

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA REGIÃO FISIAGRÁFICA DO BAIXO SÃO FRANCISCO

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF RAIN PRECIPITATION IN THE PHYSIOGRAPHIC REGION
OF BAIXO SÃO FRANCISCO

George Antônio Jangarelli

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
george.jangarelli@igdema.ufal.br

Jório Bezerra Cabral Júnior

Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA) na Universidade Federal de Alagoas (UFAL).
jorio.cabral@igdema.ufal.br
ORCID: 0000-0002-4207-2155

Melchior Carlos do Nascimento

Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA) na Universidade Federal de Alagoas (UFAL).
melchior.nascimento@igdema.ufal.br
ORCID: 0000-0002-6547-1829

RESUMO

Estudos recentes vêm apontando que as mudanças climáticas em curso poderão resultar na redução de chuvas e aumento das secas no Nordeste brasileiro, agravando assim o quadro de vulnerabilidade hídrica, especialmente em áreas que já apresentam certo grau de susceptibilidade, como é o caso da na Região do Baixo São Francisco (RBS). O objetivo principal neste trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial e temporal das chuvas na RBS e identificar se há tendências significativas nas séries temporais. Para isso, utilizou-se uma série de dados mensais de precipitação de 1980 a 2013, cujos dados foram extraídos em 39 pontos da RBS, a partir do banco de dados de Xavier et al. (2016). Em seguida estabeleceu-se as estatísticas descritivas pluviométricas mensais, sazonais e anuais. O teste não-paramétrico de Mann-Kendall foi aplicado para identificar se há tendência. A significância estatística adotada foi de 10, 5 e/ou 1%. Os resultados mostraram que a região possui maiores quantitativos de precipitação de abril a julho, e menores de setembro a dezembro. Para a precipitação anual identificou-se acumulados que variam de 522 mm (oeste) a 1241 mm (sudeste). A análise dos anos padrão apresentou quantitativos de precipitação que vão de 230 mm a 1.100 mm no ano seco (1993), 230 mm a 1.390 mm no ano habitual (1984) e de 520 mm a 1.982 mm no ano chuvoso (1989). Por fim, o teste de Mann-Kendall mostrou a existência de tendências significativas de aumento na quantidade de precipitação (da ordem de 5,4 a 11,2 mm por ano) em 28% dos pontos analisados, os quais estão localizados em partes da porção oeste, central, leste e sudeste da RBS.

Palavras-chave: chuva, bacia hidrográfica, semiárido, tendência.

ABSTRACT

Recent studies have been pointing out that ongoing climate changes may result in a reduction in rainfall and an increase in droughts in the Brazilian Northeast, thus aggravating the situation of water vulnerability, especially in areas that already present a certain degree of susceptibility, as is the case in the Region of Baixo São Francisco (RBS). The main objective of this work was to characterize the spatial and temporal variability of rainfall in the RBS and identify whether there are significant trends in the time series. For this, a series of monthly precipitation data from 1980 to 2013 was used, whose data were extracted from 39 points of the RBS, from the database of Xavier et al. (2016). Then, the monthly, seasonal and annual rainfall descriptive statistics were established. The non-parametric Mann-Kendall test was applied to identify whether there is a trend. The adopted statistical significance was 10, 5 and/or 1%. The results showed that the region has higher amounts of precipitation from April to July, and lower from September to December. For annual precipitation, accumulated values ranging from 522 mm (west) to 1241 mm (southeast) were identified. The analysis of standard years showed precipitation amounts ranging from 230 mm to 1,100 mm in the dry year (1993), 230 mm to 1,390 mm in the usual year (1984) and from 520 mm to 1,982 mm in the rainy year (1989). Finally, the Mann-Kendall test showed the existence of significant trends of increase in the amount of precipitation (on the order of 5.4 to 11.2 mm per year) in 28% of the analyzed points, which are located in parts of the western, central, eastern and southeastern portion of RBS.

