso com sucesso. Logo, observou-se que a média deste índice sobre a área de estudo é de aproximadamente 30%, comparando os dados estimados

com os dados observados. O índice obteve variação entre 12% e 47% de acerto dos eventos chuvosos, os quais apresentaram valor máximo entorno de 47%, o que indica que o satélite tem capacidade de indicar corretamente os dias chuvosos em aproximadamente 40% dos casos (Figura 18).

Figura 18 – Distribuição do Percentual de Acerto (H) sobre a área de estudo



Fonte: Autoria Própria (2020)

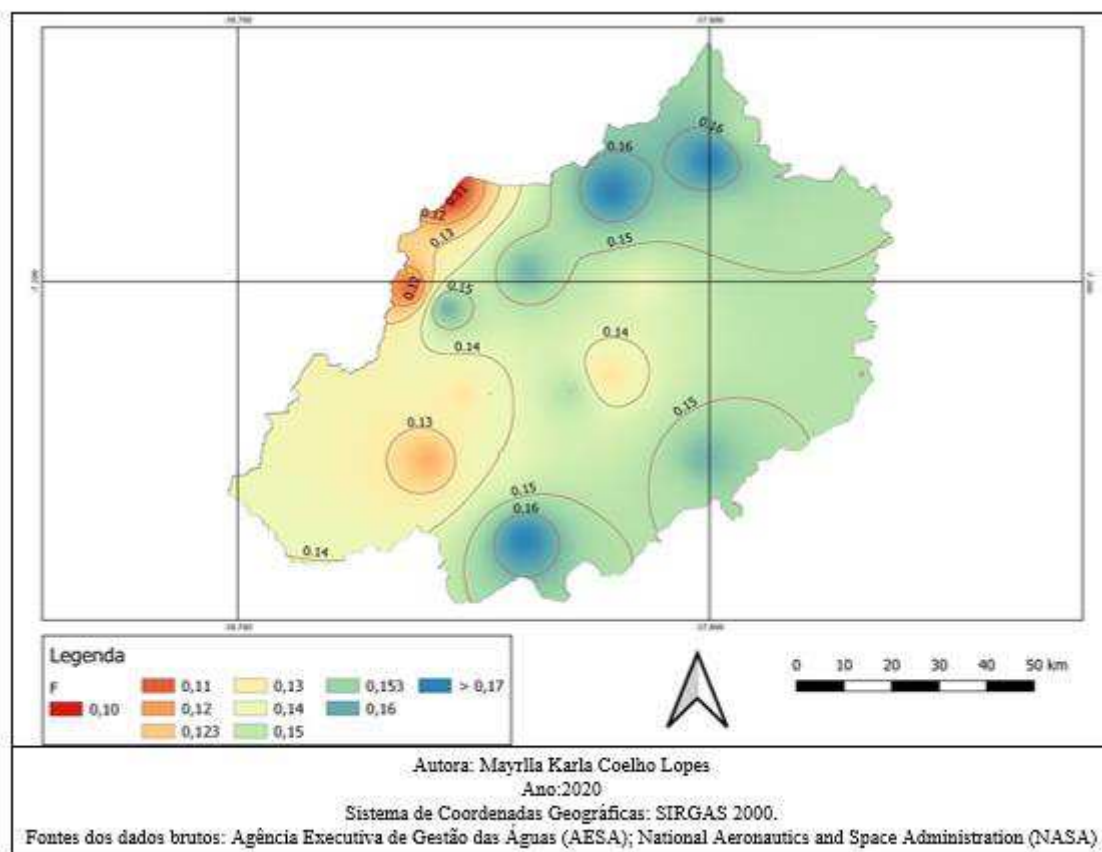
A distribuição dos valores obtidos de H, apresentados na figura 18, torna visível que as maiores porcentagens de acerto estão localizadas nas regiões de norte a sul e centro da sub-bacia. Enquanto as regiões leste e oeste apresentam menores valores em porcentagens de assertividade de evento chuvoso com sucesso.

Pesquisas que utilizaram o índice de percentual de acerto (H) obtiveram os seguintes resultados: Bernardi (2016) H= 57% em escala diária no período de 15 anos; e Santos (2019) H= 60% mm/dia/19 anos. Levando em consideração os valores obtidos pelos autores e por serem em escala diária e período de estudo aproximado com o utilizado na pesquisa, pode-se considerar aceitáveis os resultados obtidos neste trabalho.

No que concerne ao índice de Falso Alarme, ele indica o percentual de vezes em que o evento foi previsto pelos sensores do satélite, mas não foi possível observar por meio da rede pluviométrica da região, ou seja, o percentual de erro na detecção de dias de estiagem. Além

disso, observando a média percentual de 8% para a região de estudo, identifica-se a capacidade do satélite em realizar a estimação correta para os dias de estiagens, apresentando valores de erros de detecção que variam entre 3 e 13%, conforme está representada, na Figura 19, a distribuição do índice de falso alarme na área de estudo.

Figura 19 – Distribuição do índice de Falso Alarme



Fonte: Autoria Própria (2020)

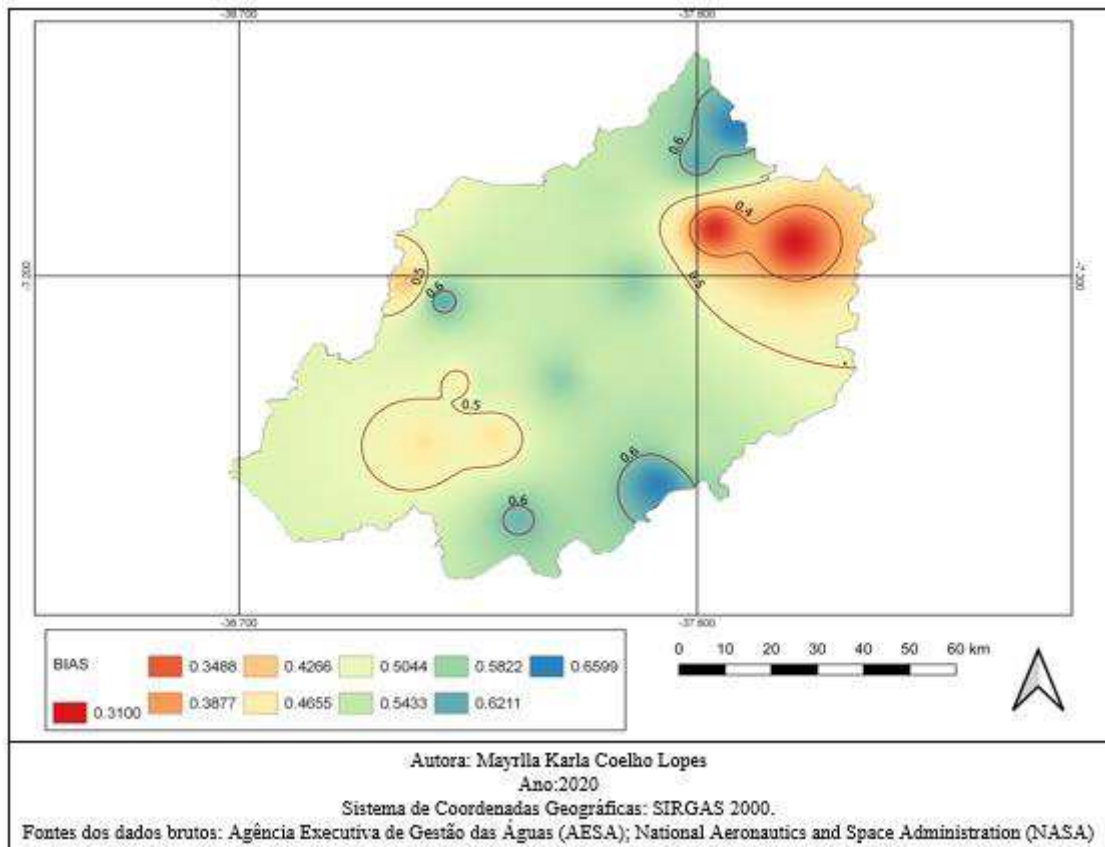
Pesquisas que utilizaram o índice de Falso Alarme (F) obtiveram os seguintes resultados: Bernardi (2016), $F=0,10$ em escala diária no período de 15 anos; Santos (2019), $F=0,11$ mm/dia/19 anos. Levando em consideração os valores obtidos pelos autores e por serem em escala diária e período de estudo aproximado com o utilizado, o valor médio obtido nesta pesquisa de $F = 0,8$, pode-se considerar aceitáveis os resultados obtidos neste trabalho.

