



*Universidade Federal da Paraíba*

*Centro de Tecnologia*

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**- MESTRADO -**

**MONITORAMENTO DA SECA METEOROLÓGICA  
USANDO DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS DE  
ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL E DE LONGO PRAZO**

*por*

***Célia Soares de Brito***

*Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para  
obtenção do grau de Mestre*

**João Pessoa–Paraíba**

**Março de 2020**



*Universidade Federal da Paraíba*

*Centro de Tecnologia*

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**- MESTRADO -**

**MONITORAMENTO DA SECA METEOROLÓGICA USANDO DADOS DE  
PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL E DE  
LONGO PRAZO**

Trabalho submetido ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Recursos Hídricos. Linha de pesquisa: Efeitos do uso da terra e alterações climáticas sobre os recursos hídricos.

**Célia Soares de Brito**

**Orientador: Prof. Dr. Richarde Marques da Silva**

**João Pessoa–Paraíba**

**Março de 2020**

**Catalogação na publicação  
Seção de Catalogação e Classificação**

B862m Brito, Célia Soares de.

MONITORAMENTO DA SECA METEOROLÓGICA USANDO DADOS DE  
PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL E DE  
LONGO PRAZO / Célia Soares de Brito. - João Pessoa,  
2020.

58 f. : il.

Orientação: Richarde Marques da Silva.  
Dissertação (Mestrado) - UFPB/Tecnologia.

1. Semiárido. 2. dados de satélite. 3. previsão  
climática. 4. índices de seca. 5. SPI. 6. variabilidade  
espaço-temporal. I. Marques da Silva, Richarde. II.  
Título.

UFPB/BC



**"MONITORANDO A SECA METEOROLÓGICA USANDO DADOS DE PRECIPITAÇÃO  
ESTIMADOS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL E DE LONGO PRAZO"**

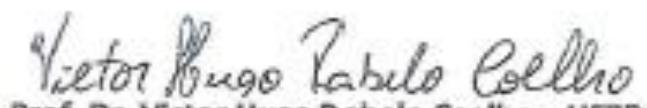
**CÉLIA SOARES DE BRITO**

Dissertação aprovada em 03 de março de 2020

Período Letivo: 2019.2



Richard Marques da Silva  
Prof. Dr. Richard Marques da Silva – UFPB  
Orientador



Victor Hugo Rabelo Coelho  
Prof. Dr. Victor Hugo Rabelo Coelho – UFPB  
Examinador Interno



José Túlio Góes dos Santos  
Prof. Dr. José Túlio Góes dos Santos – UFRN  
Examinador Externo

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter sido meu guia nessa caminhada. Agradeço por todos os obstáculos que colocastes nessa minha caminhada, pois vencer cada um deles me fez perceber o quanto eu sou capaz, e o quanto eu posso evoluir e aprender cada vez mais. Agradeço a ti Senhor por ter me transformado em um novo ser humano, e por ter me ajudado a superar muitas vezes o que eu achava que seria meu limite. Toda honra e glória a ti, Senhor.

Agradeço imensamente à minha mãe Dona Geralda por sempre apoiar as minhas decisões e acreditar em mim. Obrigada por tudo que faz por mim, e por ser minha maior inspiração.

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus irmãos Geane, Jocélia, Gean, Josiana e Zélia. Todo o apoio recebido por vocês foi fundamental e eu sou muito grata por isso.

Ao meu orientador Richarde Marques da Silva pela confiança depositada, paciência e por todos os seus ensinamentos. Sua ética e dedicação profissional me inspira, e onde quer que vá, levarei comigo todos os seus ensinos, e também carregarei a honra de ter conhecido e convivido com esse grande exemplo de profissional.

Aos meus amigos Sara, Nuan, Amanda e Yasmim, que mesmo de longe estavam sempre vibrando e torcendo por mim.

À todas as novas amizades que a pós-graduação me proporcionou. Em especial a Regiane, Terceiro, Aurélia e Maria. Eu tenho uma crença que Deus sempre coloca anjos em minha vida, onde quer que eu vá. E vocês foram meus anjos, e vieram para tornar a caminhada mais leve e proporcionar belas experiências. Amo vocês, e muito obrigada por tudo!

A todos que fazem parte do LEPPAN, pela convivência e conhecimentos compartilhados.

A todos os professores do PPGECAM, técnicos, funcionários terceirizados etc., pelos ensinamentos e experiências vividas.

Aos professores Victor Hugo e José Yure por aceitarem o convite como examinadoras e contribuírem com a realização deste trabalho, colaborando com seus conhecimentos na qualificação e da defesa da dissertação.

A todas que confiaram em mim, me apoiaram e torceram por essa conquista. Na verdade, essa vitória tem um pouco de cada um de vocês que se fizeram presente. Meu muito OBRIGADA!

## RESUMO

A seca é um desastre natural que provoca insegurança hídrica, principalmente em regiões semiáridas, pois são áreas vulneráveis a ocorrência desse fenômeno, como é o caso de parte da Região Nordeste do Brasil. A análise das secas demanda um conjunto de dados de precipitação com precisão espacial e temporal, porém, esses dados nem sempre estão disponíveis em quantidade e qualidade suficientes. Para monitorar a ocorrência de seca meteorológica, três conjuntos de dados de precipitação por satélite mensais de longo prazo chamados *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations Data* (CHIRPS), *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks – Climate Data Record* (PERSIANN-CDR), e *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) foram avaliados e comparados com medições *in situ* de 38 postos pluviométricos para o período 1994–2017 para a bacia do rio Piranhas, Paraíba – Brasil. Para avaliação entre os dados observados e estimados foram utilizados os índices estatísticos: Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), o Viés Relativo (BIAS), o Coeficiente de Eficiência (COE), Erro Médio (ME), e o Erro Quadrático Médio da Raiz (RMSE). Para estimar as secas meteorológicas foi usado o *Standardized Precipitation Index* (SPI). Os resultados obtidos mostraram uma maior precisão em estimar a precipitação na área de estudo para os dados CHIRPS e o PERSIANN-CDR em relação ao CFSR. O CHIRPS foi ligeiramente mais preciso em escala mensal e em distribuição espacial quando comparados aos demais conjuntos de dados. Por fim, o estudo aponta os dados CHIRPS e PERSIANN-CDR como boas alternativas para analisar a distribuição espaço-temporal da precipitação na bacia do Rio Piranhas. O SPI-12 e o SPI-24 detectaram satisfatoriamente as principais secas ocorridas no período avaliado. Quanto aos dados de satélites, o CHIRPS e PERSIANN-CDR foram superiores ao CFSR na representação dos eventos de secas na bacia do Rio Piranhas.

**Palavras-chave:** Semiárido, dados de satélite, previsão climática, índices de seca, SPI, variabilidade espaço-temporal.

## ABSTRACT

Drought is a natural disaster that causes water insecurity, especially in semiarid regions, as these areas are vulnerable to the occurrence of this phenomenon, as is the case in part of the Northeast Region of Brazil. Drought analysis requires a set of precipitation data with spatial and temporal precision, however, these data are not always available in sufficient quantity and quality. To monitor the occurrence of meteorological drought, three long-term monthly satellite precipitation data sets called Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations data (CHIRPS), Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Climate Data Record (PERSIANN- CDR), and Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) were evaluated and compared with in situ measurements of 38 pluviometric stations for the period 1994-2017 for the Piranhas River basin, Paraíba – Brazil. Statistical indexes were used to assess between observed and estimated data: Determination Coefficient ( $R^2$ ), Relative Bias (BIAS), Efficiency Coefficient (COE), Average Error (ME), and Root Mean Square Error (RMSE). The Standardized Precipitation Index (SPI) was used to estimate meteorological droughts. The obtained results showed a superiority of the values of the CHIRPS and the PERSIANN-CDR in relation to the CFSR. CHIRPS was slightly more accurate on a monthly scale and in spatial distribution when compared to other data sets. Finally, the study points out that the CHIRPS and PERSIANN-CDR data as good alternatives to analyze the spatiotemporal distribution of precipitation in the Piranhas River basin. SPI-12 and SPI-24 satisfactorily detected the main droughts that occurred in the evaluated period. As for satellite data, CHIRPS and PERSIANN-CDR were superior to CFSR in representing these events in the Piranhas River basin.

**Keywords:** Semiarid, satellite data, climate forecast, drought indexes, SPI, spatial-temporal variability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Descrição geral da metodologia adotada. ....	16
<b>Figura 2.</b> Localização geográfica da bacia do Rio Piranhas.....	21
<b>Figura 3.</b> Mapa de elevação da bacia hidrográfica do Rio Piranhas. ....	21
<b>Figura 4.</b> Distribuição geográfica dos postos pluviométricos utilizados no estudo e a divisão geomorfológica do relevo da bacia do Rio Piranhas.....	24
<b>Figura 5.</b> Distribuição espacial das estações pluviométricas e da grade CHIRPS. ....	25
<b>Figura 6.</b> Distribuição espacial das estações pluviométricas e da grade PERSIANN-CDR.....	27
<b>Figura 7.</b> Distribuição espacial das estações pluviométricas e da grade CFSR. ....	27
<b>Figura 8.</b> Comparações dos índices estatísticos para os dados CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR em relação aos dados observados dos 38 postos pluviométricos em escala anual. ....	30
<b>Figura 9.</b> Comparações do índice estatístico $R^2$ para os dados CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR em relação aos dados observados em escala mensal. ....	31
<b>Figura 10.</b> Comparações do índice estatístico COE para os dados CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR em relação aos dados observados em escala mensal. ....	31
<b>Figura 11.</b> Comparações do índice estatístico RMSE para os dados CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR em relação aos dados observados em escala mensal. ....	32
<b>Figura 12.</b> Comparações do índice estatístico ME para os dados CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR em relação aos dados observados em escala mensal. ....	32
<b>Figura 13.</b> Comparações do índice estatístico BIAS para os dados CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR em relação aos dados observados em escala mensal. ....	33
<b>Figura 14.</b> Variações da precipitação média anual no período de 1994 a 2017 a partir dos dados observados, CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR.....	34
<b>Figura 15.</b> Variações da precipitação média mensal no período de 1994 a 2017 a partir dos dados observados, CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR.....	34
<b>Figura 16.</b> Distribuição espacial da precipitação média anual dos dados observados, CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR para o período de 1994-2017. ....	35
<b>Figura 17.</b> Distribuição espacial da precipitação média mensal para no período 1994–2017.....	36
<b>Figura 18.</b> Espacialização dos índices estatísticos dos dados anuais de precipitação observados e do CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR entre 1994–2017. ....	37

<b>Figura 19.</b> Espacialização dos índices estatísticos dos dados mensais de precipitação observados e do CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR entre 1994–2017.....	39
<b>Figura 20.</b> Localização e altimetria da bacia hidrográfica do Rio Piranhas.....	47
<b>Figura 21.</b> Características pluviométricas da bacia do Rio Piranhas: (a) médias mensais, e (b) totais anuais (1994-2017).....	49
<b>Figura 22.</b> Análise da seca a médio prazo para o SPI-12 no período de 1994 a 2017 para: (a) dados observados, (b) CHIRPS, (c) PERSIANN-CDR, e (d) CFSR.....	51
<b>Figura 23.</b> Análise da seca a longo prazo para o SPI-24 no período de 1994 a 2017 para: (a) dados observados, (b) CHIRPS, (c) PERSIANN-CDR, e (d) CFSR.....	53
<b>Figura 24.</b> Distribuição espacial do SPI-12 (a) e SPI-24 (b) para o ano de 2012.....	54
<b>Figura 25.</b> Distribuição espacial do SPI-12 (a) e SPI-24 (b) para o ano de 2013.....	55

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1.</b> Lista das estações pluviométricos/municípios e suas coordenadas geográficas.	23
<b>Tabela 2.</b> Lista das métricas estatísticas que serão aplicadas neste estudo. ....	28
<b>Tabela 3.</b> Classificação de secas baseada no SPI (McKee et al., 1993). ....	49

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1                Objetivos.....	14
1.1.1 Objetivo Geral .....	14
1.1.2 Objetivos Específicos .....	15
1.2 Estrutura, Organização e Metodologia Geral da Dissertação .....	15
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>16</b>
<b>2. COMPARAÇÃO DE TRÊS CONJUNTOS DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS DE LONGO PRAZO E ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL NA BACIA DO RIO PIRANHAS, BRASIL.....</b>	<b>18</b>
2.1 Introdução.....	19
2.2 Materiais e Métodos .....	20
2.2.1 Área de estudo .....	20
2.2.2 Dados Observados .....	22
2.2.3 Dados de Precipitação a Longo Prazo Baseados em Satélite .....	24
2.2.4 Análise Estatística .....	28
2.3 Resultados e Discussão.....	29
2.3.1 Avaliação e Comparação dos Índices Estatísticos.....	29
2.3.2 Análise Espaço-Temporal dos Dados.....	33
2.4 Conclusões.....	40
Referências .....	40
<b>3. MONITORAMENTO DA SECA METEOROLÓGICA BASEADA EM DADOS ESTIMADOS DE PRECIPITAÇÃO DE LONGO PRAZO .....</b>	<b>44</b>
3.1 Introdução.....	44
3.2 Material e Métodos.....	46
3.2.1 Área de Estudo .....	46
3.2.2 Dados .....	47
3.2.3 <i>Standardized Precipitation Index – SPI</i> .....	48
3.3 Resultados e Discussão.....	49
3.3.1 Análise pluviométrica.....	49
3.3.2 Análise da seca .....	50
3.3.3 Distribuição espacial do SPI.....	52
3.4 Conclusões.....	55
Referências .....	56
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>59</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A análise de precipitação sobre uma determinada região é o conhecimento base para compreender o ciclo hídrico e energético, promovendo a compreensão e a determinação do balanço hídrico, possibilitando um melhor gerenciamento na agricultura e na produção energética, e é indispensável em estudos sobre extremos (secas e inundações), ou seja, envolve questões sociais e climatológicas críticas (Blacutt et al., 2015).

No entanto, obter dados climáticos de alta qualidade é desafiador, levando em consideração que poucos países conseguem custear redes densas de estações meteorológicas, consequentemente, de forma geral, a quantidade de estações em uma determinada área é abaixo do ideal, com períodos históricos curtos, dados com falhas e sem informações sobre a qualidade dos dados (Monteiro et al., 2015). As limitações na distribuição espacial da rede mundial de estações meteorológicas reduzem a capacidade de desenvolver um entendimento sinótico das mudanças observadas nos padrões de precipitação (Silva Junior et al., 2018).

A variabilidade climática impacta significativamente os sistemas hidrológicos, influenciando na disponibilidade e qualidade da água, na frequência e intensidade de inundações e secas (Bressiani et al., 2015). E para se obter uma interpretação adequada da precipitação são necessários dados observados frequentes e bem distribuídos, pois a precipitação apresenta uma variabilidade em pequena escala e comportamento estatístico altamente anormal (Huffman et al., 2006).

Desta forma, medidas de precipitação com precisão em diferentes escalas espaciais e temporais são fundamentais em diversos campos de atuação, podendo ser aplicadas em processos de tomadas de decisões na hidrologia, agricultura, indústria e etc., onde, essas quantificações de precipitação fornecem informações relevantes sobre o ciclo hidrológico e a distribuição do aquecimento latente da Terra, que apresentam efeitos diretos sobre a circulação planetária da atmosfera (Ebert et al., 2007).

Em particular, a região semiárida no Brasil é caracterizada principalmente por irregularidade de precipitações pluviométricas, escassez de chuvas e ocorrência de vegetação de caatinga. São 1.262 municípios que compõem essa área geográfica, e uma extensão territorial de cerca de 1.128.697 km<sup>2</sup>, com população aproximada de 27.870.241 habitantes (SUDENE, 2018). Em estação de seca, diversos são os danos causados à agricultura, à pecuária, ao abastecimento doméstico e industrial, além de

outras formas que afetam a sobrevivência da população (Ramalho e Guerra, 2018). A seca é um fenômeno natural cíclico que atormenta o território brasileiro há anos, especialmente a região semiárida, onde a escassez hídrica é um fenômeno prenunciado (Nascimento et al., 2018).

Segundo a *United Nations Convention to Combat Desertification - UNCCD* (2018), a seca é um risco natural de alta complexibilidade, que gera impactos socioeconômicos e ambientais significativos e generalizados, e provoca mais mortes e deslocamentos de pessoas mais do que qualquer outro desastre ambiental. E ainda, até 2025 é estimado que 1,8 bilhão de pessoas sofram escassez absoluta de água e 2/3 da população mundial viva sob condições de estresse hídrico.

A Paraíba é um dos estados que mais decretou condições de desastres climáticos (estiagem e seca) em todo Brasil, no período de 2003 a 2015 (Moura et al., 2016). Todavia, mesmo que a análise das condições de seca no sertão paraibano não seja inédita, é uma região semiárida e de grande importância para o estado e, portanto, justifica a necessidade constante de buscar novos entendimentos sobre esses eventos, pois a mesma enquadra-se em uma zona vulnerável e tendenciosa para ocorrências desses eventos naturais.

Além disso, embora existam alguns estudos para avaliar os dados do PERSIANN (*Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks*), CHIRPS (*Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data*) e do CFSR (*Climate Forecast System Reanalysis*) com redes densas de pluviômetros (Melo et al., 2015; Paredes-Trejo et al., 2017; Zambrano et al., 2017), a precisão e padrões espaço-temporais de todos esses produtos de satélite sobre a bacia do Rio Piranhas na Paraíba ainda não foram investigados.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a utilidade de precipitações estimadas de longo prazo por satélite para o monitoramento de secas meteorológicas em região semiárida.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

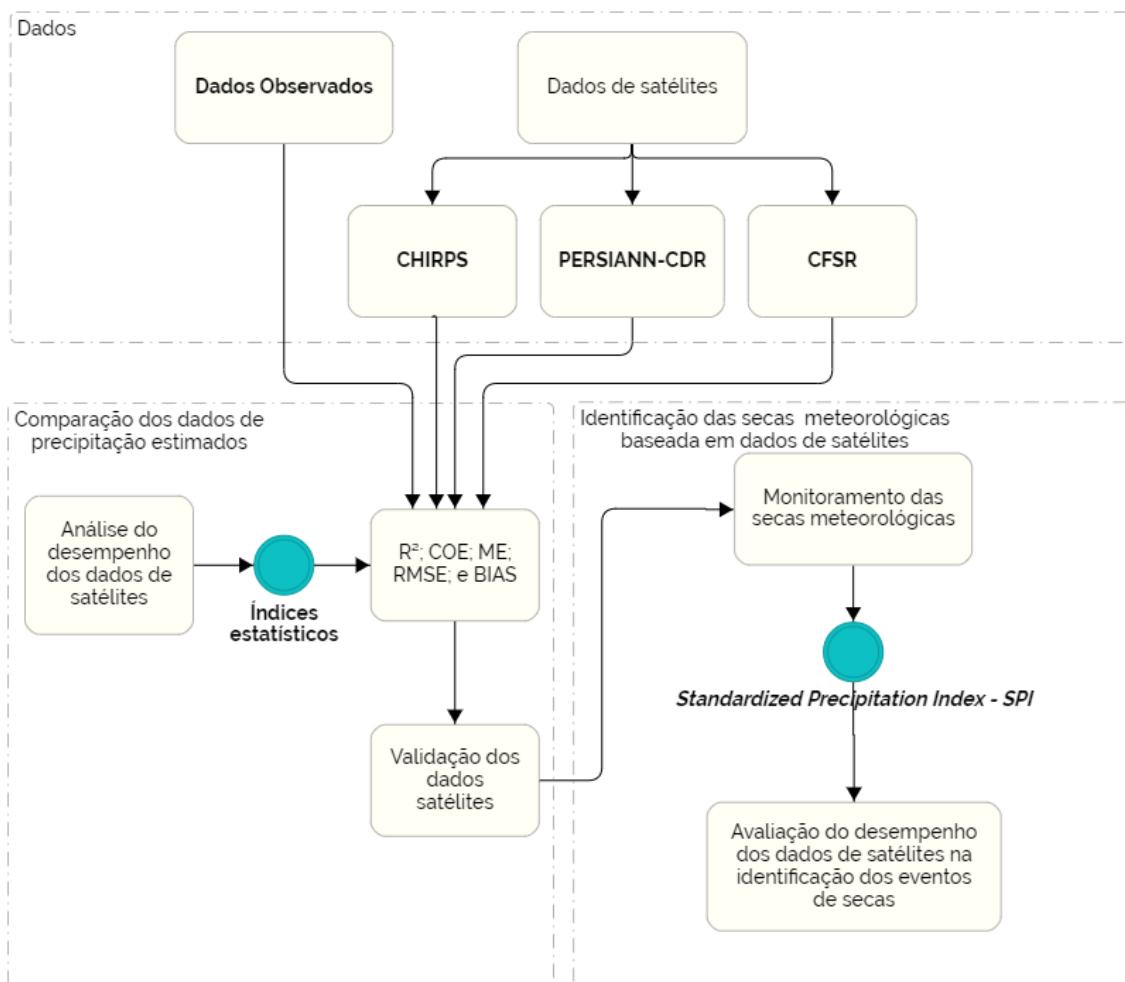
- ✓ Comparar produtos de precipitação estimados por satélite com dados observados, utilizando métricas estatísticas.
- ✓ Estimar secas meteorológicas utilizando precipitação estimada de longo prazo para a bacia do rio Piranhas.
- ✓ Analisar o comportamento espaço-temporal das secas meteorológicas na bacia do Rio Piranhas.