Keywords: rain, watershed, semiarid, trend.

1. Introdução

O conhecimento da variabilidade da precipitação pluvial é um dado primordial para o planejamento e o manejo em diferentes seguimentos de uma sociedade. De acordo com Medeiros et al. (2017) conhecer essa distribuição espacial é relevante dentre outras aplicações, para o

manejo de atividades agrícolas (CABRAL JÚNIOR et al., 2019) e tomadores de decisões de algumas atividades econômicas, tais como: a construção civil, empresas de energia elétrica, modelagem hidrológica, entre outras (MEDEIROS et al., 2021; RODRIGUES et al., 2021).

Para além destas questões, atualmente o conhecimento da dinâmica das chuvas tem se mostrado essencial diante das mudanças que vem sendo observadas na dinâmica climática global. De acordo com o IPCC (2021) as altas taxas de CO₂ e outros gases do efeito estufa lançados pelas atividades humanas desde a revolução industrial são responsáveis por um aumento de aproximadamente 1,1 grau temperatura média do planeta. Tal aumento continuará a ocorrer caso as emissões não sejam reduzidas adequadamente, e poderá ser de até 4,4°C até 2100. Como consequência, acredita-se que haverá um aumento significativo na frequência de eventos climáticos catastróficos, além de alterações ambientais que poderão resultar na redução das chuvas em diversas regiões e excesso em outras, impactando assim o meio ambiente e a sociedade. Por isso o conhecimento sobre o regime pluvial é de extrema importância, pois afeta na disponibilidade hídrica, no manejo da agricultura, na produção de energia, no abastecimento humano e animal, entre outros (CABRAL JÚNIOR; BEZERRA, 2018; GOMES; LIMA, 2021; MEDEIROS et al., 2021; RODRIGUES et al., 2021; SIILVA et al., 2022; VALE et al., 2022; SANTOS et al., 2022).

De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA, 2012) estudos mais detalhados sobre os impactos das mudanças climáticas na América do Sul indicam que o Nordeste do Brasil (NEB) já apresenta um quadro de aumento da temperatura média do ar (CARVALHO et al., 2019; CABRAL JÚNIOR; LUCENA, 2021; SANTOS et al., 2022) e tendências significativas nos índices de precipitação pluvial, especialmente na Bacia Hidrográfica do São Francisco (BEZERRA et al. 2018; CARVALHO et al., 2019). Tendências em séries temporais das chuvas também têm sido analisadas no estado do Ceará (DA SILVA, 2016; HIERA et al., 2019), em Pernambuco (BEZERRA et al., 2021), no estado da Bahia (POUSA et al., 2019; SOUZA; NASCIMENTO, 2021), Rio Grande do Norte (CABRAL JÚNIOR; LUCENA, 2020), entre outros.

Entre as áreas que apresentam maior suscetibilidade aos riscos associados as mudanças climáticas no Nordeste, destaca-se a Região Fisiográfica do Baixo São Francisco. De acordo com o MMA (2016) o Baixo São Francisco compreende a área onde se localizam os menores índices pluviométricos da bacia, com destaque para o sertão do Baixo São Francisco, área que é periodicamente atingida por longos períodos de secas. Nesta região, o período anual de maior pluviosidade ocorre entre abril e julho, e o período seco é de 4 meses na faixa litorânea, podendo chegar a 7 meses secos na região do semiárido (Junqueira, 2002).

Além da baixa disponibilidade hídrica, recentemente o Baixo São Francisco também tem apresentado problemas hídricos ligados a atuação das usinas hidrelétricas da Companhia

Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), que vem provocando alterações no padrão natural das vazões, reduzindo a sua magnitude e variabilidade sazonal e interanual (Medeiros et al., 2014). Como consequência da redução das vazões, verifica-se uma diminuição da capacidade produtiva dos setores econômicos que dependem da flutuação dos níveis de água para o seu desenvolvimento adequado, como o cultivo de arroz e a piscicultura, por exemplo, e, logicamente, uma diminuição nos índices de desenvolvimento humano da população da região (Cunha, 2015).