O índice BIAS, por sua vez, funciona como indicador de superestimação ou subestimação dos dias de ocorrência de precipitação. Para os valores obtidos para a sub-bacia, apresenta média de 0,52, variando entre 0,31 e 0,66, inferior a uma unidade, condição que indica subestimação em escala diária (na Figura 12 está apresentado a distribuição do BIAS sobre a área de estudo). O cálculo do valor do BIAS é igual à unidade, os valores maiores indicam uma superestimação e os

menores a unidade de subestimação, logo, os valores obtidos para o BIAS indicam subestimação da ocorrência de precipitação, dos dados diários divergentes do BIAS calculado para escala mensal.

Com isto, a figura 20 apresenta a distribuição do BIAS diário no período de 19 anos, indicando subestimação do satélite se comparada aos dados dos pluviômetros. Pode-se verificar, ainda, os maiores valores do BIAS nas regiões de norte a sul da sub-bacia.

Figura 20 – Distribuição do índice BIAS



Fonte: Autoria Própria (2020)

No estudo desenvolvido por Almeida (2017) sobre a região hidrográfica do rio Itapemirim, o parâmetro BIAS apresentou valor médio de 0,97 subestimação e Bernardi (2016), no Rio Grande do Sul, apresentou o parâmetro BIAS com valor médio 0,95, indicando subestimação. Os resultados foram considerados representativos, indicando boa resposta do satélite. Porém os valores obtidos na pesquisa em escala diária não atingiram a média dos valores obtidos por estudos anteriores.

Nos resultados das estatísticas aplicadas e comparadas com resultados de trabalhos que utilizaram metodologia semelhante, de forma geral, boa parte dos resultados obtidos nesta pesquisa e comparados com outras obras apresentou valores aproximados. Valendo ressaltar

que esta pesquisa utilizou satélite diferente das obras citadas, porém gerou resultados aceitáveis para maioria das estatísticas aplicadas.

A partir dos resultados interpolados pelo método IDW foi possível compreender espacialmente quais séries e pixels apresentaram melhor correlação, menores erros médios e menores erros quadráticos, bem como a estatística de ocorrência. Observou-se uma convergência de distribuição dos melhores resultados na área da sub-bacia, limitando-se de norte a sul e centro da sub-bacia, onde está localizado o rio Piancó. As melhores correlações, menores erros e superestimação identificados estão sob altitudes mais baixas, variando entre 175 m e 325m (conforme visto na Figura 8) e abrangendo o vale do Piancó dentro na área de estudo.

Sobre a região do vale do Piancó, foi identificada superestimação dos dados estimados por satélite em comparação aos dados dos pluviômetros. As informações de superestimação de precipitação indicam que ocorre estimativas de precipitação que não são registradas pelos pluviômetros, porém existe a parcela que pode gerar erros por parte do algoritmo.

Na prática, essa informação de superestimação é importante para as tomadas de decisões na gestão e planejamento de recursos hídricos na área que abrange o Vale do Piancó. É importante, também, para futuros planejamentos e dimensionamentos de reservatórios, que podem reduzir os conflitos de escassez em estiagens, já que elas ocorrem naturalmente na região de estudo, além de ser significativa para melhor distribuição dos recursos hídricos para a indústria, agropecuária, agricultura e abastecimento humano. No mais, pode contribuir para a segurança hídrica e alimentar da região.

Ressalte-se, por fim, que a precipitação em seus extremos, como citado, a escassez e também a abundância que ocorrem em curtos períodos podem ocasionar prejuízos socioeconômicos e ambientais. Contudo, com as superestimativas das precipitações, essa informação torna-se importante para gerenciar os recursos hídricos, de modo a reduzir esses prejuízos que ocorrem na região.

CONCLUSÃO

Diante do que foi apresentado, a ferramenta de sensoriamento remoto por meio do IMERG GPM apresenta tendência semelhante de regime de precipitação comparada aos postos pluviométricos e corrobora com a sazonalidade dos postos e pixels.

Pela comparação Ponto-Pixel, foi realizada a representação gráfica e estatística, a partir das estatísticas quantitativas dos resultados do coeficiente de correlação, que apresentaram melhores valores de CC na região do Vale do Piancó. Por meio do erro médio, observou-se que os valores de estimativa por satélites são superiores aos valores dos pluviômetros, indicando superestimação, no erro médio quadrático, apresentando os valores sobre os erros menores nas regiões norte a sul e centro da bacia, que abrange o Vale do Rio Piancó, superestimando em média 8 mm/dia no período de 19 anos. Tudo isto indica que não há concordância absoluta com os dados devido à superestimação.

É possível concluir, por meio da comparação, a estimativa dos dados por satélite, a qual apresentou informação de precipitação superestimadas para as médias diárias mensais. Na maioria das métricas consideradas tanto para análise pontual como para área completa da sub-bacia, o desempenho foi de superestimação das estimativas de satélite, fato corroborado com o BIAS, que é o parâmetro que indica superestimação e subestimação. Foram obtidos, assim, valores superiores à unidade para a média diária mensal, indicando superestimação. Com isso, é compreensível que se espere alta correlação entre ambas as fontes.

Na estatística de ocorrência, pode-se verificar o percentual de detecção de eventos com dias chuvosos. Dessa forma, foi obtido em torno de 76%, percentual de acerto de evento chuvoso, e o número máximo de ocorrência está em média de 30%, falso alarme que indica a porcentagem de estimativas de estiagem em torno de 8%. Para o BIAS, por seu turno, o percentual em torno de 0,5 indica subestimação para dados diários, devido ao valor obtido estar mais próximo de zero.

Após a realização da aplicação e comparação de ferramentas de monitoramento e estimativa de precipitação sobre a área de estudo, observou-se que, a depender do fator geográfico altitude, obteve-se bons resultados de resposta do sensor na estima de precipitação para as menores altitudes. Entretanto, regiões dentro da área de estudo com altitudes maiores apresentaram resultados com baixa correlação e maiores valores de erros.