### **1.2 Estrutura, Organização e Metodologia Geral da Dissertação**

Este estudo versa sobre a utilização de dados de precipitação estimados de alta resolução espacial e de longo prazo por satélites para monitorar as secas meteorológicas ocorridas na bacia do Rio Piranhas, localizada em ambiente semiárido. Para tanto, esse trabalho foi dividido em dois artigos científicos, a saber: (a) Comparaçāo de três conjuntos de dados de precipitação estimados de longo prazo e alta resolução espacial na bacia do Rio Piranhas, Brasil, e (b) Monitoramento da seca meteorológica baseada em dados estimados de precipitação de longo prazo.

No primeiro artigo, são apresentadas e discutidas as comparações e validações estatísticas utilizando métricas espaciais entre os produtos estimados (PERSIANN-CDR, CHIRPS e CFSR) e os dados observados de precipitação para a bacia do Rio Piranhas. No segundo artigo, utilizou-se esses produtos de precipitação estimados de longo prazo do primeiro artigo para estimar as secas meteorológicas através do *Standardized Precipitation Index – SPI* na área de estudo.

Para validação dos dados de satélites, foram calculados cinco índices estatísticos, para compara-los à dados observados de 38 postos pluviométricos, foram eles: o Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), o Viés Relativo (BIAS), o Coeficiente de Eficiência (COE), Erro Médio (ME) e o Erro Quadrático Médio da Raiz (RMSE). O monitoramento das secas foi realizado através do cálculo do SPI, para as escalas de 12 e 24 meses. A Figura 1 mostra as etapas desenvolvidas neste estudo.



**Figura 1.** Descrição geral da metodologia adotada.

## Referências

- Ebert EE, Janowiak JE, Kidd C. (2007). Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88, 47–64. Doi: 10.1175/BAMS-88-I-47.
- Blacutt LA, Herdies DL, Gonçalves LGG, Vila DA, Andrade M (2015). Precipitation comparison for the CFSR, MERRA, TRMM3B42 and Combined Scheme datasets in Bolivia. *Atmospheric Research*, 163, 117–131. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.02.002>
- Bressiani DA, Srinivasan R, Jones CA, Mendiondo EM (2015). Effects of spatial and temporal weather data resolutions on streamflow modeling of a semi-arid basin, Northeast Brazil. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8(3). <http://dx.doi.org/10.3965/j.ijabe.20150803.970>
- Huffman GJ, Adler RF, Bolvin DT, Gu G, Nelkin EJ, Bowman KP, Hong Y, Stocker EF, Wolff DB (2006). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *Journal of Hydrometeorology*, 8. <http://dx.doi.org/10.1175/JHM560.1>

Nascimento JM, Fraide TG, Silva RM (2018). Modelagem da resposta do escoamento em uma bacia do semiárido da Paraíba utilizando o modelo SWAT. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 11(3), 1137-1150.

Melo DDCD, Xavier AC, Bianchi T, Oliveira PTS, Scanlon BR, Lucas MC, Wendland E (2015). Performance evaluation of rainfall estimates by TRMM multisatellite precipitation analysis 3B42V6 and V7 over Brazil. **Journal Geophysical Research Atmospheres**, 120, 9426-9436.

Monteiro JAF, Strauch M, Srinivasan R, Abbaspour K, Gücker B (2015). Accuracy of grid precipitation data for Brazil: application in river discharge modelling of the Tocantins catchment. **Hydrological Processes**, 30, 1419–1430. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.10708>

Moura MO, Cunico C, Nóbrega RS, Duarte CC (2016). Desastres hidrometeorológicos na região Nordeste do Brasil: distribuição espaço-temporal dos reconhecimentos de Estado de Calamidade Pública. **Caderno de Geografia**, 26(2), 259-271.

Paredes-Trejo FJ, Barbosa HA, Kumar TVL (2017). Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, 139, 26-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.12.009>

Ramalho MFJL, Guerra AJT (2018). O risco climático da seca no semiárido brasileiro. **Revista Territorium**, 25, **Territorium**.

Silva Junior CHL, Almeida CT, Santos JRN, Anderson LO, Aragão LEOC, Silva FB (2018). Spatiotemporal rainfall trends in the Brazilian Legal Amazon between the years 1998 and 2015. **Water**, 10, 1220. <http://dx.doi.org/10.3390/w10091220>

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Nova delimitação Semiárido**. De acordo com a Resolução CONDEL nº 107, de 27/07/2017 e nº 115, de 23/11/2017. Disponível em: <[http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiarido/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_Munic%C3%ADpios\\_Semi%C3%A1rido.pdf](http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiarido/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o_de_Munic%C3%ADpios_Semi%C3%A1rido.pdf)> Acesso em: 23 de jan. 2020.

*United Nations Convention to Combat Desertification – UNCCD* (2018). Texto: **Land and Drought**. Disponível em: <<https://www.unccd.int/issues/land-and-drought>> Acesso em: 23 de jan. 2020.

Zambrano F, Wardlow B, Tadesse T, Lillo-Saavedra M, Lagos O (2017). Evaluating satellite derived long historical precipitation dataset for drought monitoring in Chile. **Atmospheric Research**, 186, 26-42. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.11.006>

## 2. COMPARAÇÃO DE TRÊS CONJUNTOS DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS DE LONGO PRAZO E ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL NA BACIA DO RIO PIRANHAS, BRASIL

### Resumo

O monitoramento hidrológico querer um conjunto de dados de chuvas com precisão espacial e temporal, entretanto, esses dados nem sempre estão disponíveis em quantidade e qualidade satisfatórias. Para investigar as características de longo prazo da precipitação na bacia do Rio Piranhas, Brasil, três conjuntos de dados de precipitação por satélite mensais de longo prazo chamados *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations data* (CHIRPS), *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks – Climate Data Record* (PERSIANN-CDR), e *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) são avaliados e comparados com medições in situ de 38 postos pluviométricos para o período 1994–2017. Para avaliação entre os dados observados e estimados foram utilizados os índices estatísticos: Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), o Viés Relativo (BIAS), o Coeficiente de Eficiência (COE), Erro Médio (ME) e o Erro Quadrático Médio da Raiz (RMSE). Os resultados obtidos mostram uma superioridade dos valores do CHIRPS e do PERSIANN-CDR em relação ao CFSR. O CHIRPS é ligeiramente mais preciso em escala mensal e em distribuição espacial quando comparados aos demais conjuntos de dados. Por fim, o estudo aponta os dados CHIRPS e PERSIANN-CDR como as melhores alternativas para estimar a precipitação na Bacia do Rio Piranhas.

**Palavras-chave:** Dados de satélite, CHIRPS, PERSIANN-CDR, CFSR, análise estatística.

## 2.1 Introdução

A água é um elemento essencial para a vida no planeta e para a realização de diversas atividades humanas. A seca é um risco natural de grande complexidade e o que mais afeta a humanidade em todo o mundo (Wilhite et al., 2007). Os longos períodos de seca interferem na quantidade e qualidade desse recurso hídrico, impactando diretamente as condições socioeconômicas da população. Esse fenômeno atinge todo o planeta, mas, sobretudo é mais recorrente e sentido nas regiões áridas e semiáridas, onde a ocorrência desses eventos são observados com maior frequência (Lai et al., 2019).

Em decorrência do regime de precipitação da região semiárida, que é caracterizada por chuvas concentradas em poucos meses, o semiárido do Nordeste do Brasil é talvez possivelmente uma das regiões mais vulneráveis às secas em todo o planeta. Essa região se destaca entre outras zonas áridas e semiáridas do mundo por possuir uma população densa com aproximadamente 30 milhões de habitantes em 2010 (IBGE, 2018).

A Paraíba é um dos estados que mais decretou condições de desastres climáticos (estiagem e seca) em todo Brasil no período de 2003 a 2015 (Moura et al., 2016). Todavia, mesmo que a análise da precipitação no sertão paraibano não seja inédita, é uma região semiárida e de grande importância para o estado e, portanto, justifica a necessidade constante de buscar novos conhecimentos sobre os eventos pluviométricos, pois, a mesma enquadra-se em uma zona vulnerável e tendenciosa para ocorrências desses eventos naturais.

Nesse sentido, o monitoramento da precipitação em regiões semiáridas é de suma importância para subsidiar estudos dos recursos hídricos. Assim, compreender a ocorrência do fenômeno da seca e/ou seus impactos que afetam a disponibilidade hídrica nessas regiões é de suma importância para o gerenciamento dos recursos hídricos locais.

Ochoa et al. (2014) destaca que o entendimento do regime hidrológico é fundamental e os dados de precipitação são indispensáveis, pois possibilitam a compreensão do ciclo hidrológico. No entanto, é recorrente a carência de dados hidrometeorológicos em países em desenvolvimento devido à ausência de pluviômetros, descontinuidade nos registros e falhas nas séries históricas.

Os dados de precipitação estimados de alta resolução espacial e de longo prazo são capazes de registrar informações em grandes áreas contínuas no tempo e no espaço.

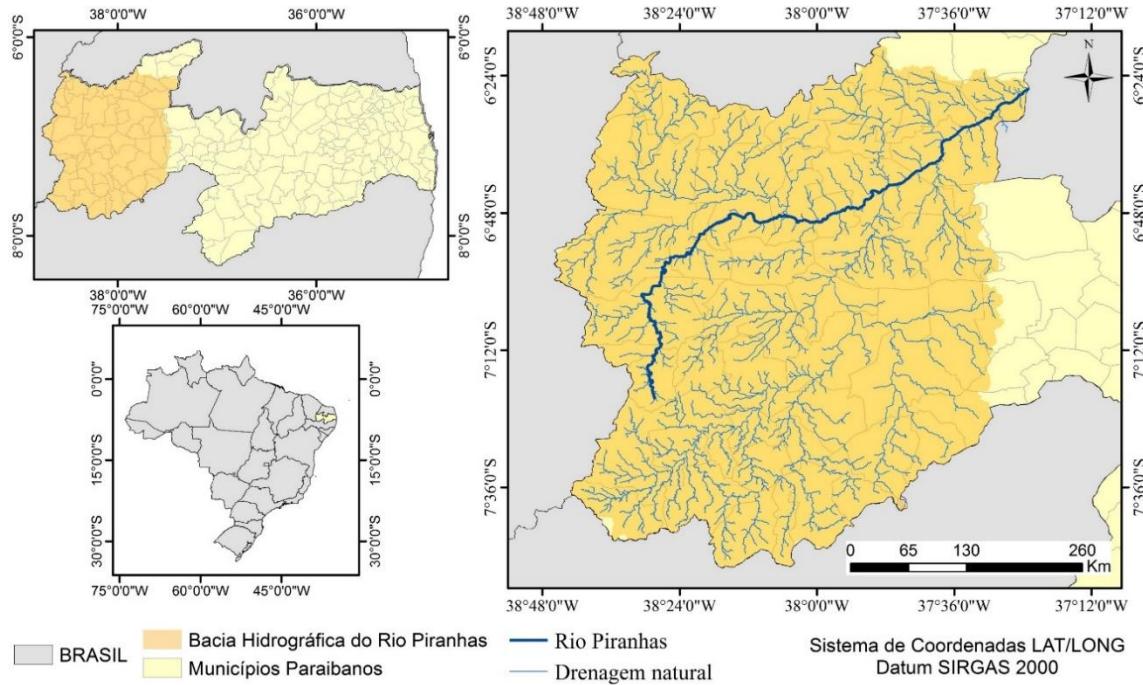
Segundo Dee et al. (2013), desde a década de 1980 há uma melhora nas descrições da circulação atmosférica global, devido ao constante avanço de modelos de previsão climática com dados de reanálise, que estimam diversos parâmetros atmosféricos, do mar e da superfície terrestre. Nas últimas décadas, os conjuntos de dados de precipitação estimada forneceram uma maneira alternativa de avaliar a variabilidade espaço-temporal da precipitação (Zambrano et al., 2017). Produtos como o *Tropical Rainfall Measuring Mission* – TRMM (Huffman et al., 2010), *Climate Prediction Center Morphing Technique* – CMORPH (Buarque et al., 2011), *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks* - PERSIANN (Sorooshian et al., 2010), PERSIANN-CCS (Hong et al., 2007), *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data* – CHIRPS (Funk et al., 2015), *Climate Forecast System Reanalysis* – CFSR (Saha et al., 2010), e outros produtos fornecem dados de precipitação com a resolução espacial de 0,25° ou mais (Maggioni e Massari, 2018). Diversos estudos vêm sendo realizados para avaliar esses produtos usando comparações entre dados observados e estimados de precipitação em diversas partes do planeta (Duan et al., 2016; Santos et al., 2017; Santos et al., 2018).

Além disso, embora existam alguns estudos para avaliar os dados do PERSIANN, CHIRPS e do CFSR com redes densas de pluviômetros (Melo et al., 2015; Paredes-Trejo et al., 2017; Zambrano et al., 2017), a precisão e padrões espaço-temporais de todos esses produtos de satélite sobre parte da região semiárida do Nordeste do Brasil ainda não foram investigados. Assim, o objetivo deste trabalho é fazer uma análise do comportamento e uma comparação de séries de precipitação estimadas de longo prazo para a bacia do Rio Piranhas utilizando dados observados e de satélites de alta resolução espacial.

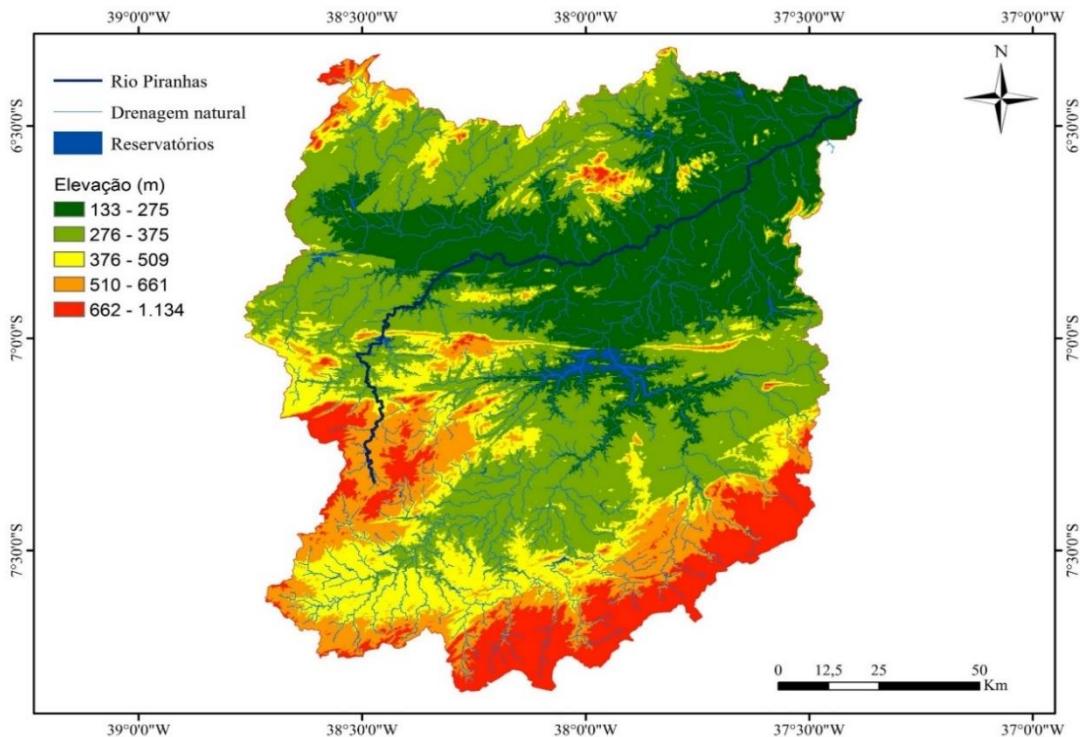
## 2.2 Materiais e Métodos

### 2.2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Piranhas (BHRP) está localizada na porção oeste do estado da Paraíba (Figura 2). Essa bacia está inserida no semiárido do Nordeste brasileiro, compreendendo uma área de drenagem de 18.197,26 km<sup>2</sup>, cobrindo áreas totais/parciais de 69 municípios. A Figura 3 mostra o mapa de elevação da BHRP que possui elevação mínima e máxima de 133 e 1134 m, respectivamente.



**Figura 2.** Localização geográfica da bacia do Rio Piranhas.



**Figura 3.** Mapa de elevação da bacia hidrográfica do Rio Piranhas.

Em condições naturais, o Rio Piranhas é intermitente, mas sua perenidade é garantida pelo reservatório Coremas Mãe D'Água, que apresenta uma capacidade 1,360 bilhões de m<sup>3</sup>. São desenvolvidos alguns usos por toda extensão do sistema hídrico, tais

como a abastecimento humano, irrigação, dessedentação animal, aquicultura, lazer etc. (Cardoso et al., 2017). A BHRP está situada na região do semiárido nordestino brasileiro, caracterizada por irregularidade pluviométrica e altas temperaturas. A precipitação pluviométrica média anual é igual ou inferior a 800 mm, e seu déficit hídrico diário é igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE, 2020). As chuvas são concentradas nas estações verão/outono, com quadra chuvosa compreendida entre os meses janeiro e abril, destacando-se março como o mês de maior pluviosidade e dezembro como a pré-estação chuvosa, onde são registradas as primeiras chuvas na região. Em relação a precipitação anual, a variabilidade pluviométrica no sertão e alto sertão oscila em torno de 700 a 900 mm (Francisco e Santos, 2017).