Diante das questões apresentadas, observa-se que o Baixo São Francisco é uma área que apresenta sérias vulnerabilidades hídricas que podem se agravar nos próximos anos, caso as mudanças na climatologia pluvial, previstas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) se concretizem. Além disso, a redução de vazões do baixo curso do Rio São Francisco tende a se intensificar, podendo comprometer a segurança hídrica.

Visando contribuir com o enfrentamento destas questões, a presente pesquisa tem como objetivo geral, caracterizar a variabilidade espacial e temporal das chuvas no Baixo São Francisco no período de 1980 a 2013 e verificar se há tendências nas séries temporais.

2. Materiais e métodos

2.1. Localização da área de estudo

A Região Fisiográfica do Baixo São Francisco localiza-se na região Nordeste do Brasil, entre as coordenadas 8° e 11° de latitude sul e 36° e 39° de longitude oeste (figura 1).

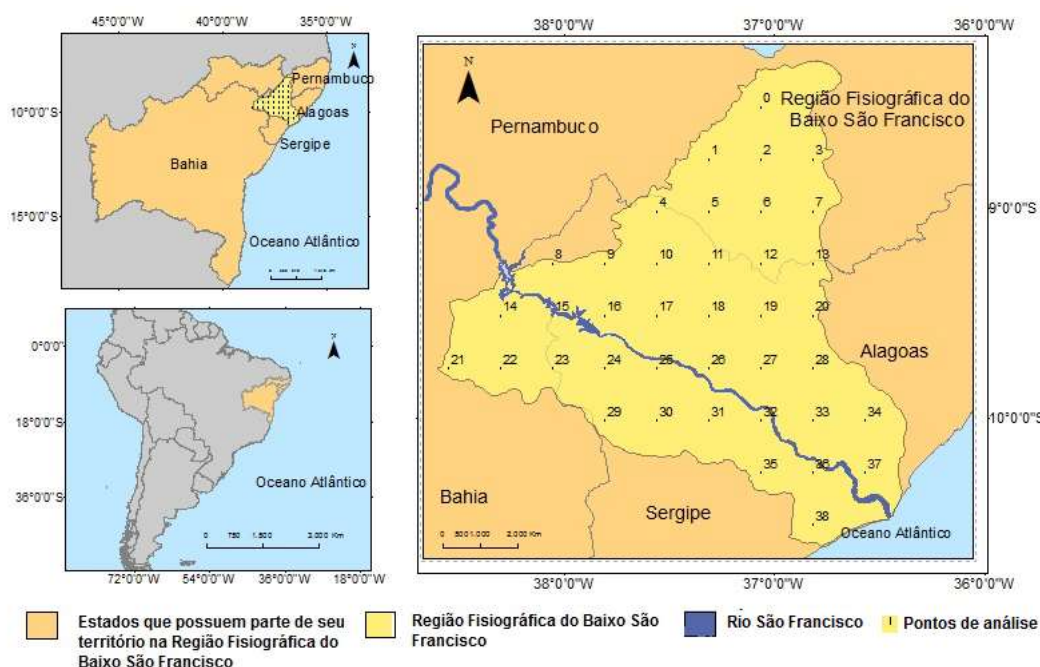


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte próprio autor, 2022.