Pode-se verificar, portanto, que a região do Vale do Piancó apresenta superestimação e que essa informação pode auxiliar na melhor gestão dos recursos hídricos, assim como na segurança alimentar e hídrica da região.

REFERÊNCIAS

AESA. Agência Executiva de Gestão das águas do Estado da Paraíba. **Plano Estadual hídricos de Recursos Hídricos (PERH-PB) Resumo Executivo e Atlas**. Brasília, DF: Consórcio TC/BR - Concremat, 2006.

AESA. **Geo portal**. [material eletrônico] 2019. Disponível em: <<http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html>>. Acesso em: 31 de out. de 2020.

AIRES, U. R. V.; NETO, J. O. M; DE MELLO, C. R. Estimativas de Precipitação Pluvial Derivadas do Sensor TRMM para a Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba. In: *Scientia Agraria*, v. 17, n. 2, p. 57-66, 2017.

ALMEIDA, K. N. **Análise de Desempenho do Satélite TRMM na Estimativa de Precipitação Sobre a Região Hidrográfica do Rio Itapemirim**. 2017. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2017. Disponível em: <http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_11642_Disserta%E7%E3o%20Final%20Mestrado%20Karinnie%20Nascimento%20de%20Almeida.pdf>. Acesso em: 30 de jul. de 2020.

ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). **Orientações Para Consistência De Dados Pluviométricos**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2012. Disponível em <<http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/OrientacoesParaConsistenciaDadosPluviometricos-VersaoJul12.pdf>>. Acesso em: 05 de jul. de 2020.

ANA, Agência Nacional de águas (Brasil). **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu**. Brasília, DF: ANA, 2016.

ANA. Agência Nacional de águas (Brasil). **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Piranhas-Açu**. Brasília, DF: ANA, 2014.

ANA. Agência Nacional de águas/ Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (Brasil). **A Questão da água no Nordeste**. Brasília, DF: CGEE. ISBN 978-85-60755-45-5, 2012.

ANDRADE, A. R. S. D. [et al]. Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões nas séries temporais da precipitação no Agreste pernambucano. In: **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Pernambuco, v. 3, n. 1, p. 126-145, jan. 2018.

ARAÚJO, K, F. **O Efeito do Fenômeno La Nina nas cidades do sertão paraibano**. 2016. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB, 2016.

ARAÚJO, S. R.; SANCHES, F.O.; FERREIRA, R. V. Metodologia para validação de dados TRMM para Uberaba (MG). In: **Revista ENTRE-LUGAR**, UFGD, v. 8, n. 16, p. 131-141, 2017.

BERNARDI, E. C. S. **Qualidade das estimativas de precipitação do satélite TRMM no estado do Rio Grande do Sul**. 2016. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

CAMPOS, R. F. **Comparação entre dados de precipitação interpolados e do TRMM (3B43V7)**. 2017. 54 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alegre – ES, 2017. Disponível em:

<https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/7592/1/tese_9645_Rafael%20Ferraco%20de%20Campos.pdf>. Acesso em: 30 de jul. 2020.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Apostila de Hidrologia**. [S. l.]: Seropédica, 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/>>. Acesso em 10 out. 2019.

COLLISCHONN, B. et al. Estimativas de precipitação por sensoriamento remoto passivo: desempenho do satélite TRMM na bacia do alto Paraguai até Descalvados. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL. 2006, Campo Grande, MS. **Anais...** [recurso eletrônico]. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2006. Disponível em: <<http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2006/12.12.10.52/doc/p64.pdf>>. Acesso em: 15 de jul. de 2020.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2. Ed. ver. e ampl. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, 2015.

CPTEC, Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. **Desmatamento e seu impacto climático**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/vcsr/files/11-Desmatamento_e_seu_Impacto_Climatico.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2017.
EMBRAPA. **Satélites de Monitoramento**. [recurso digital]. 2018. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_aqua.html> Acesso em: 10 de maio de 2019.

FENSTERSEIFER, C. A. J. **Qualidade das Estimativas de Precipitações Derivadas de Satélites na Bacia do Alto Jacuí-Rs**. 2013. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2013.

FERREIRA, A. G.; Mello, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

FETTER, R.; OLIVEIRA, C. H.; STEINKE, E. T. Um Índice para Avaliação da Variabilidade Espaço-Temporal das Chuvas no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 2, p. 225-237, 2018.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

GADELHA, A. N. **Análise da Missão GPM (Global Precipitation Measurement) na estimativa de Precipitação Sobre o Território Brasileiro**. 2018. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2018.

GAMA, N. A. **Validação das estimativas de precipitação observadas pelo Tropical Rainfall Measuring Mission para o Brasil**. 2016. 156 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Geodésicos e Tecnologias da Informação). Centro de Ciências e Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

LEIVAS, J. F. et al. Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. v. 25, n. 30, 2009. **Anais...** Natal, Brasil, p. 1611-1616.

LELIS, L. C. S. **Avaliação dos Dados de Precipitação Gerados Pelos Satélites GPM e TRMM**. 2016. 57 f. Trabalho de conclusão de curso II (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2016.

LIMA, D. F. **Avaliação da Conformidade de Dados de Precipitação do GPM (Global Precipitation Measurement) com Estações Pluviométricas no Estado do São Paulo**. 2019. 61 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2019.

LUCENA, R. L.; STEINKE, E. T. Fatores geográficos e padrões de circulação atmosférica como base à compreensão do clima semiárido quente da região Nordeste. In: II WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. 2015. Disponível em <<https://www.researchgate.net/publication/289252154>>. Acesso em: 28 de jul. de 2020.

MARENGO, J. A. et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, v. 1, Instituto Nacional do Semiárido Campina Grande – PB, 2011. Disponível em: <http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/06.11.02.16/doc/Marengo_Variabilidade.pdf?languagebutton=en#:~:text=Aumentos%20de%20temperatura%20associados%20%C3%A0,clim%C3%A1ticas%20no%20semi%C3%A1rido%20brasileiro%20da>. Acesso em: 21 de jul. 2020.

MELLO, Y. R.; OLIVEIRA, T. M. N. Análise estatística e geoestatístico da precipitação média para o município de Joinville (SC). In: **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, p. 229-239, 2016.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: Noções básicas e clima do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília, 2012.

MILANESI, M. A.; ALVES, R. R.; GALVANI, E. Comparativo entre instrumentos pluviométricos experimentais e automáticos. XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. V. 1, 2017, Campinas/SP. **Anais...** Universidade Estadual de Campinas - Campinas/SP, 2017, p. 2251-2261.

NASA. **GPM Constellation**. NASA Website, 2019. Disponível em: <<https://gpm.nasa.gov/missions/GPM>> Acesso em: 09 de Jun. de 2019.

NASA. **TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission**. NASA Website, 2019. Disponível em <<https://trmm.gsfc.nasa.gov>> Acesso em 25 de abril de 2019.

NASA. **GPM Constellation**. NASA Website, 2020. Disponível em <<https://gpm.nasa.gov/education/imagens/gpm-constellation-satelites>> Acesso em 10 de Janeiro de 2020.