Sobre a geologia, prevalece a ocorrência de rochas ígneas e metamórficas, representadas por gnaisses, xistos, migmatitos e granitos, que formam o embasamento cristalino que corresponde principalmente à Depressão Sertaneja, representada por sua topografia plana a levemente ondulada, altimetrias inferiores a 400 m, e formas de relevo tabulares e pouco aprofundadas. Quanto ao solo, na região do embasamento cristalino predominam o luvissolo crômico e o neossolo litólico, além de argissolo vermelho-amarelo, que são solos desfavoráveis à agricultura. Nas áreas das bacias sedimentares os solos que prevalecem são do tipo planossolo nátrico e vertissolo cromado (bacia sedimentar do Rio do Peixe) (ANA, 2016).

O bioma predominante da BHRB é a Caatinga. A vegetação predominante é a Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia, com ocorrência de cactáceas, arbustos e árvores de pequeno a médio porte (CPRM, 2005a, 2005b, 2005c, 2005d, 2005e, 2005f, 2005g, 2005h). Constata-se uma significativa alteração na cobertura vegetal ao longo da bacia, em consequência de atividades como a da abertura de áreas para exploração agrícola, e a extração de lenha que posteriormente é utilizada como fonte energética para olarias, panificadoras e uso doméstico. Além de provocar perda de biodiversidade, a remoção da vegetação sem manejo adequado expõe o solo à ação erosiva das chuvas provocando o transporte de partículas para os corpos hídricos, alterando suas características naturais (Sousa et al., 2014).

## **2.2.2 Dados Observados**

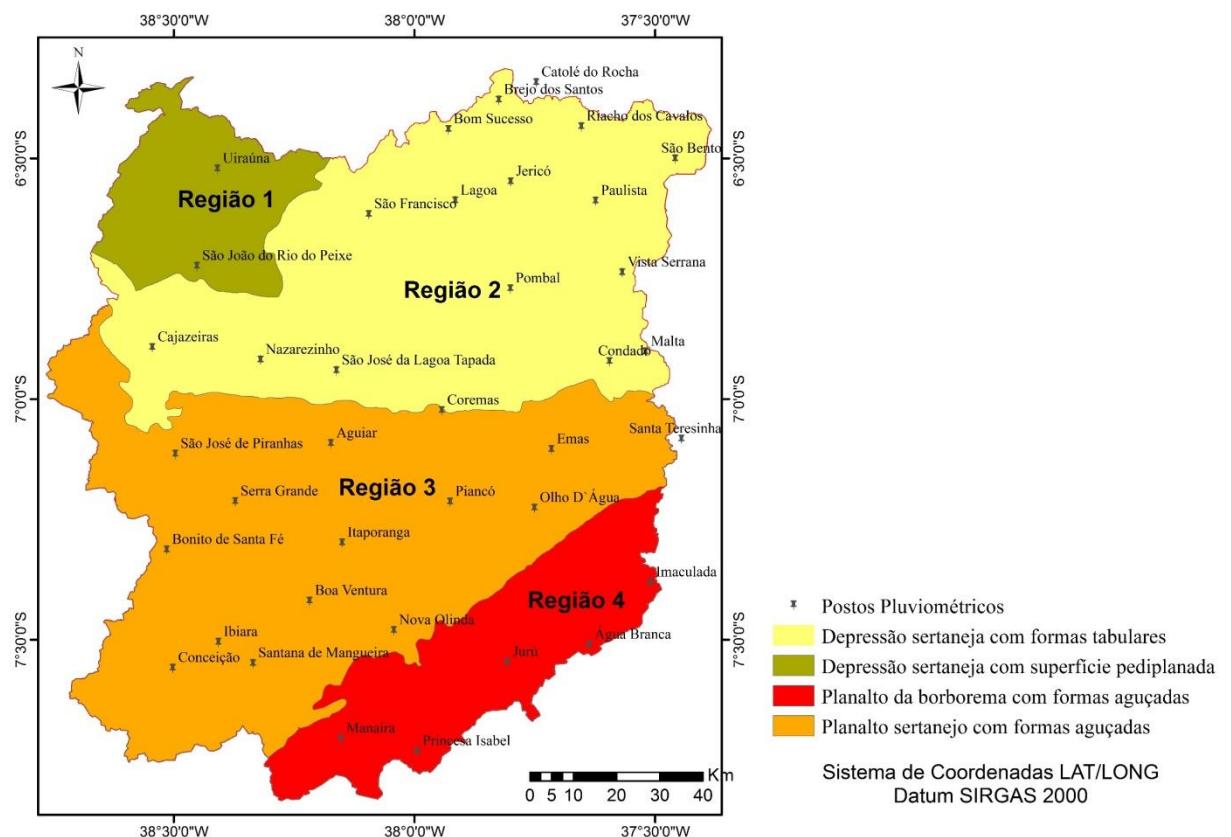
Neste estudo, foram utilizados dados de precipitação mensais e anuais de 38 postos pluviométricos para o período entre os anos de 1984 a 2017, obtidos no site

oficial da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba- AESA (<http://www.aesa.pb.gov.br>) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Lista das estações pluviométricos/municípios e suas coordenadas geográficas.

<b>Posto</b>	<b>Município</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Falhas (%)</b>
P1	Água Branca	-7,51	-37,64	0
P2	Aguiar	-7,09	-38,17	0
P3	Boa Ventura	-7,42	-38,22	1,04
P4	Bom Sucesso	-6,44	-37,93	2,43
P5	Bonito de Santa Fé	-7,31	-38,51	1,39
P6	Brejo dos Santos	-6,38	-37,82	0
P7	Cajazeiras	-6,89	-38,54	0
P8	Catolé do Rocha	-6,34	-37,75	0
P9	Conceição	-7,56	-38,50	0
P10	Condado	-6,92	-37,59	0
P11	Coremas	-7,03	-37,94	0
P12	Emas	-7,11	-37,72	0
P13	Ibiara	-7,51	-38,41	0
P14	Imaculada	-7,38	-37,51	0
P15	Itaporanga	-7,30	-38,15	0
P16	Jericó	-6,55	-37,80	0
P17	Jurú	-7,55	-37,81	1,74
P18	Lagoa	-6,59	-37,92	0,00
P19	Malta	-6,90	-37,52	0
P20	Manára	-7,71	-38,15	0
P21	Nazarezinho	-6,92	-38,32	0,35
P22	Nova Olinda	-7,48	-38,04	0
P23	Olho D'Água	-7,23	-37,75	1,04
P24	Paulista	-6,59	-37,62	2,08
P25	Piancó	-7,22	-37,93	0,69
P26	Pombal	-6,77	-37,80	0
P27	Princesa Isabel	-7,73	-37,99	0
P28	Riacho dos Cavalos	-6,44	-37,65	0
P29	Santana de Mangueira	-7,55	-38,34	0
P30	Santa Teresinha	-7,08	-37,45	0
P31	São Bento	-6,50	-37,46	0,35
P32	São Francisco	-6,62	-38,09	0,69
P33	São João do Rio do Peixe	-6,73	-38,45	1,74
P34	São José da Lagoa Tapada	-6,94	-38,16	0
P35	São José de Piranhas	-7,12	-38,50	0
P36	Serra Grande	-7,21	-38,37	1,04
P37	Uiraúna	-6,52	-38,41	0
P38	Vista Serrana	-6,74	-37,57	0

Na Figura 4 pode-se observar a distribuição geográfica dos postos pluviométricos, bem como a divisão geomorfológica do relevo que foi utilizada para fazer as análises por regiões. Os dados de precipitação desses postos foram selecionados devido a maior consistência dos dados. Para os doze postos que apresentavam falhas nos dados (Boa Aventura, Bom Sucesso, Bonito de Santa Fé, Juru, Nazarezinho, Olho D'Água, Paulista, Piancó, São José do Rio do Peixe, São Bento, São Francisco e Serra Grande), foi adotado o método de preenchimento de falhas por ponderação regional. Na Tabela 1, também pode ser verificada a porcentagem das falhas das precipitações mensais para cada posto pluviométrico.



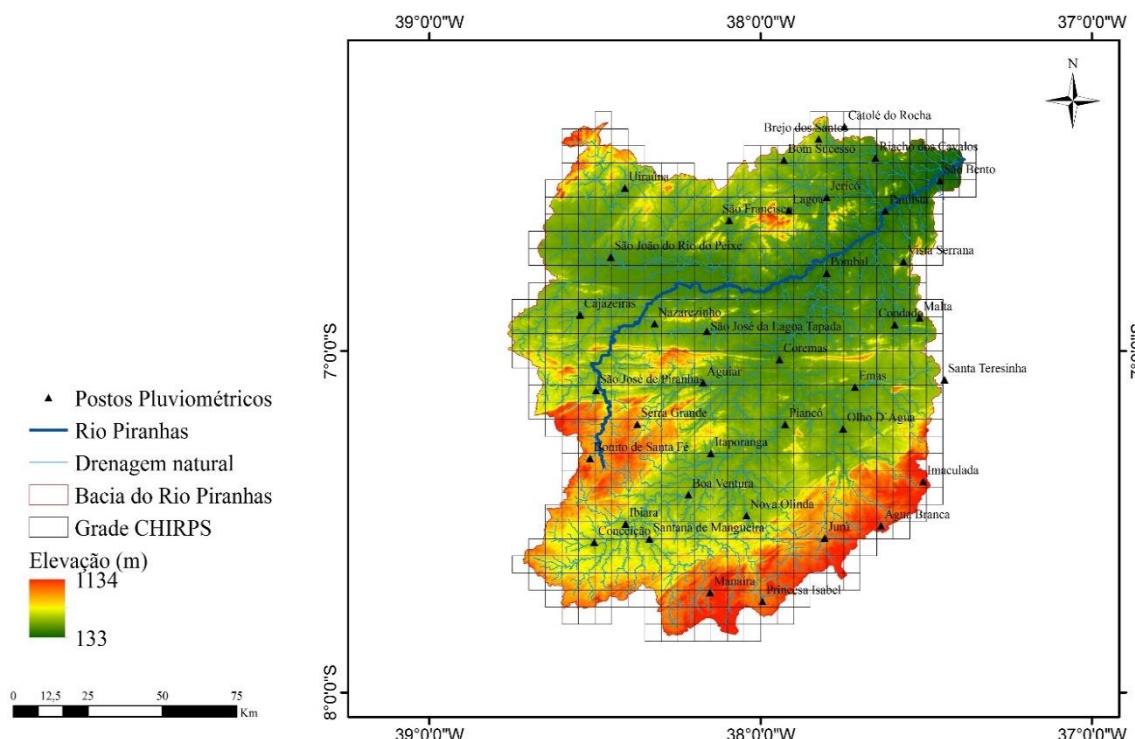
**Figura 4.** Distribuição geográfica dos postos pluviométricos utilizados no estudo e a divisão geomorfológica do relevo da bacia do Rio Piranhas.

### 2.2.3 Dados de Precipitação a Longo Prazo Baseados em Satélite

#### 2.2.3.1 CHIRPS

O CHIRPS (Funk et al., 2015) é um conjunto de dados pluviométricos desenvolvido pelo *Climate Hazards Group* (CHG), que engloba uma área que se estende de 50° S a 50° N (e todas as longitudes), com dados disponíveis desde 1981 até

os dias atuais. Os produtos CHIRPS são de alta resolução e são baseados nas médias de precipitação por satélite, indicadores fisiográficos típicos usados na maioria das climatologias atuais (altitude, latitude e longitude), além de um conjunto de dados observados de estações meteorológicas. Os produtos CHIRPS possuem resolução espacial de  $0,05^\circ$  e estão disponíveis no site do CHG (<ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRP/monthly/>). O CHIRPS foi desenvolvido para monitoramento da seca agrícola e das mudanças ambientais globais sobre a terra. Sua validação mostrou um bom desempenho no monitoramento da seca em regiões como no sul da China e na Etiópia (Lai et al., 2019; Funk et al., 2015). A Figura 5 mostra a distribuição espacial dos postos pluviométricos em relação a grade CHIRPS.



**Figura 5.** Distribuição espacial das estações pluviométricas e da grade CHIRPS.

### 2.2.3.2 PERSIANN-CDR

O sistema de Estimativa de Precipitação de Informação Remotamente Sensível usando Redes Neurais Artificiais (PERSIANN) foi desenvolvido pelo *Center for Hydrometeorology and Remote Sensing* (CHRS), da Universidade da Califórnia (Ashouri et al., 2014). São conjuntos de dados de precipitação diária com resolução espacial de  $0,25^\circ$ . Trata-se de um algoritmo de recuperação de precipitação por satélite

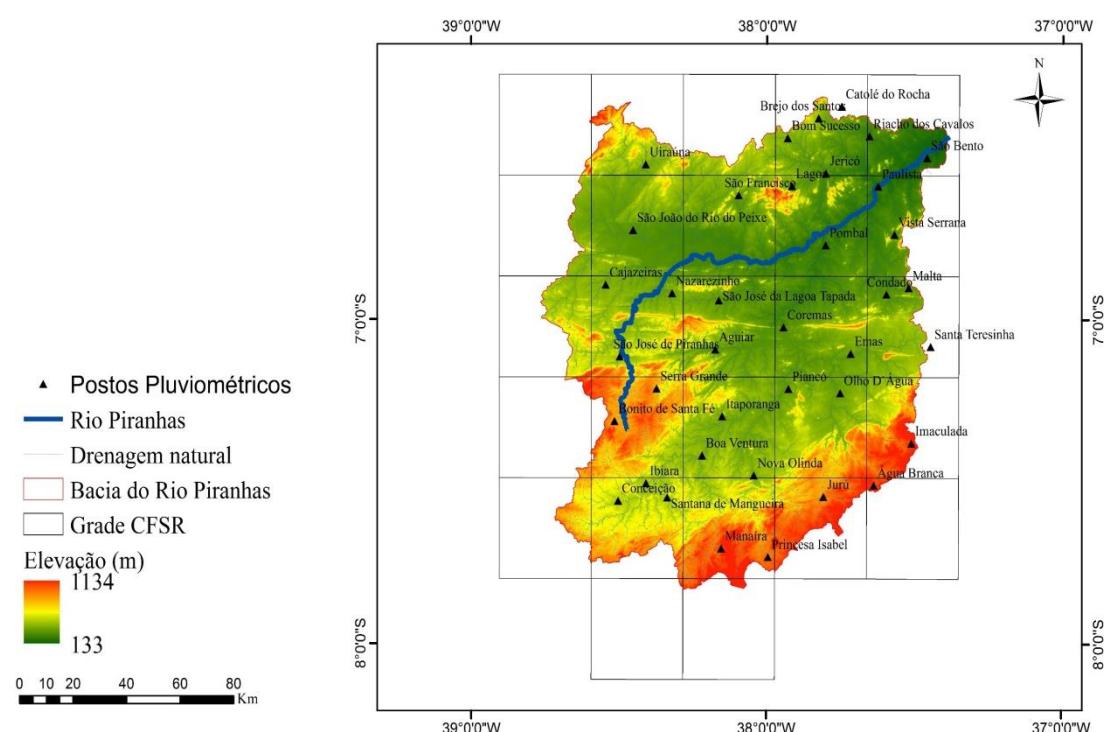
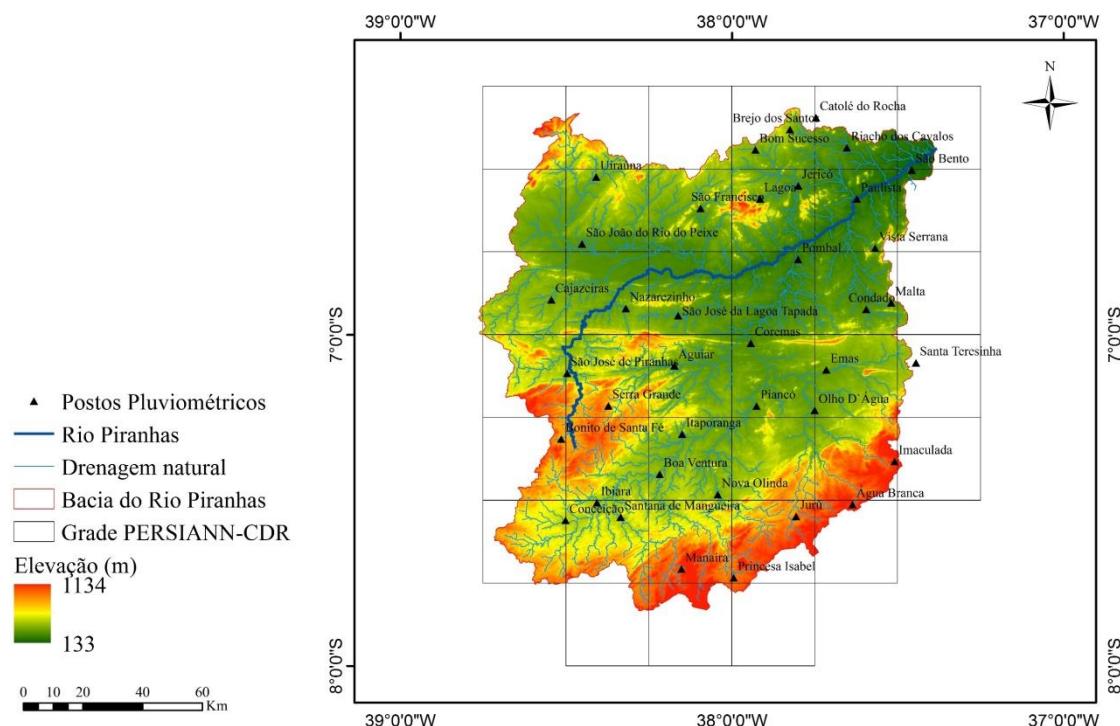
que se baseia na força e flexibilidade computacional das redes neurais artificiais adaptáveis (RNAs). Essa estimativa de precipitação foi desenvolvida para ter a capacidade de extrair e combinar informações de dados diversos, que incluem imagens de satélite infravermelho e micro-ondas, dados de pluviômetro e de radar terrestre, e informações topográficas da superfície do solo (Hsu et al., 1997).

Os dados utilizados foram do PERSIANN–*Climate Data Record* (PERSIANN-CDR), que é um conjunto de dados gerado pela combinação do algoritmo PERSIANN e dados infravermelhos GridSat-B1, sendo atualizado regularmente com produtos mensais do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP). Esse conjunto de dados de precipitação diária que engloba o período de 1983 até o presente momento está disponível ao público (<http://chrsdata.eng.uci.edu/>). Na Figura 6 podemos observar a distribuição dos postos pluviométricos na grade dos dados PERSIANN-CDR.

### **2.2.3.3 CFSR**

Os dados do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) estão disponíveis no período de 1979-2014. O sistema dispõe de dados diários de precipitação, vento, umidade relativa e solar, com acesso livre ao público (<https://globalweather.tamu.edu/>).

Para a geração dos produtos do CFSR são utilizados dois conjuntos de análises globais de precipitação: (a) os dados do *Climate Prediction Center* (CPC), e (b) dados do *Merged Analysis of Precipitation* (CMAP) (Saha et al., 2010). No CFSR, o modelo atmosférico global tem uma resolução de aproximadamente 38 km com 64 níveis verticais, e o modelo oceânico possui espaçamento latitudinal de 0,25° próximo ao Equador e até 0,5° próximo aos trópicos, com 40 níveis de profundidade de 4.737 m (Saha et al., 2010). O sistema gera um conjunto consistente de condições iniciais para terra, oceano e atmosfera (Higgins et al., 2010). A distribuição dos postos pluviométricos na grade CFSR pode ser verificada na Figura 7.