2.2. Aspectos socioeconômicos

A Região Fisiográfica do Baixo São Francisco consiste num total de 95 municípios, que abrigam uma população de aprox. 1,4 milhões de habitantes, dos quais 440.000 residem em áreas ao longo do rio São Francisco. Dessa população total, cerca de 51% reside em áreas rurais e o restante está situado em zonas urbanas (Junqueira, 2002). A economia apresenta predomínio da agricultura de sequeiro e agricultura irrigada (cana, feijão, milho, mandioca, algodão, sisal, banana, abacaxi, fumo, hortaliças e café). O rio São Francisco também cumpre importante papel socioeconômico em toda a região fisiográfica. Seus principais usos são o abastecimento de água para populações urbanas, diluição de efluentes domésticos, abastecimento de agricultura irrigada, plantio de culturas de ciclo curto, pesca, aquicultura, ecoturismo, navegação e exploração da hidroeletricidade através da Usina de Xingó (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003). Quanto ao índice de desenvolvimento humano (IDH) nesta região, os valores registrados em 2010 apresentam uma média de até 0,57, a qual está bastante abaixo da média observada no Alto São Francisco, que é de 0,75 PNRH (2016).

2.3. Aspectos físico-ambientais

A área de estudo está inserida sob o ponto de vista litológico na província estrutural da Borborema, que é formada por rochas metamórficas oriundas das colisões das placas tectônicas ocorridas durante o ciclo Brasileiro. Toda a sedimentação dessa área foi dada nos períodos jurássico e cretáceo. Em relação a geomorfologia, o Baixo São Francisco é formado por quatro unidades: Depressões (aproximadamente 59% da área); Planaltos (aproximadamente 50% da área); Tabuleiros (aproximadamente 27% da área); Planícies (aproximadamente 4%) (MMA, 2016).

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, os tipos climáticos predominantes na região do Baixo São Francisco são o semiárido quente (BSh) e o tropical semiúmido (As). O Semiárido quente predomina de Piranhas – AL a Traipu - AL, onde temperatura média anual é de 26 °C e a precipitação média anual de aproximadamente 600 mm, com período chuvoso de março a agosto. Já o tropical semiúmido predomina de Propriá, SE, à foz do Rio São Francisco, com temperatura média anual de 26 °C, precipitação média anual de aproximadamente 1200 mm e período chuvoso de março a agosto (SEPLANTEC, 2000).

No que diz respeito a hidrografia do Baixo São Francisco, uma das principais características é a predominância de rios intermitentes ou temporários, fato que está relacionado

às condições litológicas e climáticas presentes no leito destes rios, estando estes encaixados em rochas sedimentares que atuam como acumuladores de água nos seus perfis e porque parte inferior do curso d'água não está sob influência do clima semiárido, fazendo com que eles sejam perenes. Do total de bacias que desaguam no rio São Francisco, apenas sete rios dispõem de água durante praticamente todos os meses do ano, são eles os rios: Boacica, Perucaba, Piauí, Itiúba, Jacaré, Betume e Pilões (Nascimento, 2013).

Quanto aos tipos de solos encontrados no baixo São Francisco, podem ser encontrados vinte e dois tipos, dos quais predominam as classes Neossolo litólico eutrófico (26,31% da área), Planossolo háplico eutrófico (26,09%), Neossolo regolítico eutrófico (15,84%), Argissolo vermelho-amarelo distrófico (7,57%), Luvisolo crômico órtico (5,70%), Argissolo vermelho-amarelo eutrófico (4,46%), Latossolo amarelo distrófico (3,18%), Neossolo regolítico distrófico (1,87%) (MMA, 2016).

2.4. Procedimentos metodológicos

2.4.1. Aquisição de dados

Inicialmente foram obtidos dados de precipitação pluviual referentes ao período de 1980 a 2013 a partir da base de dados climatológicos disponibilizada por Xavier et al. (2016). Esta base de dados consiste em uma grade georreferenciada de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, com valores diários e mensais de precipitação, obtidos a partir dos melhores resultados de interpolações realizadas por métodos como média aritmética, vizinho natural, IDW (inverso da distância ao quadrado) e krigagem ordinária. Para representar adequadamente toda a área de estudo a partir destes dados foi necessário obter séries históricas em um total de 39 pontos.