NICOLETE, D. A. P.; ROMAGNOLI, I.; ZIMBACK, C. R. L. Avaliação dos dados de precipitação pluviométrica obtidos pela constelação GPM para a bacia do rio Tietê-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA. Rio de Janeiro/RJ, 2017. **Anais...** Expositocarta, SBC, 2017. p. 828-831.

OLIVEIRA, C. B. S. **Análise da integração espacial de múltiplos sensores**. 2018. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação).

Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/30804/4/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Claudianne%20Brainer%20de%20Souza%20Oliveira.pdf>>. Acesso em: 30 de maio de 2020.

OLIVEIRA, G. S. **Desmatamento e seu Impacto Climático**. XVIII CURSO DE USO, 2015.

PACHECO, R. da C. **Processamento de dados de imagem multiespectral aplicado à geobotânica por sensoriamento remoto: uma abordagem para áreas cobertas por Floresta Atlântica da planície costeira**. 2009. 196 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-25112009-102132/publico/RODRIGO_DA_CUNHA_PACHECO.pdf>. Acesso em: 04 de mar. De 2020.

PAZ, A. R. **Hidrologia Aplicada**: Apostila do curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Caxias do Sul/RS: UCS, 2004.

ROCHA, A. P. T. et al. Manejo ecológico integrado de bacias hidrográficas no semiárido brasileiro. In: PEREIRA, F. C.; BARACUHY, J. G. V. (Orgs.) **Contextualização do semiárido**. Campina Grande, PB: EPGRAF, 2011.

SANTOS, A. R. **Apostila de Sensoriamento Remoto**. Alegre/ES: UFES, 2013. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/SR/ApostilaTeoricaSR/Apostila_Teorica_Sensoriamento_Remto.pdf>. Acesso em: 02 de set. de 2019.

SANTOS, L. O. F. et al. Validation of Rainfall Data Estimated by GPM Satellite on Southern Amazon Region. In: **Revista Ambiente & Água**, v.14, n.1, 2018.

SANTOS, R, A. O. **Variabilidade no regime pluvial nas microrregiões do sertão da Paraíba nos anos de el niño oscilação sul**. 2012. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia). Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande- PB, 2012.

SANTOS, L. C. de A. **Avaliação das estimativas de precipitação do Satélite TRMM na Bacia do Piranhas-Açú**. 2019. 100f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB, 2019.

SERRÃO, E. A. O. et al. Avaliação Estatística Entre As Estimativas De Precipitação Da Constelação GPM Com TRMM: Uma Análise A Bacia Hidrográfica Do Rio Solimões. In: **Revista brasileira de climatologia**, v. 18, 2016.

SILVA FILHO, J. A.; ARAÚJO, S. C.; NOGUEIRA, V. F. B. Análise temporal do regime pluviométrico no município de Sousa, PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 17, 2016.

SILVA FILHO, J. A.; FARIAS, C. A. S.; ARAÚJO, S. C. Análise temporal do comportamento da precipitação pluviométrica no município de Pombal - PB. In: **WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**, 2, 2013, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Realize, 2015. v. 1, p. 1-6.

SILVA, V. M. A.; et al. O desastre seca no Nordeste Brasileiro. In: **Revista Polêmica**, v. 12, n. 2, p. 284-293, 2013.

SOARES, A. S. D; PAZ, A. R; PICCILLI, D. G. A. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba. 2014. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.21, n. 2, 2016, p. 288-299.

SRTM. **Shuttle Radar Topography Mission**. [material eletrônico] 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/srtm>>. Acesso em 31 de out. de 2020.

TAGLIANI, C. R. A. et al. **Introdução ao sensoriamento remoto – Módulo II**. 2012. Disponível em <<http://www.repositorio.sead.furg.br/bitstream/1/1069/1/Azul%20-%20SR%20-%20com%20capa.pdf>> Acesso em: 08 de jul. de 2019.

URQUIZA, E. M. **Avaliação da Conformidade de Dados de Precipitação do Global Precipitation Measurement com Estações Pluviométricas no Estado do Rio de Janeiro**. 2019. 45f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2019.

VETTORAZZI, C. A. Técnicas de geoprocessamento no monitoramento de áreas florestadas. In: **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 10, n. 29, p. 45-51, 1996.

VIANA, D.R.; FERREIRA, N.J.; CONFORTE, J.C. Avaliação das estimativas de precipitação 3B42 e 3B43 do satélite TRMM na Região Sul do Brasil. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CBMET)**, XVI, 2010, Belém. Anais São José dos Campos: INPE, 2010, Artigo, CD-ROM.