## 2.2.4 Análise Estatística

Diversas são as análises estatísticas utilizadas para aferir dados de precipitação *in situ* e estimativas de satélite, tendo em vista a importância de medir a compatibilidade desses dados. Portanto, neste estudo foram selecionadas algumas métricas estatísticas para aplicação nos dados. Foram calculados cinco índices estatísticos para efeito de comparação dos dados de satélites com os dados dos 38 postos pluviométricos, para quantificar a precisão entre os dados observados e estimados no período 1994-2017, sendo eles: Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), o Viés Relativo (BIAS), o Coeficiente de Eficiência (COE), Erro Médio (ME) e o Erro Quadrático Médio da Raiz (RMSE). As faixas de valores dos índices, bem como as suas respectivas equações, estão descritas na Tabela 2.

O  $R^2$  determina a relação linear existente entre duas variáveis; a partir do BIAS, é possível saber se os dados observados estão sendo subestimados ou superestimados em relação à previsão; o COE, coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (1970), sendo citado na literatura como um dos mais importantes critérios estatísticos para avaliar o ajuste de modelos hidrológicos; o ME, que reflete a variação da média entre os produtos de precipitação e a observação das estações; e o RMSE, que descreve o erro médio entre produtos de precipitação, conferindo maior peso a erros maiores.

**Tabela 2.** Lista das métricas estatísticas que serão aplicadas neste estudo.

Índice estatístico	Fórmula	Faixa de valor	Valor ótimo	Unidade
$R^2$	$R^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S})(G_i - \bar{G})}{\sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S})(G_i - \bar{G})^2} \right)^2$	0 a 1	1	
BIAS	$\text{BIAS} = \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - G_i)}{\sum_{i=1}^N G_i}$	0 a $\infty$	0	
COE	$\text{COE} = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^N (G_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2} \right)$	- $\infty$ a 1	1	
ME	$\text{ME} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - G_i)$	- $\infty$ to $\infty$	0	mm
RMSE	$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - G_i)^2}$	0 a $\infty$	0	mm

sendo,  $G_i$  a precipitação observada;  $S_i$  as estimativas de precipitação de produtos de precipitação por satélite; e  $n$  o número de amostras.

## 2.3 Resultados e Discussão

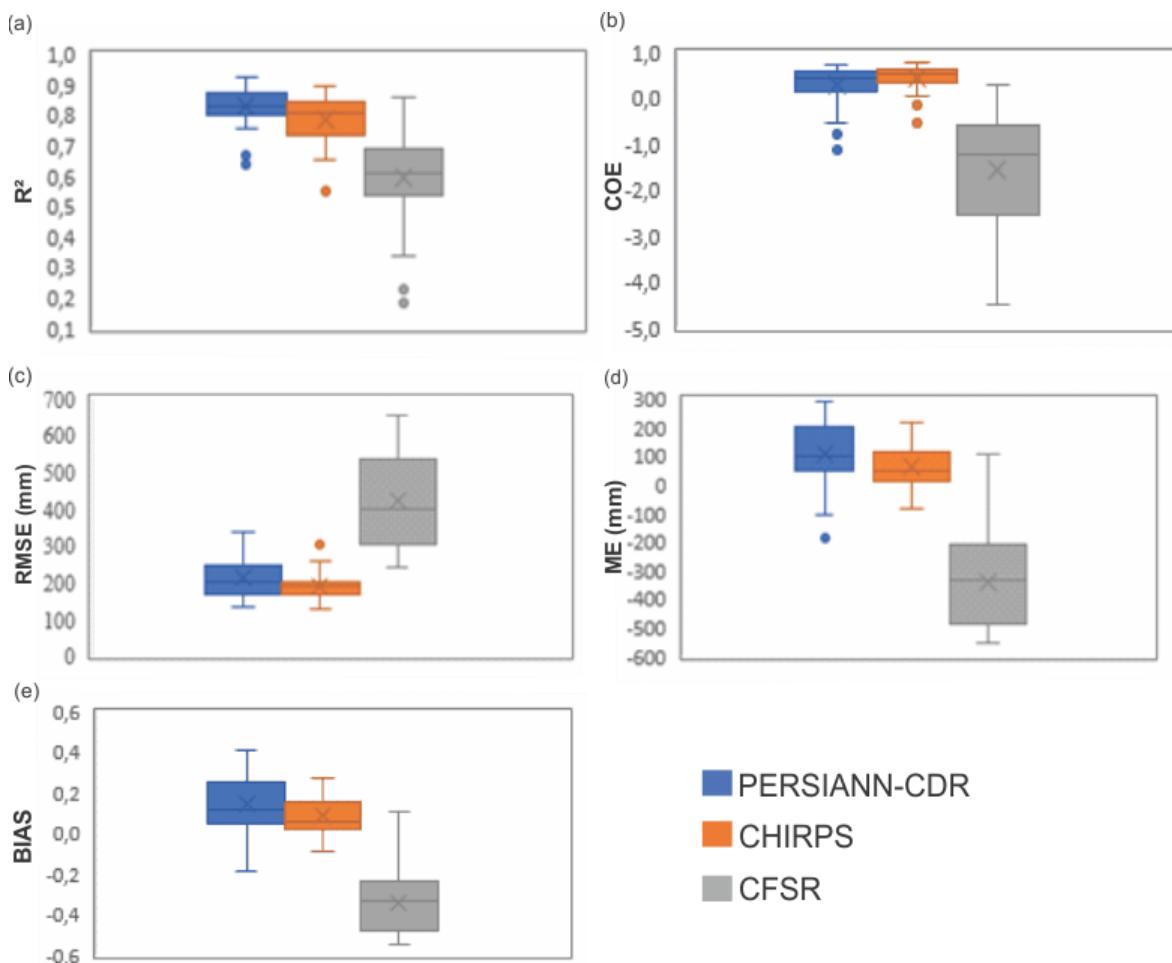
Neste item serão apresentadas as comparações dos produtos de precipitação observados e estimados usando os cinco índices estatísticos, seguidas das comparações espaço-temporais de longo prazo do CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR.

### 2.3.1 Avaliação e Comparação dos Índices Estatísticos

Para melhor comparar o desempenho dos produtos de precipitação, gráficos de caixas foram usados neste estudo para análise anual, pois é um bom resumo estatístico, que consiste em valores como a mediana, valores máximos e mínimos, entre outros valores estatísticos, assim como utilizado no estudo de Gao et al. (2018).

Conforme a Figura 8, pode-se observar uma semelhança entre os dados do CHIRPS e do PERSIANN-CDR, enquanto os dados do CFSR foram inferiores aos demais, quando comprados com os dados observados, em todos os índices. Melhor desempenho do PERSIANN-CDR em relação ao CHIRPS na comparação do  $R^2$  pode ser vista no Figura 8. A comparação com os dados observados em escala anual, levando em consideração também os valores do COE, RMSE, ME e BIAS, o CHIRPS e o PERSIANN-CDR apresentam melhor desempenho sobre o CFSR.

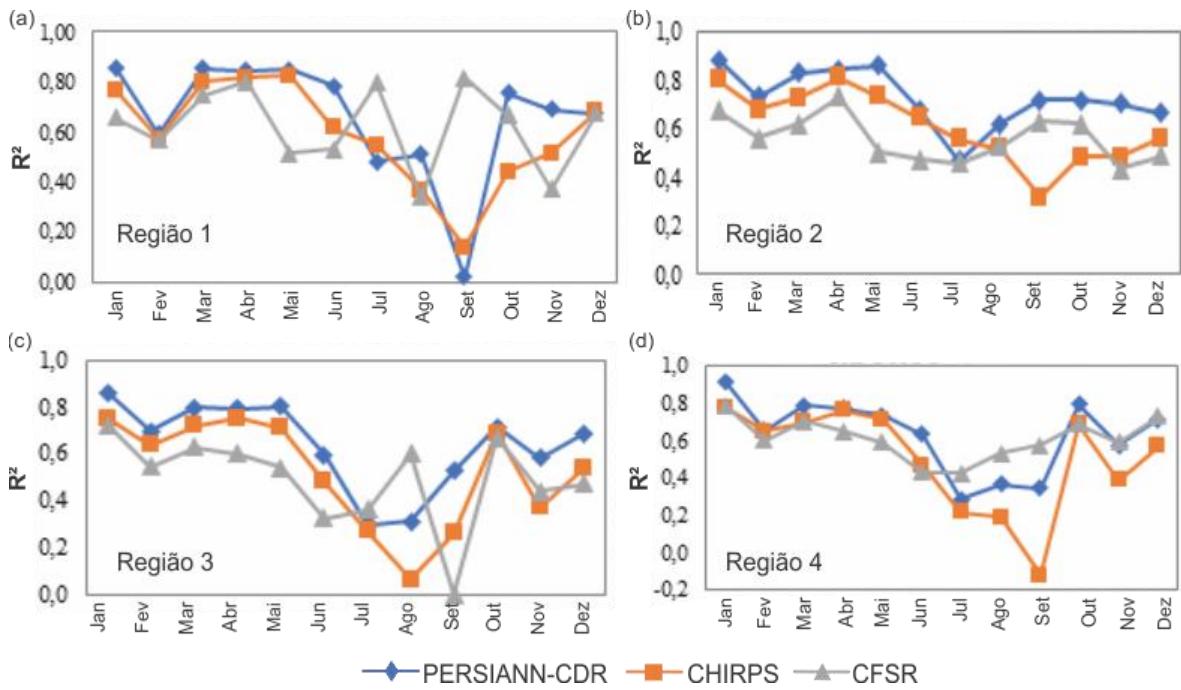
A mesma comparação foi realizada para os dados mensais, os resultados de cada região estão nas Figuras 9–13. Assim como na precipitação anual, os resultados mostram levemente um menor erro do CHIRPS e do PERSIANN-CDR sobre CFSR. Apesar de apresentar melhor ajuste, o ME mostra que geralmente ocorre a superestimação da precipitação no CHIRPS e no PERSIANN-CDR no período chuvoso (janeiro, fevereiro, março e abril), já o CFSR subestima os valores. O  $R^2$  do PERSIANN-CDR foi superior ao CHIRPS e CFSR, onde na região 2 os valores obtidos foram 0,84, 0,80 e 0,64, respectivamente.



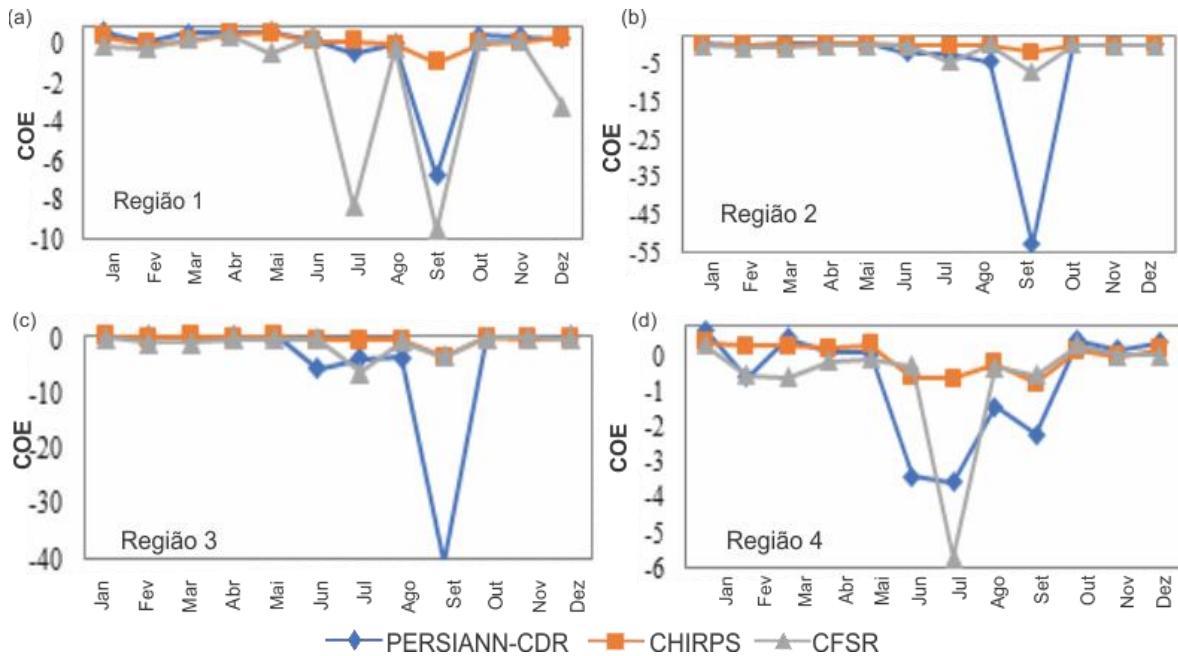
**Figura 8.** Comparações dos índices estatísticos para os dados CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR em relação aos dados observados dos 38 postos pluviométricos em escala anual.

A comparação entre os dados mensais do CHIRPS e observados para o período de 23 anos (1998-2017) sobre todo território brasileiro foi realizada, indicou uma forte associação entre os dois conjuntos de dados, uma superestimação em 2% foi associada a erros sistemáticos e pelos mecanismos que originam a precipitação, apesar disso, foi determinada a validação dos dados do CHIRPS no período analisado como dados confiáveis, logo a aplicação desses dados em pesquisas climáticas são recomendadas (Costa et al., 2019).

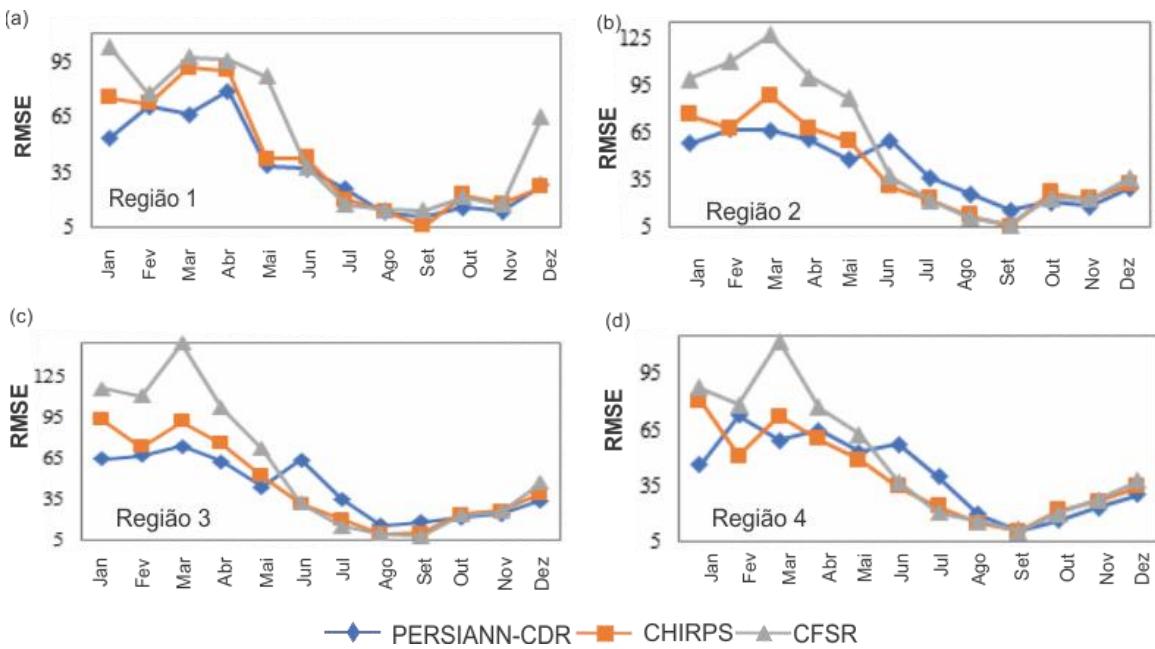
Os dados PERSIANN-CDR foram validados para bacia do Rio Piancó (Frade, 2019), esta, por sua vez, está localizada na parte sul da BHRP (regiões 3 e 4), de forma que, a precipitação obteve um bom comportamento nas escalas mensal e anual.



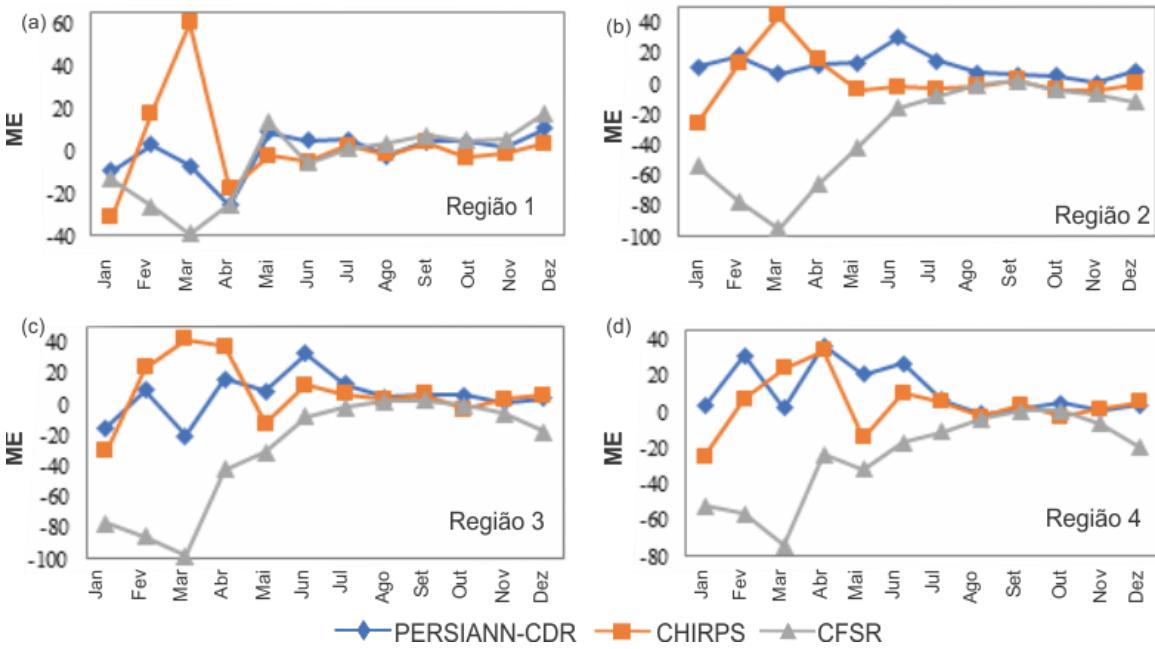
**Figura 9.** Comparações do índice estatístico  $R^2$  para os dados CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR em relação aos dados observados em escala mensal.