2.4.2. Análise estatística

Em uma etapa seguinte, todos os dados obtidos foram organizados em planilhas do Microsoft Excel. Em seguida, foram calculadas as estatísticas descritivas (média, desvio padrão e coeficiente de variação) para os dados em conjunto e também para cada um dos pontos de precipitação. Por fim, os resultados estatísticos foram organizados em forma de tabela.

A média é uma medida de tendência central, que segundo Piana (2013) têm o objetivo de representar o ponto de equilíbrio ou o centro de uma distribuição. Para o caso específico desta análise, foi utilizada a média aritmética, a qual pode é obtida através da equação 1:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

em que \bar{X} representa a soma dos valores observados da variável X e n representa o número de valores do conjunto de dados.

O desvio padrão é definido como a raiz quadrada da variância. É utilizado para medir a variação dos dados, ou, o grau de afastamento das observações em relação à média. O desvio padrão é obtido através da equação 2:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad (2)$$

em que S é o desvio padrão de um determinado conjunto de dados, que depende da quantidade destes dados (N) e da sua média (\bar{X}).

O coeficiente de variação é a medida mais utilizada quando existe interesse em comparar variabilidades de diferentes conjuntos de dados (Piana, 2013). O coeficiente de variação é obtido através da equação 3:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \quad (3)$$

em que CV é o coeficiente de variação de um determinado conjunto de dados, obtido pela divisão de S (desvio padrão) e \bar{X} (média).

Para representar a variabilidade das chuvas foram elaborados mapas de isoietas referentes as médias mensais, sazonais, anuais. Também foram elaborados mapas para representação da precipitação em anos padrão (seco, habitual e chuvoso). A elaboração dos mapas se deu a partir da extensão “*Geostatistical Analyst*”, que faz parte do SIG Arcgis 10.1. O método de interpolação utilizado para gerar as isoietas de precipitação foi a krigagem ordinária. Segundo Flores (2000), “a krigagem é um processo de estimação de valores de observações distribuídas espacialmente, a partir de valores adjacentes”. De acordo com Yamamoto (2020) o

estimador da krigagem ordinária é baseado na equação da média ponderada, podendo ser obtido através da equação 4:

$$Z * (Xo) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(Xi) \quad (4)$$

em que λ_i , $i=1, n$ são os pesos da krigagem ordinária associados aos n pontos de dados e xo é o valor da variável de interesse em um ponto não amostrado.

O número de classes de precipitação pluvial foi calculado através da fórmula de Sturges (1926, apud GERARDI, 1981, p.34) utilizando se para isso o Microsoft Excel. A equação de Sturges é expressa por:

$$K = 1 + 3,322 * \log_{10}(N) \quad (5)$$

em que K é o número de classes, N é o total de observações na amostra e \log é o logaritmo comum da base 10.

Após a definição do número de classes foi necessário determinar sua amplitude. A amplitude é a diferença do limite superior e inferior da classe, dividida pelo número de classes, e pode ser obtida pela equação:

$$\Delta = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{K} \quad (6)$$

A partir dos mapas gerados foi realizada uma análise climatológica visando caracterizar a variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial. Tal análise inicia-se com a apresentação dos mapas que representam a variabilidade média mensal da precipitação pluvial. Foi elaborado um total de doze mapas, cada um representando um respectivo mês do ano. Esta análise busca caracterizar quais os meses mais e os menos chuvosos, bem como, a distribuição espacial da precipitação pluvial em cada um.

Na sequência foram gerados os mapas que representam as médias sazonais de precipitação na área de estudo. Para esta análise foram elaborados 4 mapas, cada um representando uma respectiva estação do ano. Nesta etapa são discutidas as particularidades da distribuição especial da precipitação em cada estação.

Para a análise da precipitação anual foram elaborados 4 mapas: um para representação das isoietas médias anuais e os outros três para representação dos anos padrão (seco, habitual e

chuvoso). Para apoiar esta análise, inicialmente é apresentada uma tabela contendo os resultados dos parâmetros estatísticos calculados para cada um dos 39 pontos. Logo em seguida é apresentado o mapa contendo as isoietas médias anuais de precipitação, o qual discute a localização de pontos de baixa, média e alta precipitação destacados na tabela.