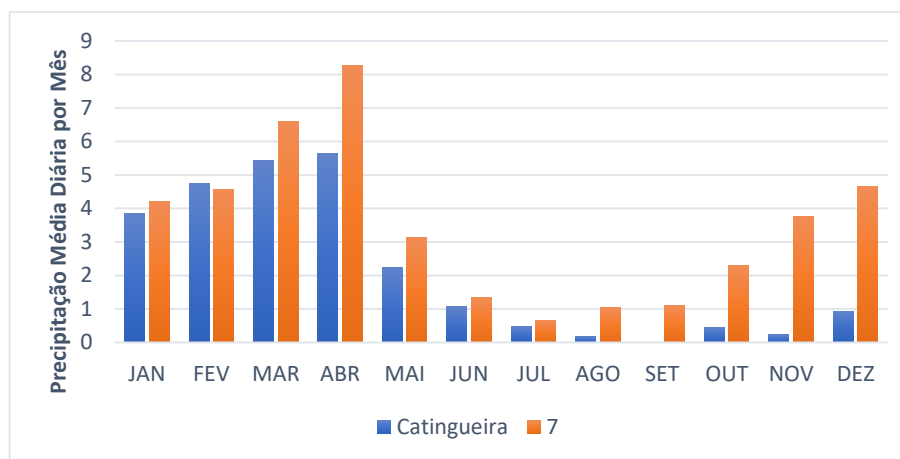
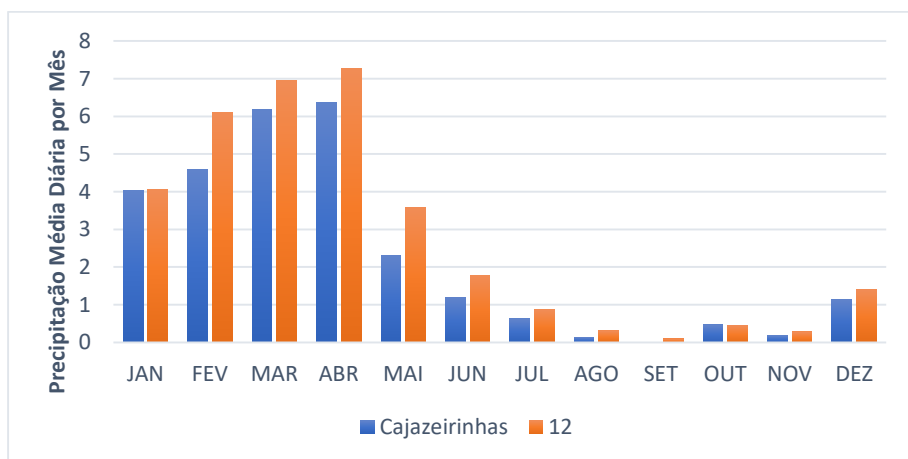
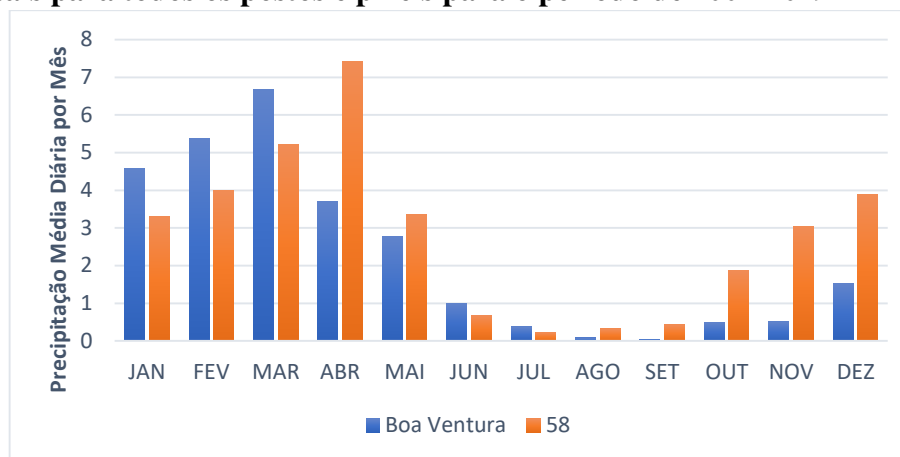
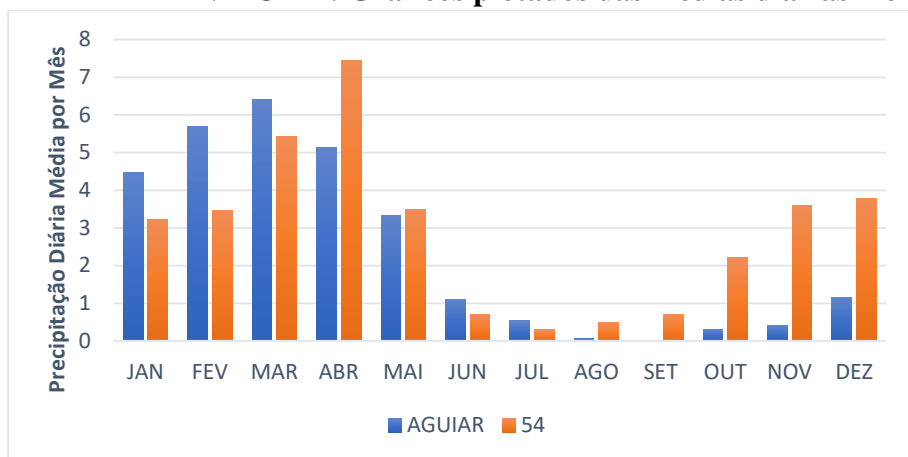
VIEIRA, M. S. B; MACHADO, E. C. M. N; FURTUNATO, O. M. **Análise de Padrões de Precipitação Através da Variabilidade Espacial na Bacia do Rio Paraguaçu**, 2011. Disponível em <<https://www.iwra.org/member/congress/resource/PAP00-5851.pdf>>. Acesso em: 05 de maio de 2019.

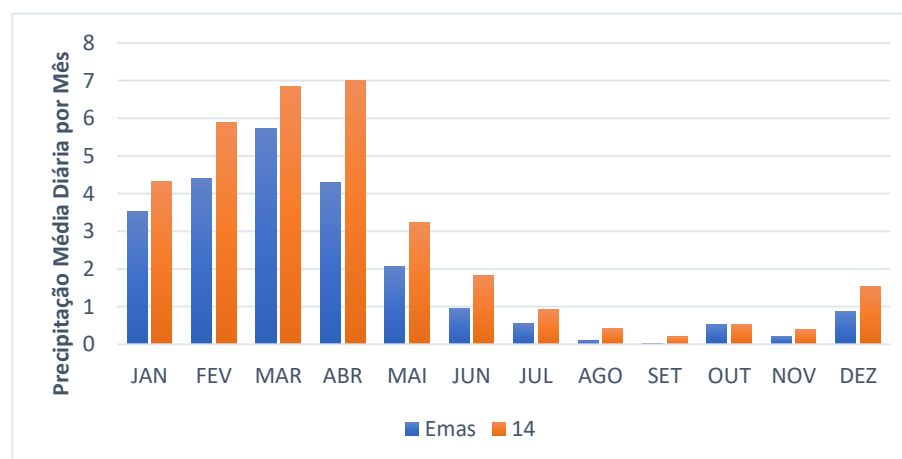
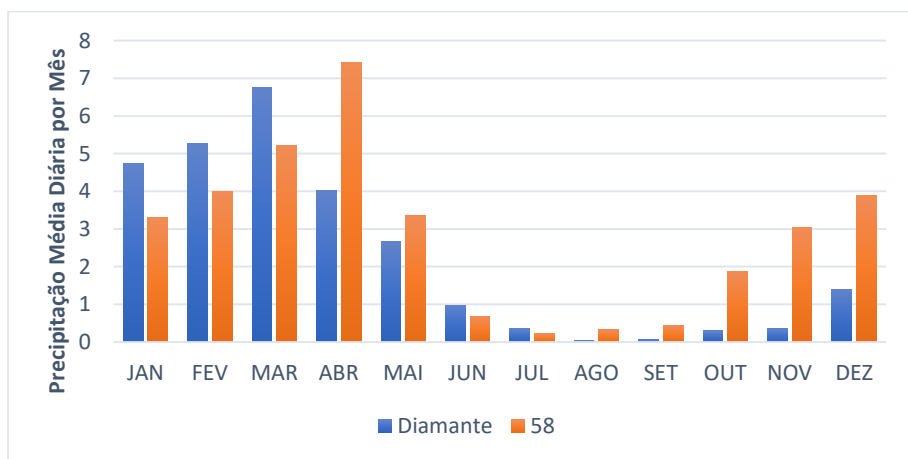
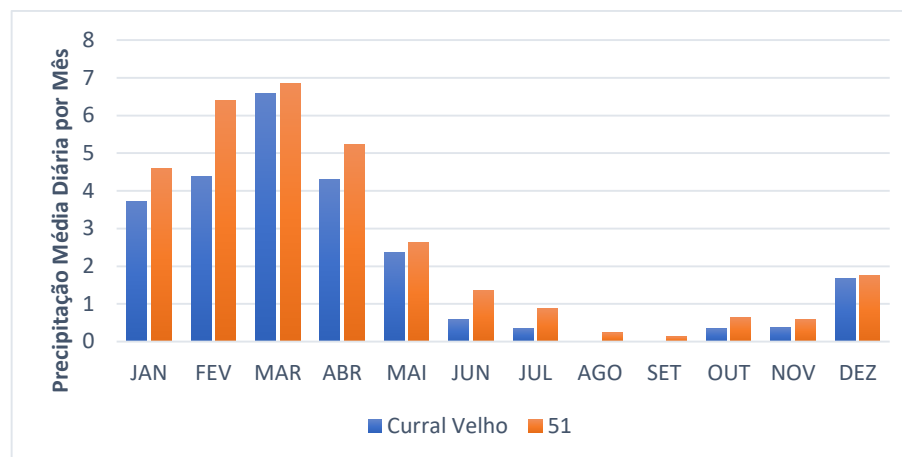
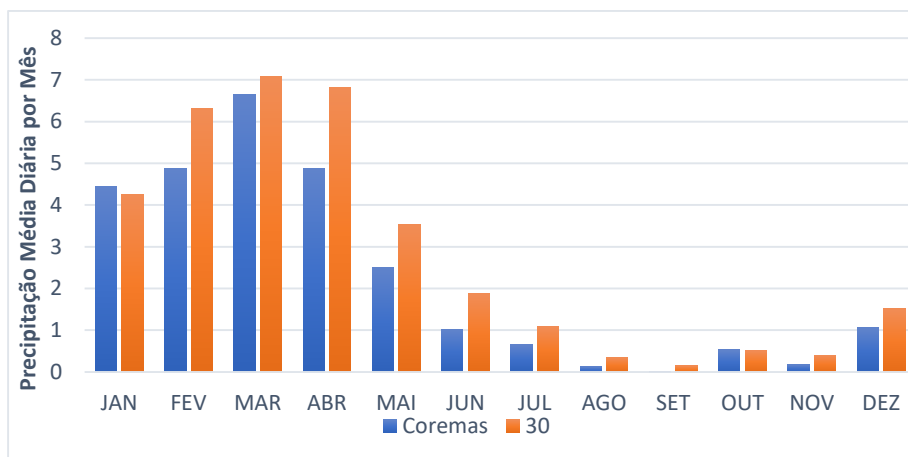
VIEIRA, V. R. **Regionalização e riscos de índices de chuvas intensas no Nordeste do Brasil**. 2014. 121f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 2014.