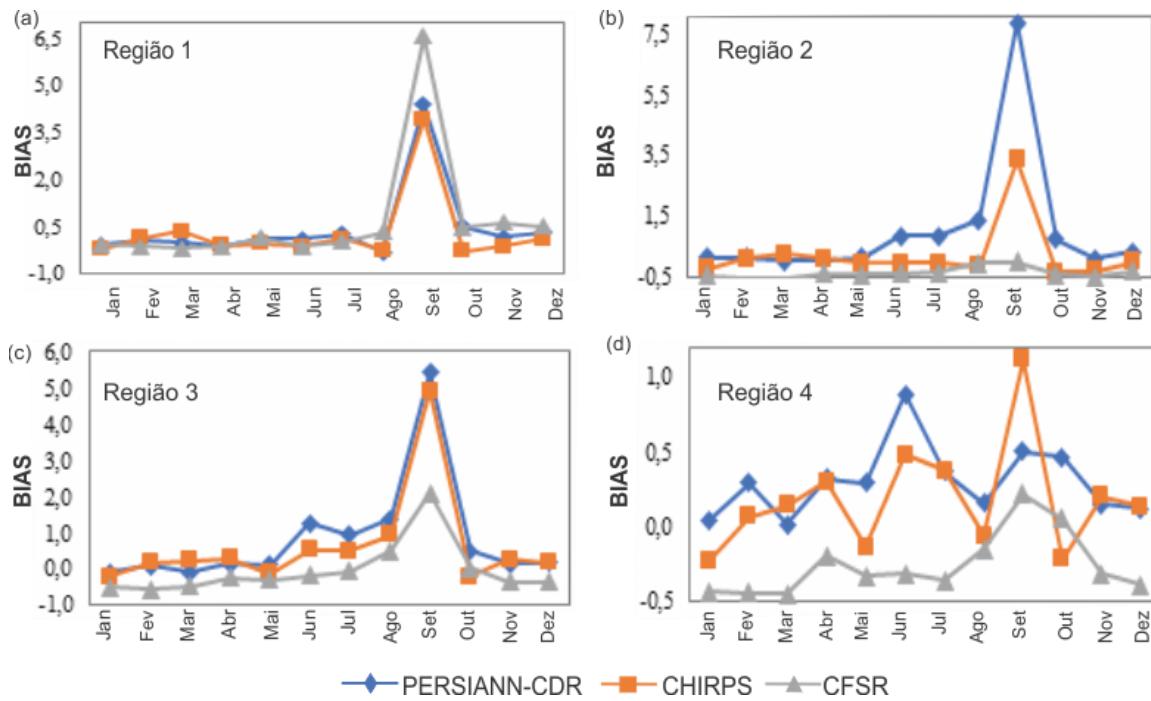


**Figura 10.** Comparações do índice estatístico COE para os dados CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR em relação aos dados observados em escala mensal.



**Figura 11.** Comparações do índice estatístico RMSE para os dados CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR em relação aos dados observados em escala mensal.





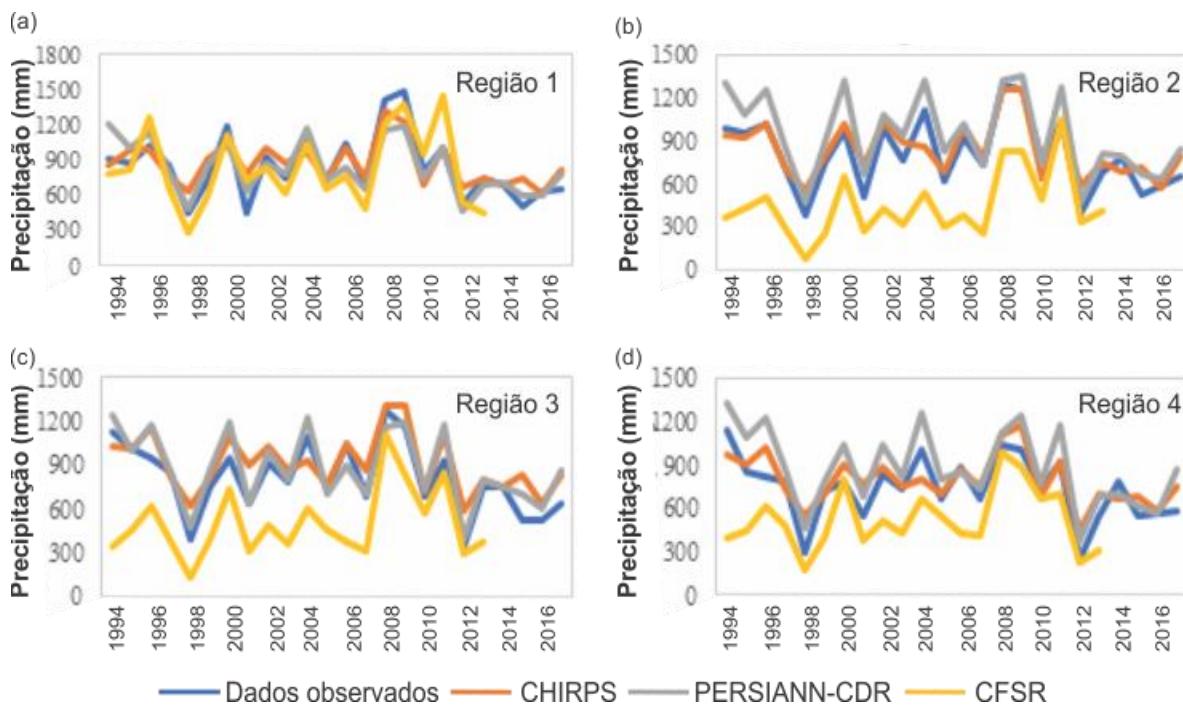
**Figura 13.** Comparações do índice estatístico BIAS para os dados CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR em relação aos dados observados em escala mensal.

### 2.3.2 Análise Espaço-Temporal dos Dados

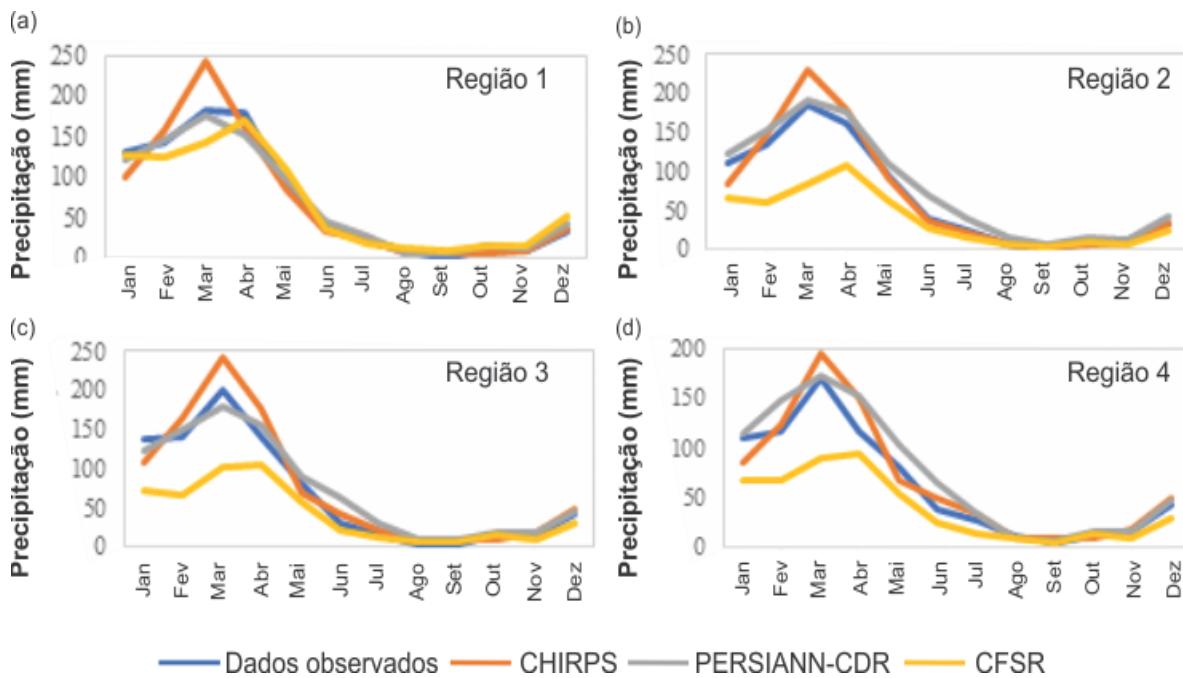
#### 2.3.2.1 Análise Temporal

A análise temporal dos dados foi realizada para os dados CHIRPS e PERSIANN-CDR, Figura 14. Ao comparar os dados observados em escala anual, percebe-se maior predição dos dados CHIRPS em relação aos demais. Nitidamente, o CFSR é o dado que apresenta maior divergência em relação aos dados observados de precipitação. Por exemplo, em 1994 na região 1, o CHIRPS subestima a precipitação em 4,84%, o mesmo acontece com CFSR, sendo essa subestimação ainda maior, de 63,76%. Já o PERSIANN-CDR superestima o valor em 32,34%. De forma geral, o PERSIANN-CDR tende a superestimar os valores e o CFSR em subestimar, o CHIRPS é um pouco mais consistente na estimativa de precipitação anual.

A mesma comparação, mas em escala mensal, pode ser vista na Figura 15. A Figura mostra que o PERSIANN-CDR nesta escala, que seus valores estão mais próximos dos observados em relação ao CHIRPS e o CFSR, sendo o último ainda com pior desempenho.



**Figura 14.** Variações da precipitação média anual no período de 1994 a 2017 a partir dos dados observados, CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR.

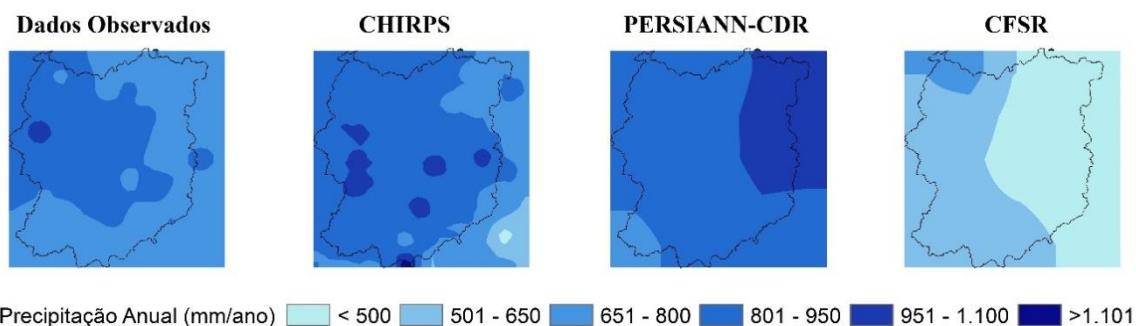


**Figura 15.** Variações da precipitação média mensal no período de 1994 a 2017 a partir dos dados observados, CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR.

### 2.3.2.2 Análise Espacial

Para a observação da distribuição espacial, os dados observados foram interpolados pelo método IDW em uma resolução  $0,05^\circ$ , podendo ser comparados aos produtos de satélites utilizados, o CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR, com resoluções espaciais de  $0,05^\circ$ ,  $0,25^\circ$  e  $0,30^\circ$ , respectivamente. A Figura 16 apresenta a variação espacial da precipitação média anual na BHRP.

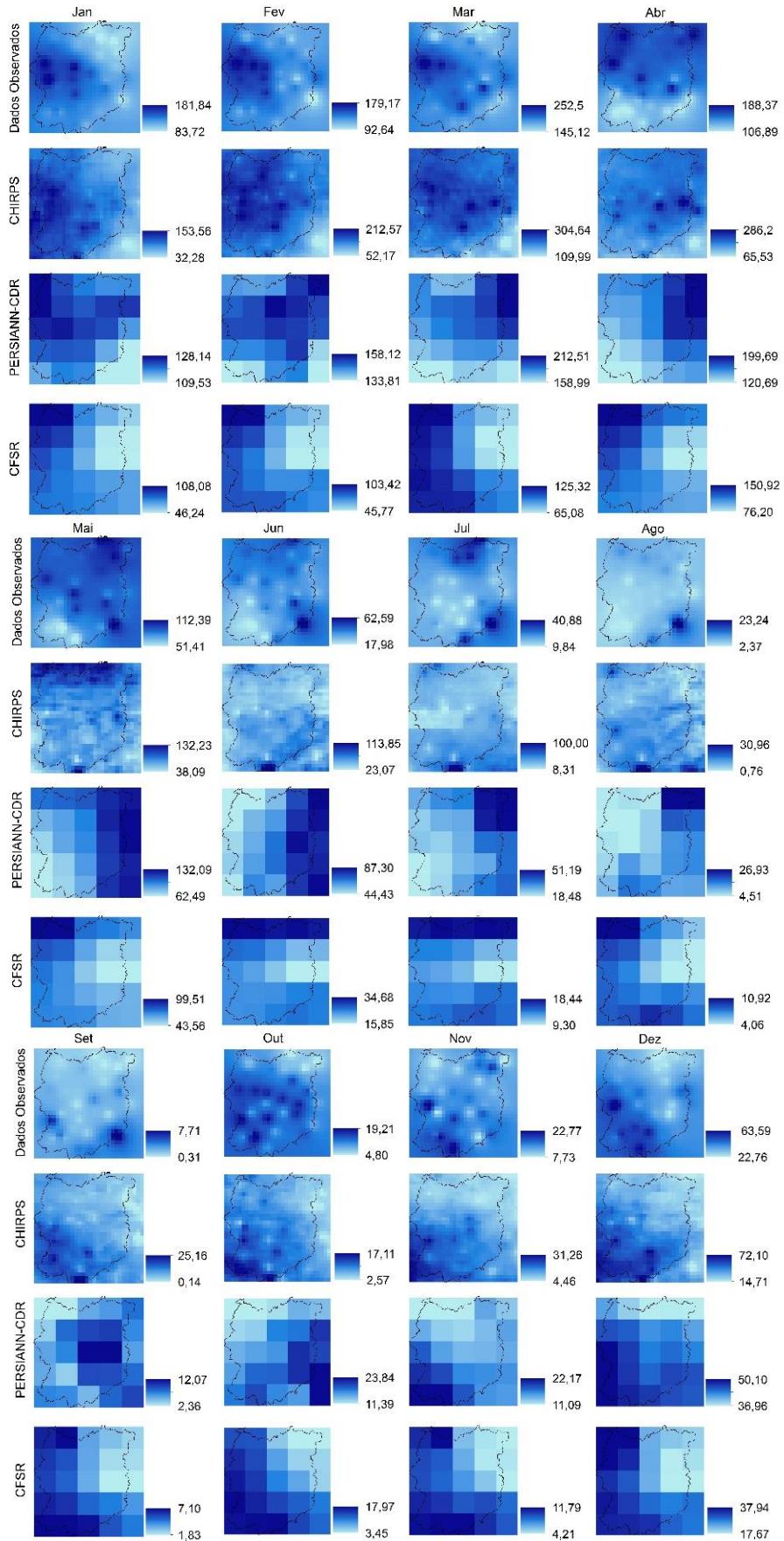
As precipitações estimadas do CHIRPS apresentam melhor distribuição espacial dos dados, representando a tendência de maior precipitação ao oeste da bacia e menor ao leste. O PERSIANN-CDR apresenta aponta uma superestimação na região leste. Já o CFSR demonstra sua subestimação na precipitação em escala anual.



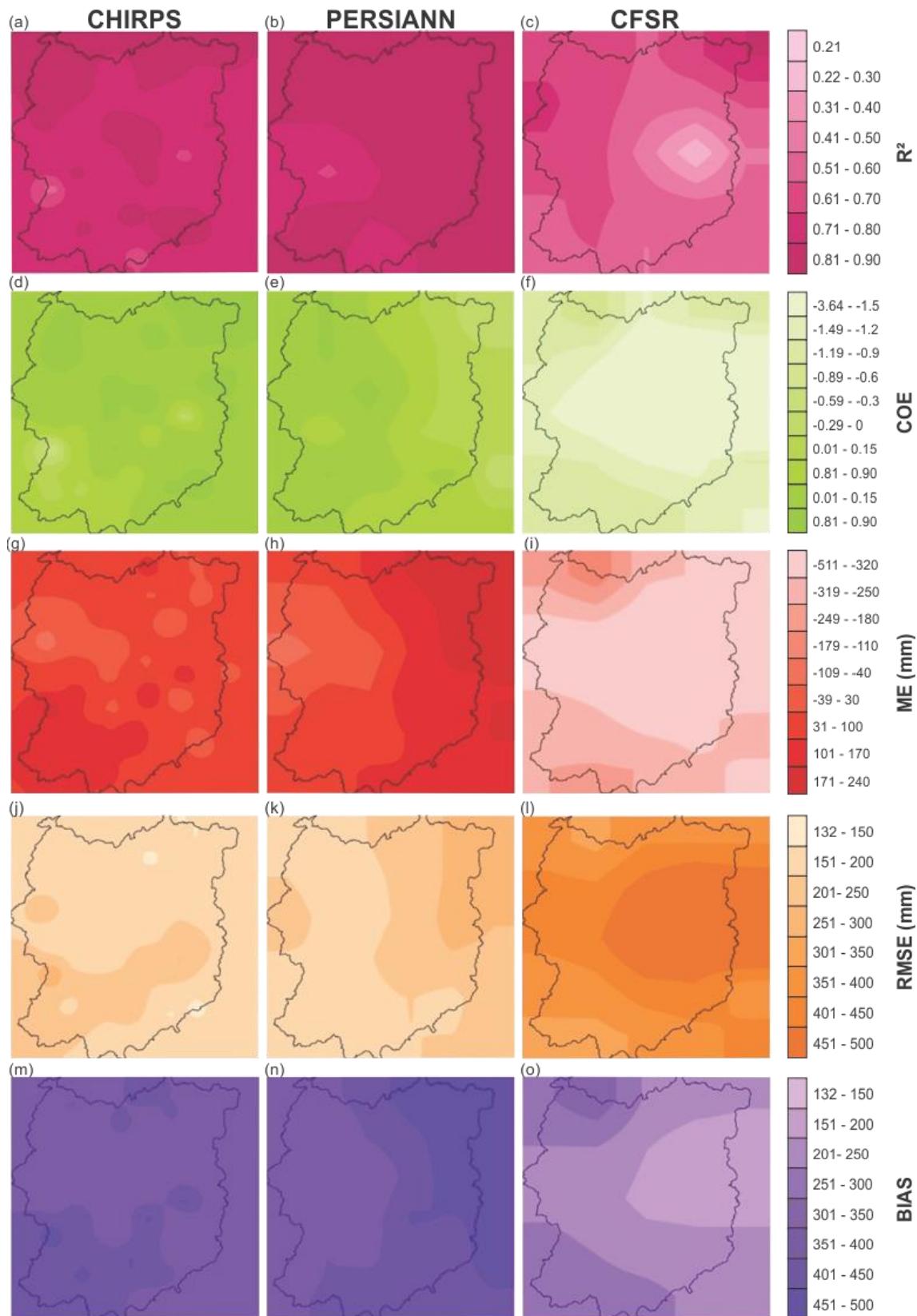
**Figura 16.** Distribuição espacial da precipitação média anual dos dados observados, CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR para o período de 1994-2017.

A espacialização em escala mensal foi realizada para os diferentes dados de satélites e dados observados (Figura 17), para melhor apuração dos resultados. A distribuição mensal é semelhante a anual, evidenciando a maior precipitação na bacia na parte oeste, para o período chuvoso. Para os meses de maio, junho, julho e agosto, destaca-se focos de maiores precipitações ao sul da bacia, que podem ser também visualizados nos dados CHIRPS e PERSIANN-CDR, enquanto o CFSR apresenta maiores precipitações ao norte. Para o período seco (setembro, outubro, novembro e dezembro), assim como nos demais meses, o CHIRPS apresenta melhor distribuição quando comparado aos dados observados.

Pode-se ressaltar que essa evidência de melhor distribuição espacial pode estar associada ao método de interpolação e à resolução adotada aos dados observados, que foi a mesma resolução do produto CHIRPS. As Figuras 18 e 19 mostram a espacialização das análises estatísticas dos índices usados neste estudo para as escalas mensais e anuais.

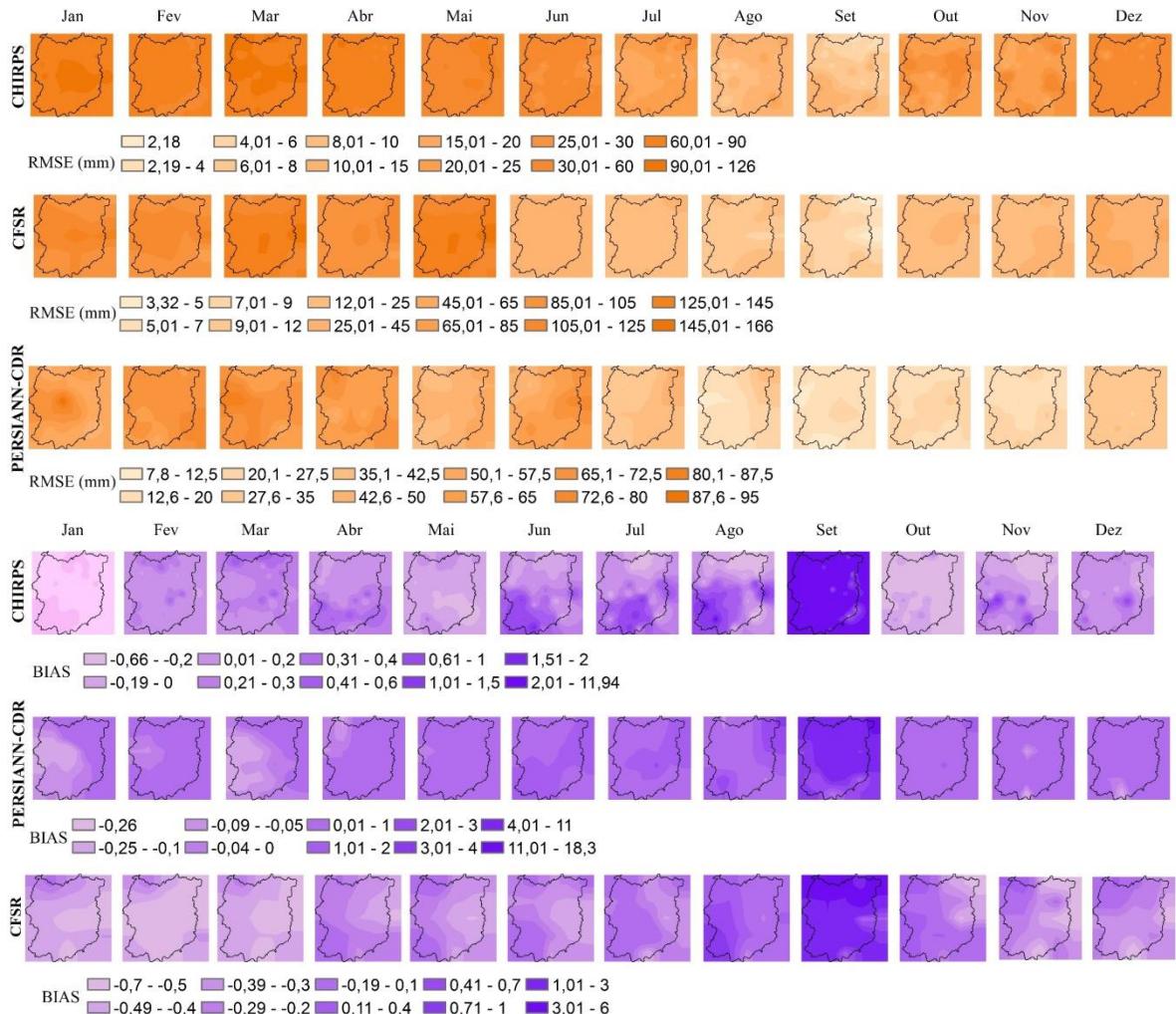


**Figura 17.** Distribuição espacial da precipitação média mensal para no período 1994–2017.



**Figura 18.** Espacialização dos índices estatísticos dos dados anuais de precipitação observados e do CHIRPS, PERSIANN–CDR e CFSR entre 1994–2017.





**Figura 19.** Espacialização dos índices estatísticos dos dados mensais de precipitação observados e do CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR entre 1994–2017.

Foi utilizado o método *Inverse Distance Weighting* – IDW para interpolar os índices estatísticos. A espacialização das métricas estatísticas em escala anual e mensal é verificada nas Figuras 18 e 19. O comportamento em escala anual e mensal foi relativamente semelhante em cada conjunto de dados. O CHIRPS apresentou um bom desempenho, com uma distribuição uniforme ao longo de toda a bacia. Quanto ao PERSIANN-CDR, as porções leste e norte apontaram melhores ajustes em relação aos dados observados. Para CFSR que expôs pior comportamento em relação aos demais, destaca-se a região oeste com destaque nas extremidades norte/sul.

## 2.4 Conclusões

A finalidade deste artigo foi analisar o potencial de aplicabilidade de diferentes produtos de satélites para estimativa de precipitação na Bacia do Rio Piranhas, incluindo os dados CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR, comparados a um conjunto de dados observados de 38 estações no período de 1994 a 2017. Assim, para efeito de comparação foram calculados cinco índices estatísticos.

O R<sup>2</sup> foi mais satisfatório para PERSIANN-CDR em escala anual, no entanto o CHIRPS também apresentou boa correlação na estimativa da precipitação. O CFSR indicou valores médios a ruins do R<sup>2</sup>. O ME, BIAS obtiverem melhor ajuste para o CHIRPS, seguido do PERSIANN-CDR e do CFSR. O COE e RMSE foi levemente mais adequado para o CHIRPS do que para o PERSIANN-CDR, e posteriormente o CFSR. Os resultados são semelhantes para a escala mensal, porém destaca-se que o CHIRPS supera tanto o PERSIANN-CDR como o CFSR. O PERSIANN-CDR superestima muito os valores de precipitação na estação chuvosa, e o CFSR tende a subestimá-los.

Quanto a distribuição espacial da precipitação na área de estudo, foi observado maior precipitação no leste da bacia para o período chuvoso. O CHIRPS representa melhor a distribuição espacial, associa-se esse fato a maior resolução do produto, pois possibilita uma caracterização mais detalhada.

Em geral, o CHIRPS e PERSIANN-CDR apresentaram resultados mais satisfatórios do que o CFSR para estimar a precipitação na Bacia do Rio Piranhas. Com essa avaliação podemos concluir que os produtos os CHIRPS e PERSIANN-CDR podem representar de forma satisfatória a precipitação na BHRP, ressaltando o melhor ajuste anual para o dado PERSIANN-CDR e o mensal para os dados CHIRPS, tendo o CHIRPS apresentado uma melhor distribuição espacial. Portanto, esses algoritmos se mostram como uma alternativa para elaboração de estudos de monitoramento hidrológico, sobretudo em regiões com escassez de dados de precipitação observados.

## Referências

ANA – Agência Nacional de Águas (2016). Plano de recursos hídricos Piancó-Piranhas-Açu. Disponível em: < [http://www.cbhpiancopiranhasacu.org.br/portal/wp-content/uploads/2017/03/PRH\\_PiancoPiranhasAcu\\_ResumoExecutivo\\_30062016.pdf](http://www.cbhpiancopiranhasacu.org.br/portal/wp-content/uploads/2017/03/PRH_PiancoPiranhasAcu_ResumoExecutivo_30062016.pdf) > Acesso em: 23 de jan. 2020.

Ashouri H, Hsu KL, Sorooshian S, Braithwaite DK, Knapp KR, Cecil LD, Nelson BR, Prat OP (2014). PERSIANN-CDR: daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 96(1), 197–210.

Cardoso AS, Marwell DTB, Sobral MCM, Melo GL, Casé MCC (2017). Análise da presença do fitoplâncton em bacia integrante do Projeto de Integração do Rio São Francisco, região semiárida, Nordeste brasileiro. **Engenharia Sanitária Ambiental**, 22(2). <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016146707>

Costa J, Pereira G, Siqueira ME, Cardozo F, Silva VV (2019). Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, 24(4).

CPRM – Serviço Geológico do Brasil (2005a). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Uiraúna, estado da Paraíba/** Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM.

\_\_\_\_\_ (2005b). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Cajazeiras, estado da Paraíba/** Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005b.

\_\_\_\_\_ (2005c). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Condado, estado da Paraíba/** Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005c.

\_\_\_\_\_ (2005d). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de São Bento, estado da Paraíba/** Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005d.

\_\_\_\_\_ (2005e). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Princesa Isabel, estado da Paraíba/** Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005e.

\_\_\_\_\_ (2005f). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Bonito de Santa Fé, estado da Paraíba/** Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005f.

\_\_\_\_\_ (2005g). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Coremas, estado da Paraíba/** Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005g.

\_\_\_\_\_ (2005h). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Conceição, estado da Paraíba/** Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005h.

Dee DP, Balmaseda M, Balsamo G, Engelen R, Simmons AJ, Thépaut J-N (2013). Toward a consistent reanalysis of the climate system. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 95, 1235–1248. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00043.1>.

Francisco PRM, Santos D (2017). **Climatologia do Estado da Paraíba.** Campina Grande: EDUFCG, 75 p. Disponível em: <https://portal.insa.gov.br/images/acervo-livros/Climatologia%20do%20Estado%20da%20Paraíba%20editora.pdf>.

Frade TG (2019). Modelagem hidrológica utilizando os dados de precipitação PERSIANN-CDR e o modelo SWAT para a bacia do Rio Piancó – PB. João Pessoa, 2019. 103 f.

Funk C, Peterson P, Landsfeld M, Pedreros D, Verdin J, Shukla S, Husak G, Rowland, J.; Harrison, L.; Hoell, A.; Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations--a new environmental record for monitoring extremes. **Science Data**, 2. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>

Gao F, Zhang Y, Chen Q, Wang P, Yang H, Yao Y, Cai W (2018). Comparison of two long-term and high-resolution satellite precipitation datasets in Xinjiang, China. **Atmospheric Research**, 212, 150–157. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.05.016>

Higgins RW, Kousky VE, Silva VBS, Becker E, Xie P (2010). Intercomparison of daily precipitation statistics over the United States in observations and in NCEP reanalysis products. **American Meteorological Society**, 23. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3638.1>

Hsu KL, Gao XG, Sorooshian S, Gupta HV (1997). Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. **Journal of Applied Meteorology**. 36, 1176-1190.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>> Acesso em: 23 de jan. 2020.

Lai C, Zhong R, Wang Z, Wu X, Chen X, Wang P, Lian Y (2019). Monitoring hydrological drought using long-term satellite-based precipitation data. **Science of the Total Environment**, 649, 1198-1208,. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.245>

Melo DDCD, Xavier AC, Bianchi T, Oliveira PTS, Scanlon BR, Lucas MC, Wendland E (2015). Performance evaluation of rainfall estimates by TRMM multisatellite precipitation analysis 3B42V6 and V7 over Brazil. **Journal Geophysical Research Atmospheres**. 120, 9426-9436. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2015JD023797>

Ochoa A, Pineda L, Crespo P, Willems P (2014). Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates and WRF retrospective precipitation simulation over the Pacific-Andean region of Ecuador and Peru. **Hydrology Earth System Sciences**, 18, 3179-3193. <https://doi.org/10.5194/hess-18-3179-2014>.

Paredes-Trejo FJ, Barbosa HA, Kumar TVL (2017). Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**. 139, 26-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.12.009>

Saha, S. et al. (2010). The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. **Bulletin of the American Meteorological**, 91, 1015-1057.

Sousa TMI, Ferreira PML, Garrido JWA, Queiroz MMF, Silva FM (2014). Qualidade ambiental da bacia do Rio Piancó Piranhas Açu. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 9(4), 84-94.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Delimitação do Semiárido. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>> Acesso em: 23 de jan. 2020.

Wilhite DA, Svoboda MD, Hayes MJ (2007). Understanding the complex impacts of drought: A key to improving drought mitigation and preparedness. **Water Resources Management**, 21(5), 763-774. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-006-9076-5>

Zambrano F, Wardlow B, Tadesse T, Lillo-Saavedra M, Lagos O (2017). Evaluating satellite derived long historical precipitation dataset for drought monitoring in Chile. **Atmospheric Research**, 186, 26-42. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.11.006>

### **3. MONITORAMENTO DA SECA METEOROLÓGICA BASEADA EM DADOS ESTIMADOS DE PRECIPITAÇÃO DE LONGO PRAZO**

#### **Resumo**

Os eventos climáticos extremos (de alta e baixa pluviosidade), cada vez mais estão ocorrendo com maior frequência em todas as partes do planeta e vem sendo estudados a partir de séries históricas de precipitação. Os produtos de longo prazo de precipitação estimados por satélite fornecem uma excelente fonte de dados para o monitoramento da seca meteorológica. Assim, este estudo analisa as secas meteorológicas na bacia do Rio do Piranhas mediante a aplicação dos seguintes produtos de longo prazo de precipitação: *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks-Climate Data Record* (PERSIANN-CDR), *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS), e *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR). Esses dados foram comparados com dados observados de 38 postos pluviométricos, para o período 1994-2017. Neste estudo foi utilizado o índice de seca meteorológica denominado *Standardized Precipitation Index* (SPI). Os resultados obtidos mostram que os três conjuntos de dados apresentam desempenho aceitável na representação dos fenômenos meteorológicos ocorridos na região, e que capturaram com precisão o início, o fim e a duração desse evento de seca; no entanto, vários desvios foram encontrados na estimativa de gravidade e intensidade do evento de seca. Os resultados mostraram que as escalas temporais de SPI-12 e SPI-24 identificaram os principais eventos de seca que afetaram a bacia do Rio Piranhas nos últimos anos. Os dados CHIRPS e PERSIANN-CDR foram superiores ao CFSR e descreveram bem a ocorrência das secas. Logo, os conjuntos de dados de satélites CHIRPS e PERSIANN-CDR são alternativas viáveis para estimar a ocorrência de eventos de seca na bacia do Rio Piranhas, podendo essas análises serem realizadas para períodos mais longos.

**Palavras-chave:** precipitação estimada, seca metorológica, semiárido.

#### **3.1 Introdução**

As duas primeiras décadas do século XXI estão sendo caracterizadas por eventos climáticos extremos que levaram a desastres naturais, como: (a) seca na região Nordeste durante 2010-2017, (b) seca na região sudeste do Brasil entre 2014 e 2015, (c) secas na Amazônia em 2005, 2010 e 2016, (d) inundações na Amazônia em 2009 e 2014, e (e) inundações na região Sudeste em 2019 e 2020, com algumas quase sincronizadas, por exemplo, inundações intensas na Amazônia e seca no Nordeste do Brasil em 2012–2013 (Marengo et al., 2018).

A seca é um dos riscos naturais mais devastadores do mundo, que podem ocorrer em todas as zonas climáticas (Wang et al., 2017). Nos últimos 20 anos, frequentes e severas secas trouxeram enormes perdas agrícolas e sociais, econômicas e

ambientais em praticamente todos os continentes (Alvalá et al., 2019), sobretudo na região semiáridas do Nordeste do Brasil.

Os mecanismos meteorológicos e oceânicos que levam a mudanças na circulação e nas chuvas responsáveis pela seca no Nordeste do Brasil foram relatados em outros estudos e referem-se à ocorrência de El Niño, a um Atlântico Norte tropical anomalamamente quente ou a uma combinação de ambos (Nobre et al. 2016, Marengo et al., 2016, Rodrigues e McPhaden, 2014). Mais especificamente para a região Nordeste do Brasil, os desastres naturais são voltados para a ocorrência de secas, pois é o maior problema causado pela grande irregularidade pluviométrica na região.

Assim, considerando a seca como um desastre natural, sua ocorrência compromete a segurança hídrica, energética e alimentar (agricultura de subsistência) em regiões como o Nordeste do Brasil, que é considerada uma das regiões mais suscetíveis às mudanças climáticas, pois, grande parte dela sofre com os desastres naturais decorrentes das secas (Santos et al., 2019a) devido à alta variabilidade das chuvas, somados a degradação da terra, características socioeconômicas e a desertificação são os fatores que, juntos tornam esta região uma das mais vulneráveis do mundo às mudanças climáticas (IPCC, 2014).

O semiárido do Nordeste do Brasil abrange uma área de cerca de 1.128.697 km<sup>2</sup> ou pouco mais de 13% da área total do território do Brasil (SUDENE, 2018). Em termos climáticos, essa região é vulnerável aos extremos observados de variabilidade climática interanual, principalmente secas, e os cenários de mudança climática indicam que a região será afetada pelo déficit de chuva e pelo aumento da aridez na segunda metade do século XXI (Marengo e Bernasconi, 2015).

Nesse sentido, a realização de estudos para quantificar e monitorar diferentes eventos de seca vêm sendo aplicados em todo o planeta (Lai et al., 2019), como o índice de severidade da seca de Palmer (PDSI) (Palmer, 1965), o índice de precipitação padronizado (SPI) (McKee et al., 1993) e o índice de evapotranspiração de precipitação padronizado (SPEI) (Vicente-Serrano et al., 2010), são exemplos de índices de seca meteorológica mais usados na literatura. Todavia, para a aplicação desses índices se faz necessário a utilização de dados meteorológicos e/ou hidrológicos, e a precipitação é o dado mais básico para o cálculo dos índices de seca. Em geral, a maioria dos índices de seca é baseada em estatística, isto é, quantifica as condições de chuva e seca com base na anomalia da quantidade de água disponível para a média de longo prazo no tempo

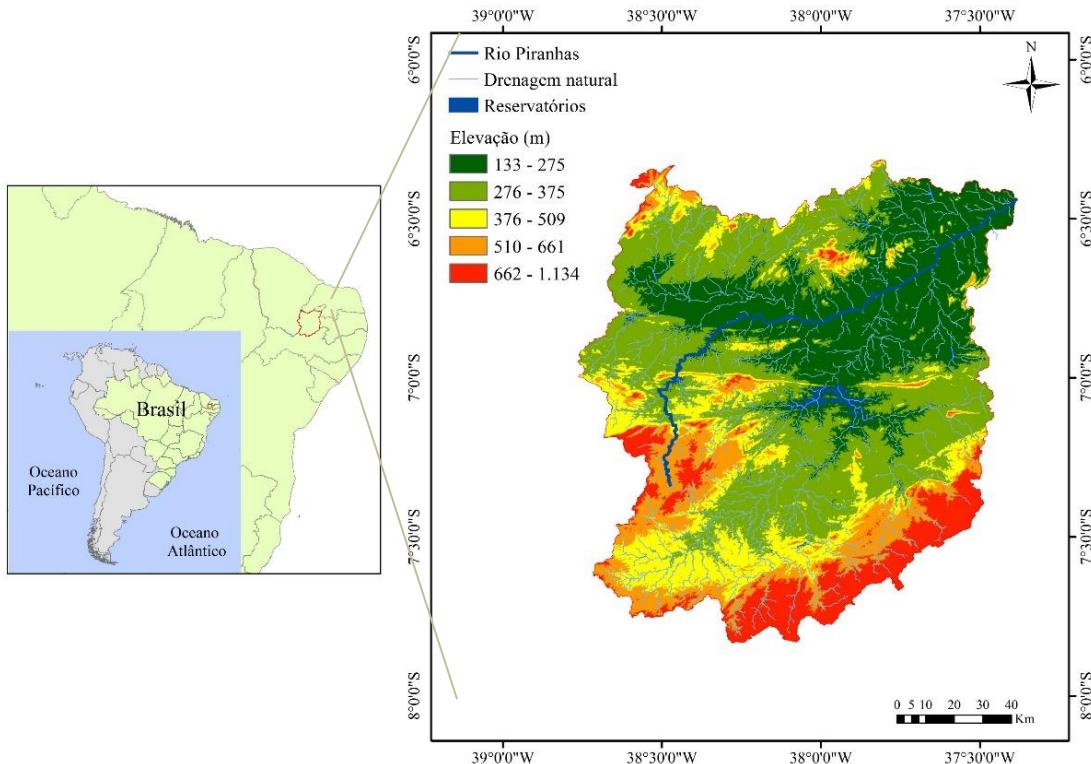
(Guo et al., 2016). Portanto, sempre são necessários registros de dados climáticos de longo prazo para o cálculo dos índices de seca.