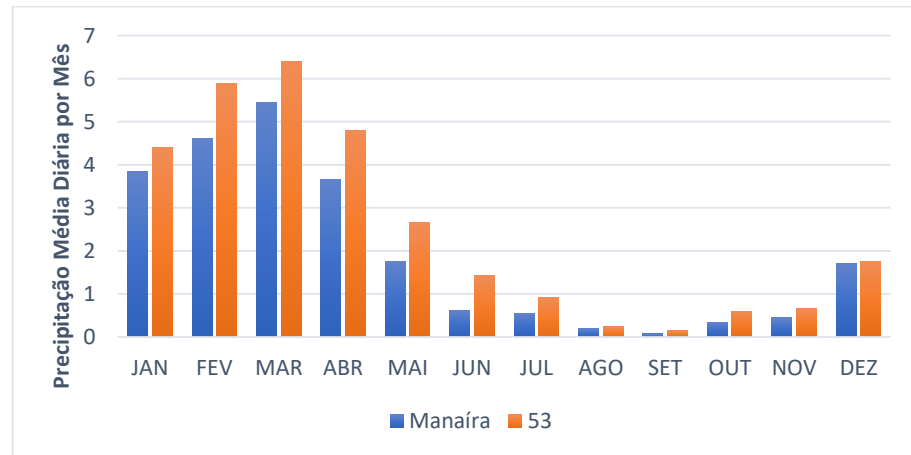
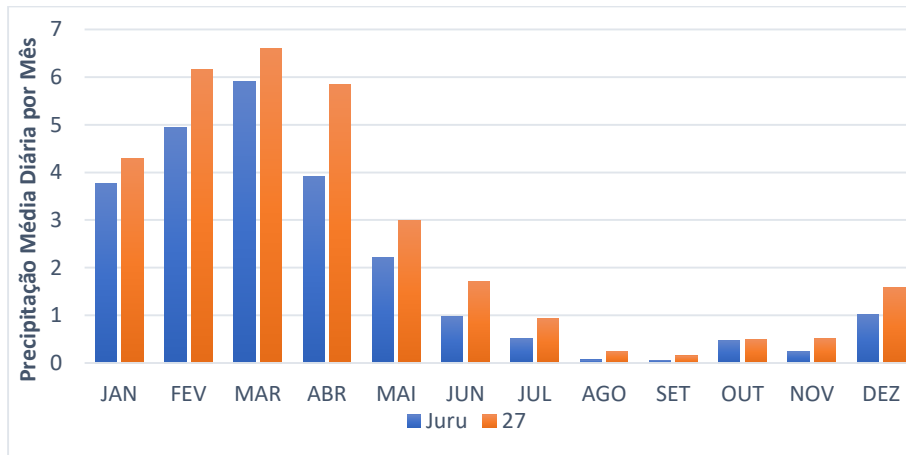
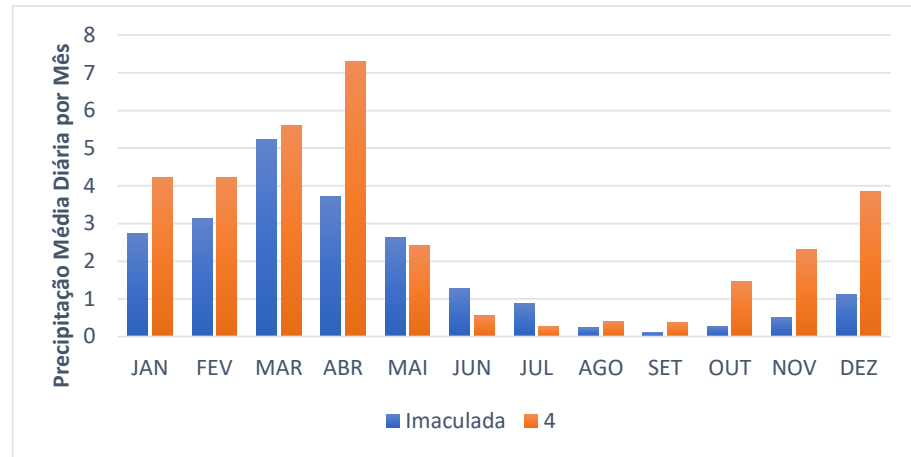
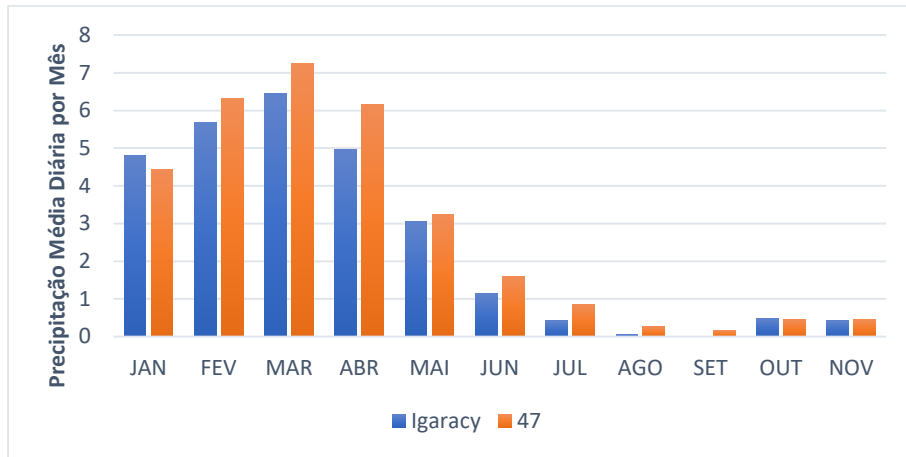
WMO. World Meteorological Organization. **Guide to hydrological practices**. N. 168. 3 ed. Geneva, Switzerland, 1974.