No entanto, os postos pluviométricos geralmente são distribuídos de maneira esparsa e desigual. Além disso, são comuns longos períodos de falhas registrados nas séries históricas e a qualidade dos dados de precipitação é geralmente limitada pela baixa densidade das redes de medidores (Dinku et al., 2015). Ademais, outros fatores como atividades humanas e as mudanças climáticas podem afetar a homogeneidade dos dados (Yong et al., 2010), limitando assim os estudos sobre a seca. Nesse sentido, a utilização de séries temporais de longo prazo e de alta resolução espacial têm se tornado uma solução viável para estudos de modelagem hidrológica (Santos et al., 2019b). Mais recentemente, vários produtos de estimativa de precipitação por satélite, baseados em informações de sensoriamento remoto, foram desenvolvidos e disponibilizados, como o *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks – Climate Data Record* (PERSIANN-CDR) (Hsu et al., 1997), *Climate Prediction Center Morphing Technique – CMORPH* (Joyce et al., 2004), o *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data – CHIRPS* (Funk et al., 2015), *Climate Forecast System Reanalysis – CFSR* (Saha et al., 2010), entre outros. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar a eficiência da precipitação estimada de longo prazo para o monitoramento da seca meteorológica em região semiárida.

### **3.2 Material e Métodos**

#### **3.2.1 Área de Estudo**

A bacia hidrográfica do Rio Piranhas está localizada ao oeste do estado da Paraíba, Figura 20. Possui uma área de drenagem de 18.197,26 km<sup>2</sup>, seu clima é classificado como semiárido. A variabilidade pluviométrica anual é em torno de 700 a 900 mm (Francisco e Santos, 2017). Alguns dos usos pela extensão do sistema hídrico são: abastecimento humano, irrigação, dessedentação animal, aquicultura, lazer etc. (Cardoso et al., 2017).



**Figura 20.** Localização e altimetria da bacia hidrográfica do Rio Piranhas.

### 3.2.2 Dados

Neste estudo foi utilizado um conjunto de dados derivados de 38 pluviômetros, distribuídos por toda extensão da bacia. Os dados de precipitação das estações meteorológicas foram acessados no portal oficial da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba- AESA (<http://www.aesa.pb.gov.br/>). O período utilizado foi entre os anos de 1984 a 2017, devido a maior consistência dos dados. Dos 38 postos pluviométricos 12 (Boa Aventura, Bom Sucesso, Bonito de Santa Fé, Juru, Nazarezinho, Olho D'Água, Paulista, Piancó, São José do Rio do Peixe, São Bento, São Francisco e Serra Grande) apresentavam falhas. Para preencher essas falhas empregou-se o método de preenchimento de falhas por ponderação regional. Foram selecionados três diferentes dados de satélites para aplicação neste estudo, ambos são descritos abaixo.

Os dados CHIRPS é um conjunto dados pluviométricos desenvolvido pelo *Climate Hazards Group* (CHG), envolve uma área que se estende de 50° S a 50° N (e todas as longitudes), os dados disponíveis são desde 1981 até os dias atuais. Sua resolução espacial é de 0,05°, disponíveis no site do CHG (<ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRP/monthly/>). São produtos de alta

resolução e baseados em médias de precipitação por satélite, altitude, latitude, longitude e estação normais *in situ* (Funk et al., 2015).

A Estimativa de Precipitação de Informação Remotamente Sensível usando Redes Neurais Artificiais (PERSIANN) são conjuntos de dados de precipitação diária disponíveis a partir de 1983 até os dias atuais, sua resolução espacial é 0,25°, e compreende uma área ao longo do tempo e espaço entre 60° N e 60° S. É um algoritmo de recuperação de precipitação por satélite que se baseia na força e flexibilidade computacional das redes neurais artificiais adaptáveis (RNAs). Seu acesso é livre e está disponível ao público (<http://chrsdata.eng.uci.edu/>).

A *Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)* do *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)* foi desenvolvida para o período de 1979 a 2014. Além dos dados de precipitação diária, o sistema também possui dados de vento, umidade relativa e solar. No CFSR, o modelo atmosférico global tem uma resolução de aproximadamente 38 km com 64 níveis verticais, e o modelo oceânico possui espaçamento latitudinal de 0,25° próximo ao Equador e até 0,5° próximo aos trópicos, com 40 níveis de profundidade de 4.737 m (SAHA et al., 2010). Dados com acesso livre ao público (<https://globalweather.tamu.edu/>).

### **3.2.3 Standardized Precipitation Index – SPI**

O índice SPI foi desenvolvido por McKee et al. (1993) com o objetivo de identificar e quantificar a intensidade da seca meteorológica. Onde, um evento de seca para a escala de tempo  $i$  pode ser definido como um período em que o SPI é continuamente negativo e o SPI atinge um valor de -1,0 ou menos. O início da seca ocorre quando o SPI torna-se negativo e atinge o valor -1 ou menos, e acaba quando o valor volta apresentar valores positivos.

A formulação do índice SPI é baseada na função de densidade e probabilidade Gamma. Pode ser utilizado para monitoramento da seca em várias escalas de tempo (Yan et al., 2017), e o cálculo do SPI é obtido somente com valores de precipitação (Lyra et al., 2016).

Para o cálculo do SPI-12 e SPI-24 meses foi utilizado a versão atualizada do aplicativo *SPI Generator* do *National Drought Mitigation Center – NDMC* da Universidade de Nebraska, com acesso livre (<https://drought.unl.edu/droughtmonitoring/SPI/SPIProgram.aspx>). A descrição das

categorias de seca do SPI descrito por McKee *et al.* (1993) são apresentados na Tabela 3.

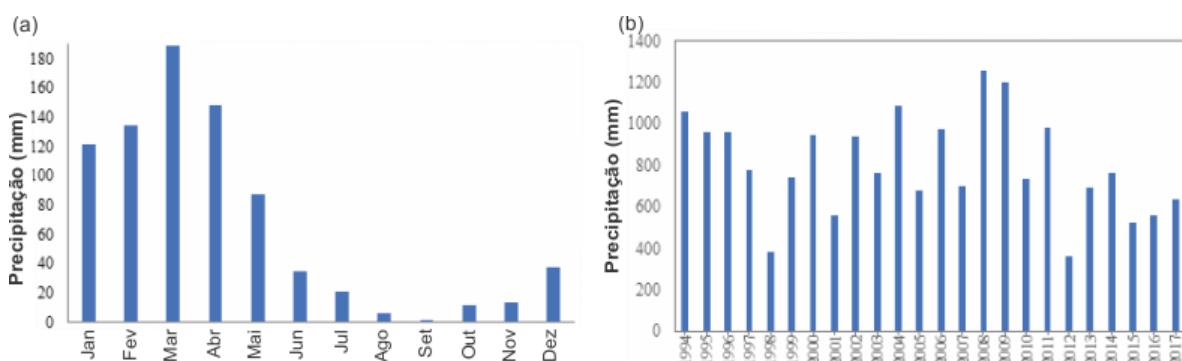
**Tabela 3.** Classificação de secas baseada no SPI (McKee et al., 1993).

SPI	Categorias da Seca
$\geq 2,0$	Chuva extrema
1,99 a 1,50	Chuva severa
1,49 a 1,0	Chuva moderada
0,99 a 0	Chuva fraca
0 a -0,99	Seca fraca
-1,00 a -1,49	Seca moderada
-1,50 a -1,99	Seca severa
$\leq -2,00$	Seca extrema

### 3.3 Resultados e Discussão

#### 3.3.1 Análise pluviométrica

Para o período analisado, a precipitação média anual na bacia do Rio Piranhas foi igual a 802,52 mm, com valores mensais superiores a 120 mm durante os meses chuvosos (janeiro, fevereiro, março e abril). Dos demais meses secos, destaca-se o trimestre que inclui agosto, setembro e outubro com menores pluviometrias registradas (Figura 21). Quanto a pluviometria anual, os anos que apresentaram maiores precipitações (acima de 900 mm) foram 1994, 1995, 1996, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2009 e 2011. O período de 2010 a 2017 foi de ocorrência de seca na região Nordeste do Brasil, com exceção de 2011, todos os demais anos registraram a precipitação abaixo do valor médio anual para o período analisado.



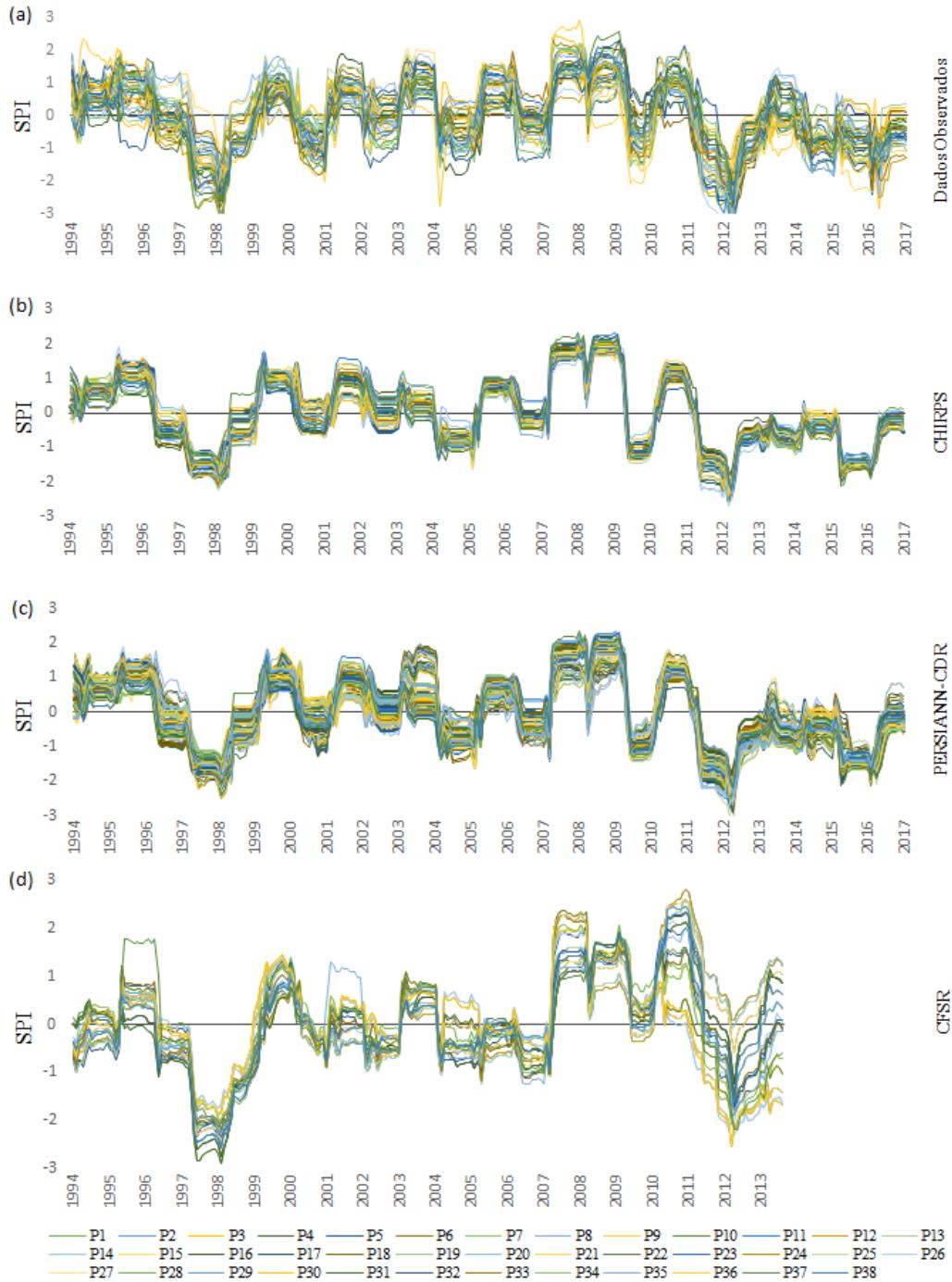
**Figura 21.** Características pluviométricas da bacia do Rio Piranhas: (a) médias mensais, e (b) totais anuais (1994–2017).

### 3.3.2 Análise da seca

Para análise dos eventos de seca foram gerados os valores de SPI-12 e SPI-24 com a série histórica dos dados observados e com os dados de satélites, o CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR, para o período de 1994-2017, com exceção do CFSR (1994-2014). Com os valores do SPI foi possível identificar a ocorrência das secas (que significa chuva acumulada abaixo da média) e também classificar suas categorias de acordo com a intensidade média do período de duração de cada evento, assim como, observar qual dos dados de previsão descreve melhor a ocorrência desses eventos.

O SPI-12 detectou a ocorrência de alguns eventos com precipitação abaixo da média, com diferentes categorias. A maior seca observado no SPI-12 foi para o P2 (município de Aguiar) com duração de 72 meses, iniciada em janeiro de 2012 e prolongada até dezembro de 2017, seu pico foi -2,57, portanto, seu maior valor equivale a categoria de seca extrema. Os principais eventos de baixa precipitação estão concentrados entre os períodos de 1997-2000 e 2012–2017. As secas mais longas foram identificadas nos postos P17 e P36 (municípios de Juru e Serra Grande, respectivamente) com início em março de 1997 e término em janeiro de 2000, ambos com picos na categoria de seca extrema.

A partir da Figura 22, podemos fazer uma análise comparativa dos eventos de seca com dados observados, CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR. De forma geral, ambos produtos descreveram os principais eventos de baixa precipitação. Porém, algumas observações são pertinentes, tais como, a superestimação da severidade de alguns eventos pelo CFSR e a ocorrência de seca com duração muito maior do que foi apontado pelos dados observados. O CHIRPS e o PERSIANN-CDR apresentaram melhores desempenhos nas descrições desses eventos. Apesar disto, ainda foi observado superestimação e/ou subestimação da severidade da seca por ambos os produtos. Para dados observados foi registrado a maior severidade da seca entre 2012-2017 no P26 (Princesa Isabel), com valor igual a -3,47 (seca extrema).



**Figura 22.** Análise da seca a médio prazo para o SPI-12 no período de 1994 a 2017 para: (a) dados observados, (b) CHIRPS, (c) PERSIANN-CDR, e (d) CFSR.

As secas detectadas no SPI-24 são aquelas que representam impactos mais significativos a longo prazo. Na Figura 23 verificamos dois eventos de maior magnitude, um com início em março de 1998 e término em maio de 2000, o segundo é iniciado em junho de 2012 e é prolongado até dezembro de 2017, ambas as secas tiveram o maior pico na categoria de seca severa. O CHIRPS e PERSIANN-CDR

descreveram as secas do SPI-24 com boa proximidade em relação aos valores dos postos pluviométricos, principalmente o evento 2012-2017, que para ambos os dados o pico da seca foi classificada como severa. O CFSR não reproduziu os eventos de forma satisfatória e obteve pior desempenho em relação aos demais produtos de satélites.

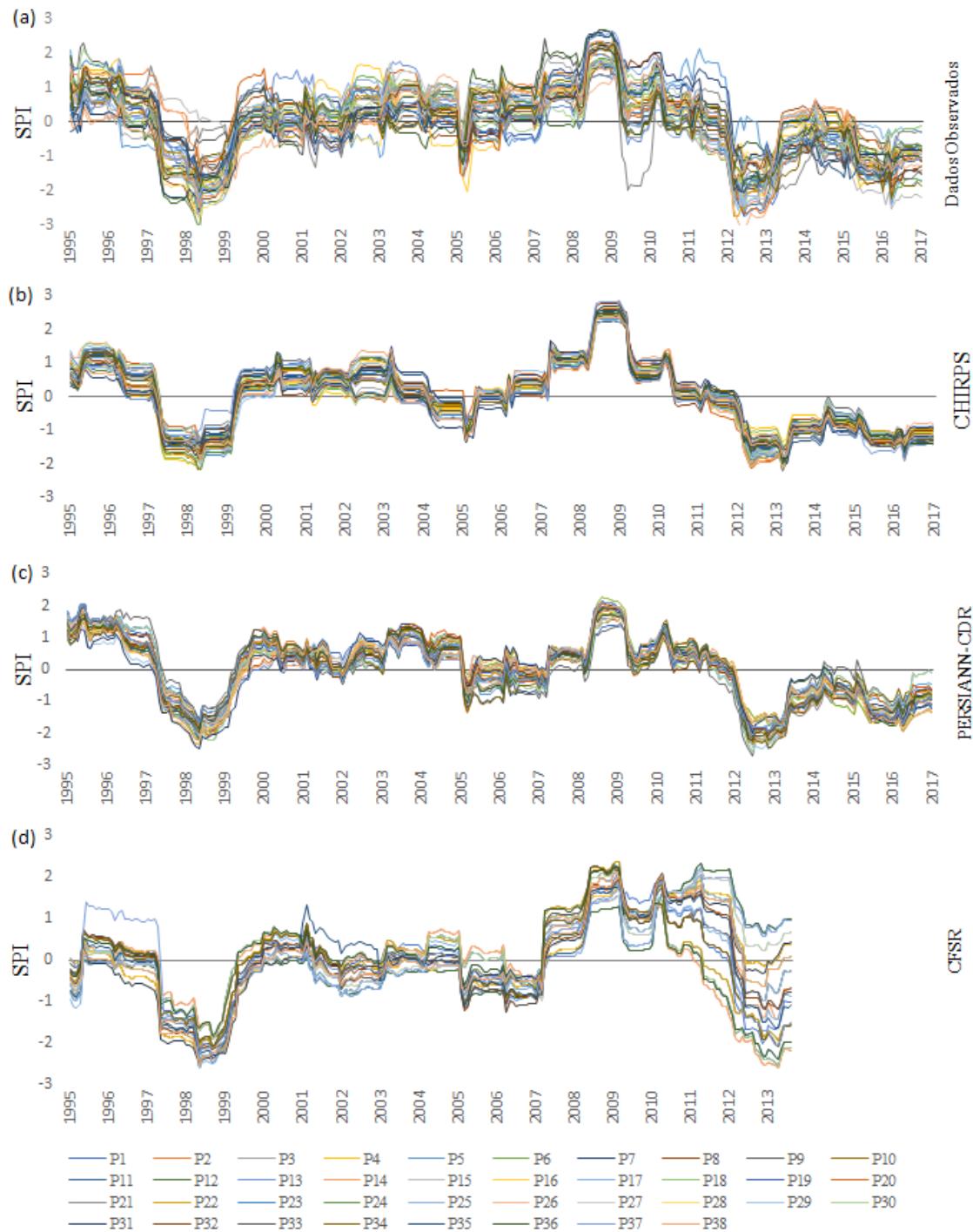
Segundo o estudo de Brasil Neto (2017), nas investigações de secas de médio-prazo (SPI-9 e SPI-12), foi verificado que a região do Sertão é consideravelmente atingida por secas severas, enquanto que na análise de longo-prazo (SPI-18, SPI-24 e SPI-48) é observado uma tendência para ocorrência de secas suaves e moderadas.