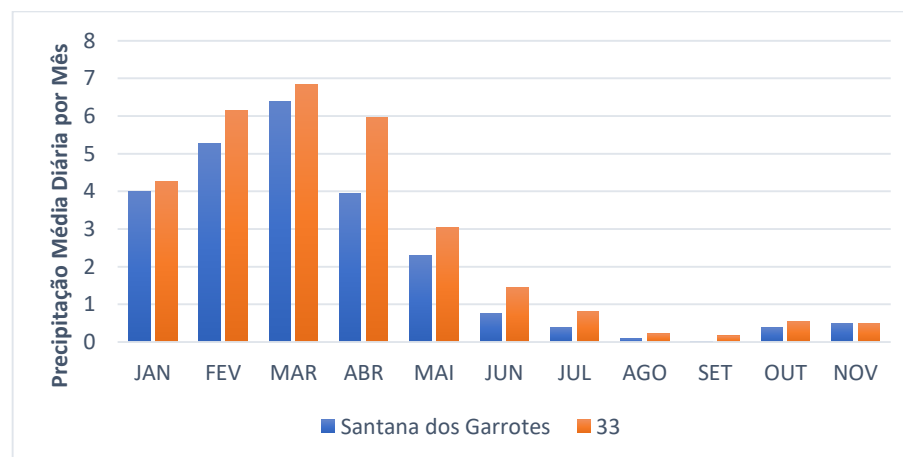
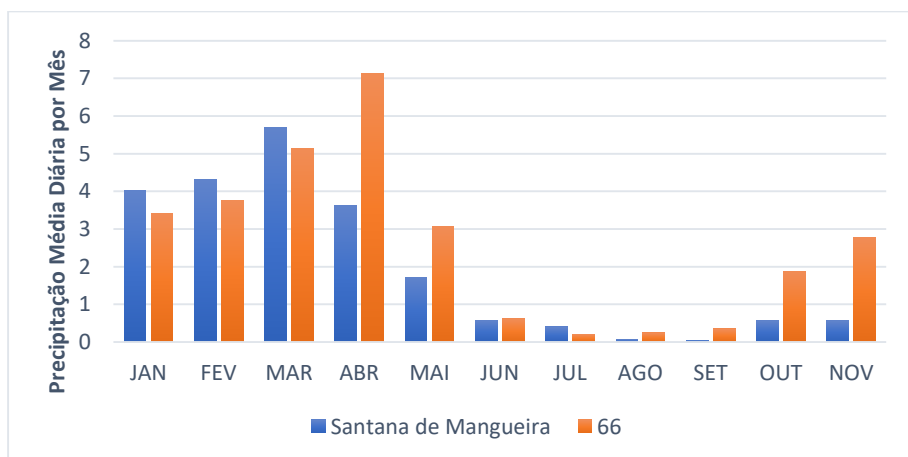
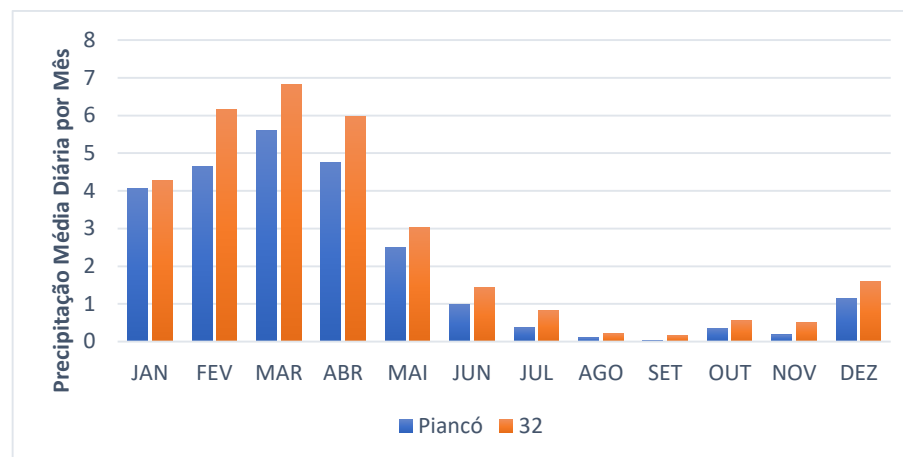
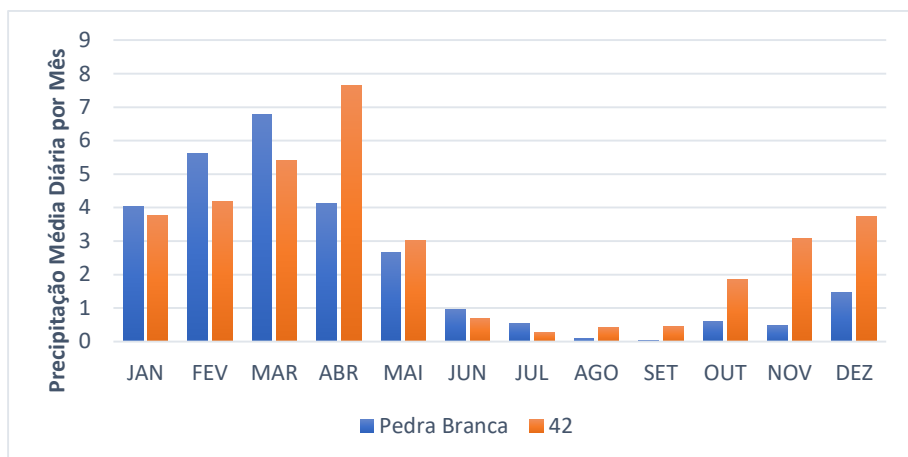
APÊNDICES