### **3.3.3 Distribuição espacial do SPI**

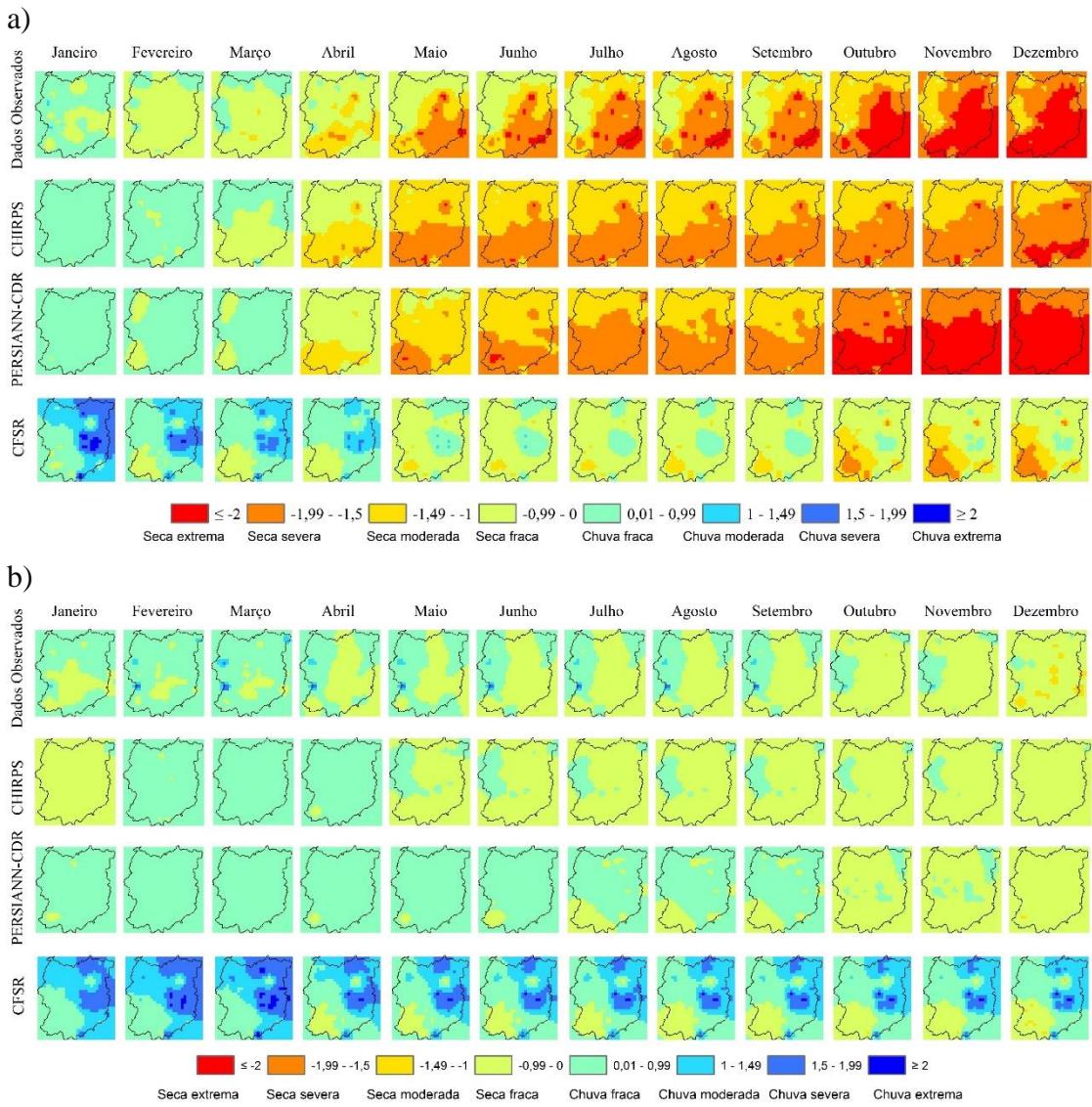
As Figuras 24 e 25 mostram a distribuição espacial dos eventos de secas de médio e longo-prazo (SPI-12 e SPI-24) dos dados observados, CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR para os anos de 2012 e 2013, respectivamente. Os anos de 2012 e 2013 obtiveram os maiores picos de seca no período entre 2012-2017, sendo 2013 ainda mais crítico do que 2013. O SPI-24 para o ano de 2012 apresentou eventos de secas mais suaves, levando em consideração que o ano de 2011 foi um ano chuvoso na bacia do Rio Piranhas. O SPI-12 do ano de 2013 registrou os maiores picos de severidade da seca nos meses de janeiro, fevereiro e março, praticamente por toda a extensão da bacia. O SPI-24 desse mesmo também detectou esse severo período de baixa pluviosidade.

Ainda nas Figuras 24 e 25 podemos avaliar a precisão de estimar os eventos de baixa pluviosidade dos dados de satélites. O comportamento dos dados CHIRPS foram similares aos dados PERSIANN-CDR, e ambos foram superiores ao CFSR que não obteve um bom desempenho, para o SPI-12 e SPI-24. Ainda que os produtos CHIRPS e PERSIANN-CDR apresentaram estimativas semelhantes, para os meses chuvosos nota-se que o CHIRPS ainda foi levemente superior ao PERSIANN-CDR.

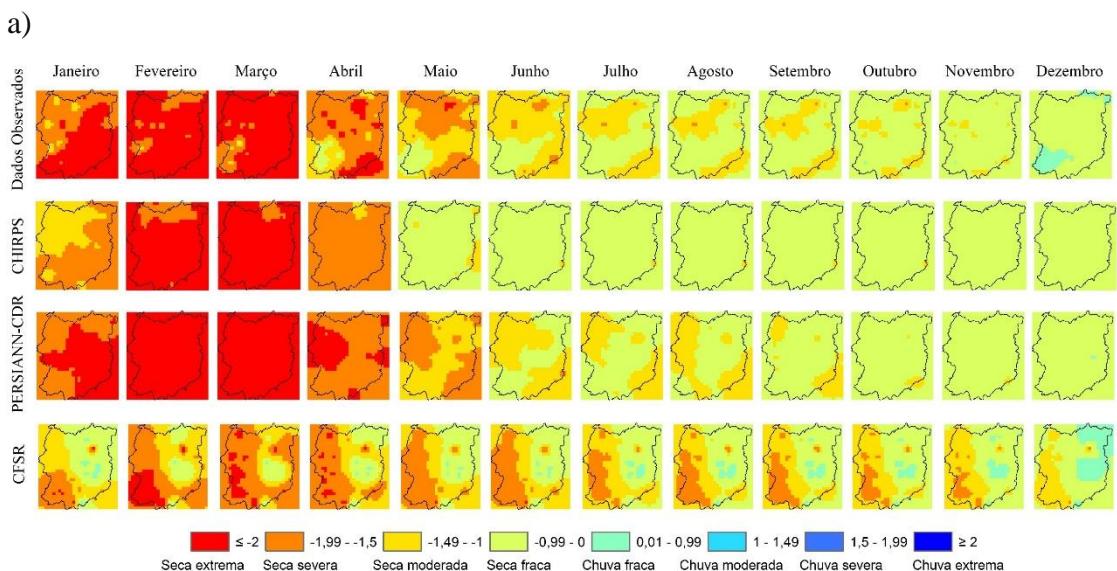
O SPI-24 do ano de 2013 foi notavelmente melhor representado pelo CHIRPS, apesar de que ainda se observa uma subestimação da severidade da seca nos meses chuvosos (janeiro, fevereiro, março e abril) e superestimação nos demais meses do ano.



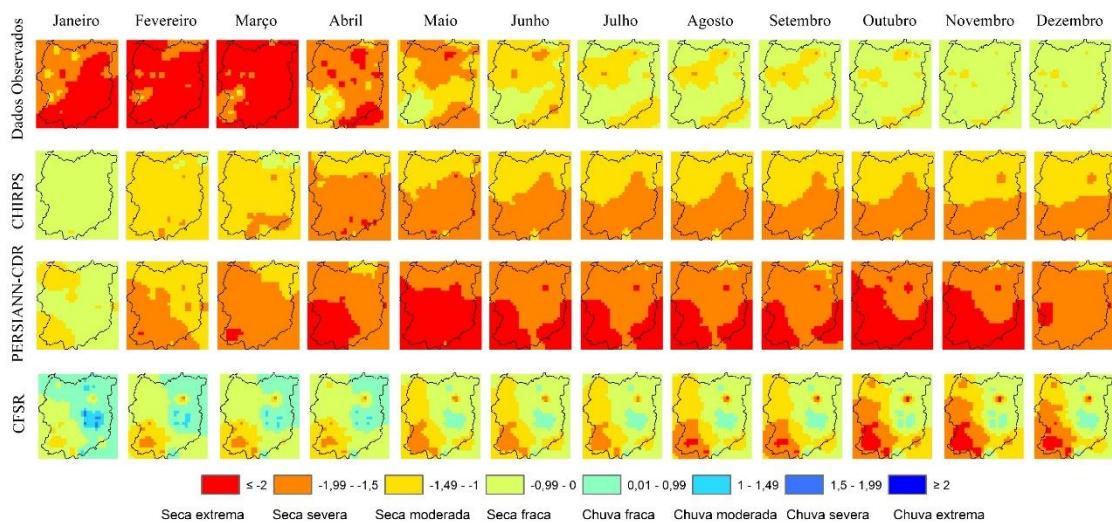
**Figura 23.** Análise da seca a longo prazo para o SPI-24 no período de 1994 a 2017 para: (a) dados observados, (b) CHIRPS, (c) PERSIANN-CDR, e (d) CFSR.



**Figura 24.** Distribuição espacial do SPI-12 (a) e SPI-24 (b) para o ano de 2012.



b)



**Figura 25.** Distribuição espacial do SPI-12 (a) e SPI-24 (b) para o ano de 2013.

### 3.4 Conclusões

A bacia do Rio o Piranhas é marcada por sua irregularidade pluviométrica, que acarreta eventos extremos como as secas. Dessa forma, é necessário esforço para compreender a ocorrência desses eventos, bem como a distribuição espaço-temporal da seca.

Os dados apontaram uma precipitação média na bacia de 802,52 mm, porém a distribuição das chuvas é de forma irregular, sendo concentradas basicamente nos quatro primeiros meses do ano (Janeiro a Abril). Os anos de 2008 e 2009 foram os que registraram maiores precipitações, ambos com pouco menos de 1200 mm anuais. Os anos que apresentaram precipitação abaixo da média foram 1997, 1998, 1999, 2003, 2005, 2007, 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017, sendo o período 2010-2017 e o mais longo.

As escalas temporais de 12 e 24 meses do SPI utilizadas detectaram os principais eventos de seca que afetaram a bacia hidrográfica do Rio Piranhas nos últimos anos (1994–2017).

Quanto aos dados de satélites, O CHIRPS descreveu os principais eventos de seca para a bacia, algumas subestimações e superestimações foram notadas. Da mesma forma como ocorreu para os dados PERSIANN-CDR, apesar de detectar os eventos foi observado algumas subestimações/superestimações dos eventos. O CFSR não descreveu de forma satisfatória a ocorrência de baixas precipitações, em sua maioria, os eventos de

seca foram prolongados e suas categorias foram subestimadas. Resumidamente, O CHIRPS e PERSIANN-CDR estimaram satisfatoriamente a ocorrência das secas, portanto, recomenda-se a utilização desses dados de previsão climática para análises mais longas dos eventos de seca na bacia do Rio Piranhas.

## Referências

Alvalá RCS, Cunha APMA, Brito SSB, Seluchi ME, Marengo JA, Moraes OLL, Carvalho MA (2019). Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 91(Suppl. 1), e20170209. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170209>

Brasil Neto, Reginaldo Moura. Análise de seca no estado da Paraíba utilizando dados do satélite TRMM 3B42 V7/ Reginaldo Moura Brasil Neto. – João Pessoa, 2017. Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

Dinku T, Alessandrini S, Evangelisti M, Rojas O (2015). A description and evaluation of FAO satellite rainfall estimation algorithm. Atmospheric Research, 163, 48–60. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.01.020>

Francisco, P. R. M.; Santos, D. **Climatologia do Estado da Paraíba**. Campina Grande: EDUFCG, 2017. 75 p.: il. <https://portal.insa.gov.br/images/acervo-livros/Climatologia%20do%20Estado%20da%20Paraiba%20editora.pdf>.

Guo H, Bao A, Liu T, Chen S, Ndayisaba F (2016). Evaluation of PERSIANN-CDR for meteorological drought monitoring over China. Remote Sensing, 8(5), 379. <https://doi.org/10.3390/rs8050379>

Hsu K-L, Gao X, Sorooshian S, Gupta HV (1997). Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 36(9), 1176–1190. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1997\)036<1176:PEFRSI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1997)036<1176:PEFRSI>2.0.CO;2)

Huffman GJ, Adler RF, Bolvin DT, Gu G, Nelkin EJ, Bowman KP, Hong Y, Stocker EF, Wolff DB (2007). The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): quasi global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. Journal of Hydrometeorology, 8(1), 38–55. <https://doi.org/10.1175/JHM560.1>

IPCC (2014). Central and South America. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. In: Barros VR et al. (Eds), Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1499–1566.

Joyce RJ, Janowiak JE, Arkin PA, Xie P (2004). CMORPH: a method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial

and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*, 5(3), 287–296. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2004\)005<0487:CAMTPG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2004)005<0487:CAMTPG>2.0.CO;2)

Lai C, Zhong R, Wang Z, Wu X, Chen X, Wang P, Lian Y (2019). Monitoring hydrological drought using long-term satellite-based precipitation data. *Science of the Total Environment*, 649, 1198–1208. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.245>

Lyra GB, Oliveira-Júnior JF, Gois G, Cunha-Zeri G, Zeri M (2016). Rainfall variability over Alagoas under the influences of SST anomalies. *Meteorog. Atmos. Phys.* 129, 157–171. <http://dx.doi.org/10.1007/s00703-016-0461-1>

Marengo JA, Alves LM, Alvalá, RCS, Cunha, AP, Brito S, Moraes, OLL (2018). Climatic characteristics of the 2010–2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(2) suppl. 1. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>

Marengo JA, Alves LM, Espinoza JC, Ronchail J (2014). Tropical South America east of the Andes, in State of the Climate in 2013. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(7), S170–S171.

Marengo JA, Bernasconi M (2015). Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. *Climatic Change*, 129, 103–115. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>

McKee T, Doesken N, Kleist J (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society, Boston, MA.

Nobre CA, Marengo JA, Seluchi ME, Cuartas LA, Alves LM (2016). Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. *Journal of Water Resource and Protection*, 8(2), 252–262. <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2016.82022>

Palmer WC (1965). Meteorological Drought. US Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, DC.

Rodrigues RR, McPhaden MJ (2014). Why did the 2011–2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast? *Geophysical Research Letters*, 41(3), 1012–1018. <https://doi.org/10.1002/2013GL058703>

Santos CAG, Brasil Neto RB, Da Silva RM, Costa SGF (2019b). Cluster Analysis Applied to Spatiotemporal Variability of Monthly Precipitation over Paraíba State Using Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Data. *Remote Sensing*, 11(6), 637–655. <https://doi.org/10.3390/rs11060637>

Santos CAG, Brasil Neto RM, Silva RM, Dos Santos DC (2019a). Innovative approach for geospatial drought severity classification: a case study of Paraíba state, Brazil. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 33, 545–562. <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-018-1619-9>

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Delimitação do Semiárido. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>> Acesso em: 23 de jan. 2020.

Vicente-Serrano SM, Beguería S, Lópezmoreno JI (2010). A Multiscalar Drought Index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>

Wang Z, Li J, Lai C, Zeng Z, Zhong R, Chen X, Zhou X, Wang M (2017). Does drought in China show a significant decreasing trend from 1961 to 2009? *Science of the Total Environment*, 579(2), 314–324.

Yan Z, Zhang Y, Zhou Z, Han N (2017). The spatio-temporal variability of droughts using the standardized precipitation index in Yunnan, China. *Nat Hazards* 88, 1023–1042 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2904-5>

Yong B, Ren LL, Hong Y, Wang JH, Gourley JJ, Jiang SH, Chen X, Wang W (2010). Hydrologic evaluation of multisatellite precipitation analysis standard precipitation products in basins beyond its inclined latitude band: a case study in Laohahe basin, China. *Water Resources Research*, 46(7). <https://doi.org/10.1029/2009WR008965>

#### 4. CONCLUSÕES

A bacia do Rio Piranhas, localizada na região semiárida Brasil, possui alta irregularidade pluviométrica e uma tendência histórica a ocorrência de eventos extremos de secas. Assim, este estudo avaliou a utilidade da estimativa das precipitações por satélite de longo prazo para o monitoramento da seca meteorológica para a bacia do Rio Piranhas.

Diante dos resultados e das discussões, pode-se concluir com este estudo que a comparação da precipitação na bacia do Rio Piranhas utilizando dados observados e de satélites de alta resolução espacial (CHIRPS, PERSIANN-CDR e CFSR) utilizando métricas estatísticas espaciais ( $R^2$ , BIAS, COE, ME e o RMSE) mostraram-se satisfatórias e podem ser utilizadas para estudos de hidrologia e modelagem hidrológica. Porém, deve-se destacar que o CFSR obteve um desempenho inferior aos demais, portanto sua utilização possivelmente resultaria em estimativas de precipitação insatisfatória. O CFSR não descreveu de forma satisfatória a ocorrência de baixas precipitações, em sua maioria, os eventos de secas foram prolongados e suas categorias foram subestimadas.

Outra conclusão é que as estimativas de secas meteorológicas utilizando precipitação estimada de longo prazo para a bacia do rio Piranhas retrataram fidedignamente os eventos de seca na bacia. Deve-se destacar também que as escalas temporais de meio e longo-prazo (SPI-12 e SPI-24) puderam detectar os principais eventos de seca que afetaram a bacia durante o período de 1994-2017, ou seja, foram eficazes na representação espaço-temporal do comportamento das secas meteorológicas na bacia do Rio Piranhas.

O comportamento espaço-temporal das secas meteorológicas descritas pelo SPI apontou que em eventos extremos como a seca 2012-2017, afeta basicamente toda a bacia. Para o SPI-12 ainda foi possível observar maiores severidades da seca na porção sul e oeste da bacia. Face ao exposto, pode-se concluir que a utilização de dados de satélites de longo prazo mostrou ser uma alternativa viável para monitorar a seca meteorológica na bacia do Rio Piranhas.