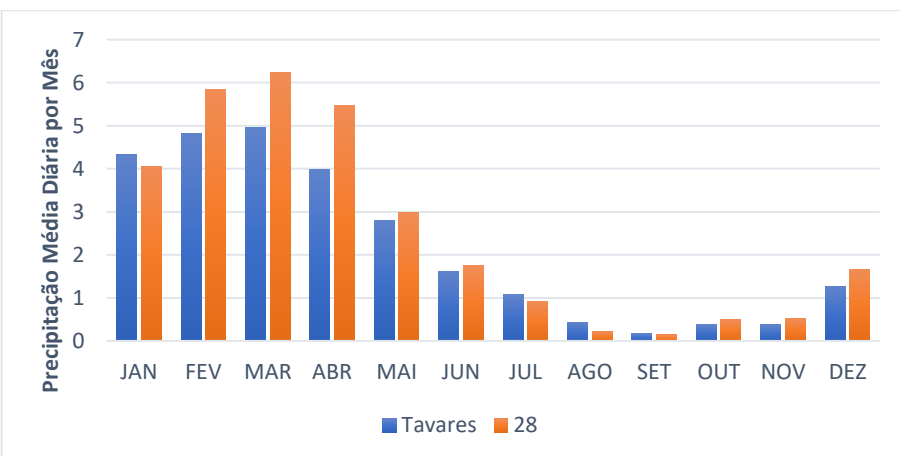
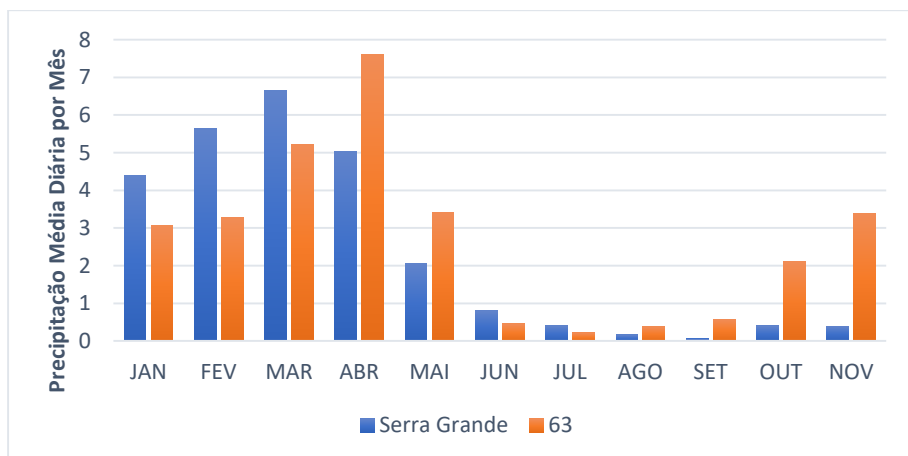
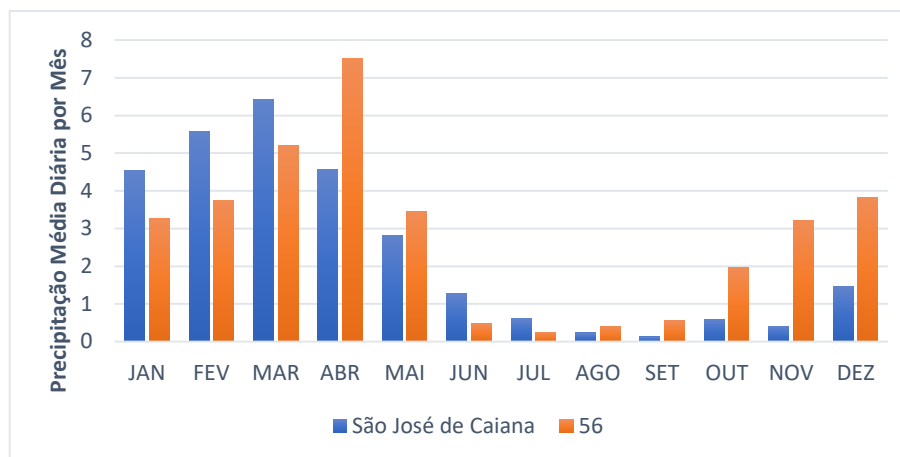
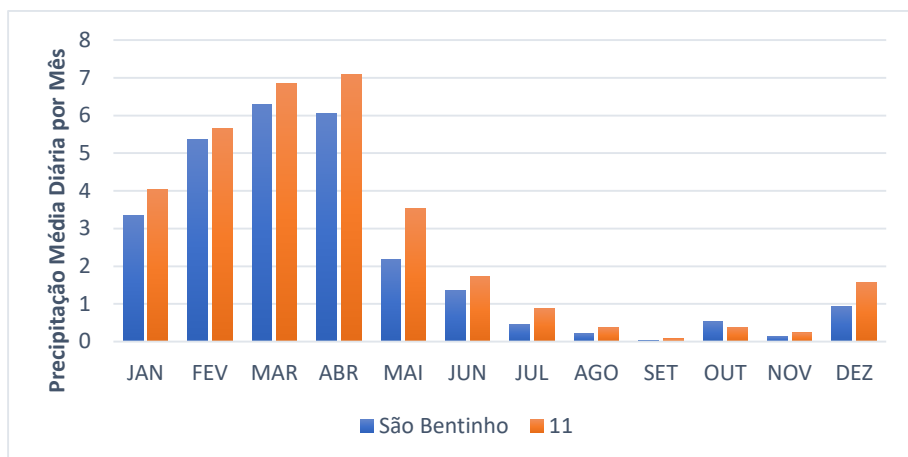
APÊNDICE A: Gráficos plotados das médias diárias mensais para todos os postos e pixels para o período de 2001-2019











APÊNDICE B: Estatística quantitativa realizada para todos os postos e pixels

Posto/Pixel	CC	EMR	RQME
Aguiar 54	-0,08	-0,50	12,36
Diamante 58	0,21	-0,55	11,78
Boa Ventura 58	0,02	-0,54	12,07
Cajazeirinhas 12	0,91	-0,42	8,08
Catingueira 7	0,21	-1,34	11,40
Coremas 30	0,95	-0,53	8,19
Curral Velho 51	0,86	-0,52	8,57
Emas 14	0,11	-1,34	11,11
Igaracy 47	0,88	-0,30	8,74
Imaculada 4	0,29	-0,98	10,76
Juru 27	0,86	-0,58	8,23
Manaíra 53	0,89	-0,51	7,46
Pedra Branca 42	0,22	-0,59	12,11
Piancó 32	0,90	-0,55	7,72
Santana de Mangueira 66	0,11	-0,77	10,80
Santa dos Garrotes 33	0,88	-0,50	8,41
São Bentinho 11	0,92	-0,42	8,01
São José de Caiana 56	0,06	-0,43	12,11
Serra Grande	0,13	-0,49	11,83

63			
Tavares	0,91	-0,31	8,25
28			

APÊNDICE C: Tabela de estatística de Ocorrência de precipitação para todos os postos e pixels

Posto/Pixel	PC	H	FAR	BIAS
Aguiar 54	0,7225825	0,185555	0,10275	0,501468
Diamante 58	0,7221902	0,195677	0,099016	0,487486
Boa Ventura 58	0,71718773	0,205347	0,108859	0,526166
Cajazeirinhas 12	0,84111207	0,464532	0,046203	0,619586
Catingueira 7	0,60506985	0,155759	0,102046	0,312614
Coremas 30	0,81480415	0,415031	0,04616	0,548514
Curral Velho 51	0,82332613	0,347257	0,032615	0,455736
Emas 14	0,60423265	0,118322	0,1165	0,321725
Igaracy 47	0,82323305	0,396203	0,044101	0,539498
Imaculada 4	0,72596431	0,171865	0,101998	0,502752
Juru 27	0,81349835	0,38657	0,051457	0,551119
Manaíra 53	0,82201439	0,426443	0,056682	0,613904
Pedra Branca 42	0,7111207	0,22761	0,123795	0,593839
Piancó 32	0,82594937	0,419924	0,051747	0,594578
Santana de Mangueira 66	0,72831871	0,18703	0,090368	0,459757
Santa dos Garrotes 33	0,81622088	0,373897	0,050439	0,544136
São Bentinho 11	0,83709561	0,467405	0,055504	0,662973
São José de Caiana 56	0,71147211	0,23117	0,127182	0,615295
Serra Grande 63	0,73063102	0,179027	0,084213	0,433372

Tavares	0,80267318	0,416922	0,075923	0,66401
28				