Com o intuito de se analisar a variabilidade interanual da precipitação foi elaborado no Microsoft Excel um gráfico de barras para representar simultaneamente os totais de precipitação referentes a cada ano. A partir deste gráfico foi possível comparar os totais anuais e escolher no conjunto três anos, cada um destes representando um padrão de precipitação (seco, habitual e chuvoso).

Por fim, foi realizada a análise das possíveis tendências significativas das séries temporais das chuvas e vazões através do método de Mann-Kendall. O teste de Mann-Kendall é um teste não-paramétrico (Mann, 1945; Kendall, 1975), sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais. A estatística do teste é dada pelas equações 7,8, 9 e 10:

$$S = \sum_{i=n}^{n-1} \sum_{i+1}^n \text{sng}(x_j - x_i) \quad (7)$$

em que S é o resultado da soma das contagens de $(x_j - x_i)$; x_j é o primeiro valor após x_i , n é o número de dados da série temporal. Para cada par de dados são atribuídos os seguintes valores:

$$\text{sng}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & \text{se } x_j - x_i > 0 \\ 0, & \text{se } x_j - x_i = 0 \\ -1, & \text{se } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (8)$$

A distribuição de probabilidade da estatística S tende à normalidade quando há grandes amostras de observações (n), com média zero e variância dada por:

$$\text{Var}(S) = \frac{\{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m [t_i(t_i-1)(2t_i+5)]\}}{18} \quad (9)$$

em que (t_p) e número de dados com valores iguais num certo grupo (p_{th}) e q é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo p.

O teste estatístico parametrizado (ZMK) e computado pela seguinte equação:

$$Z_s = \begin{cases} \frac{s - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (10)$$

(10)

A hipótese nula de ausência de tendência (H_0), é rejeitada sempre que $|Z| > Z_{\alpha/2}$, em que α é o nível de significância adotado e $Z_{\alpha/2}$ é o valor crítico de Z a partir da tabela padrão normal. Nesta pesquisa considerou-se os níveis significância estatística de 5 e ou 10%. Os valores positivos de Z indicam tendências crescentes, enquanto que os valores negativos indicam tendências decrescentes.

3. Resultados

3.1. Análise da variabilidade mensal da precipitação pluvial na Região Fisiográfica do Baixo São Francisco.

Inicialmente foram elaborados um conjunto de 12 mapas de isoietas para representação da variabilidade média mensal da precipitação no BSF. A seguir, a Figura 2 apresenta os referidos mapas de precipitação média mensal.

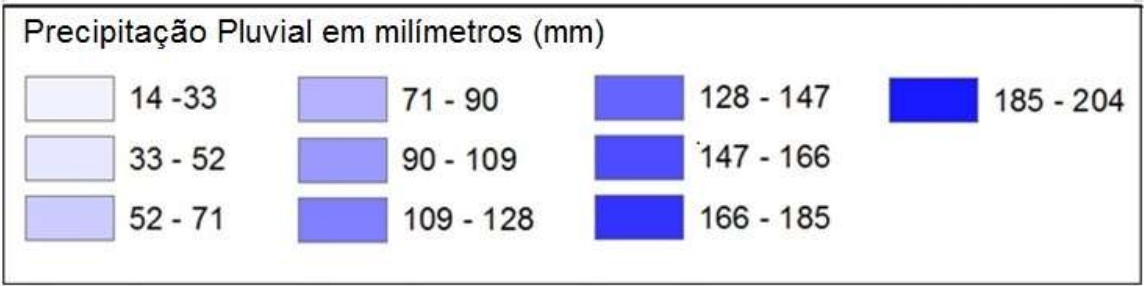
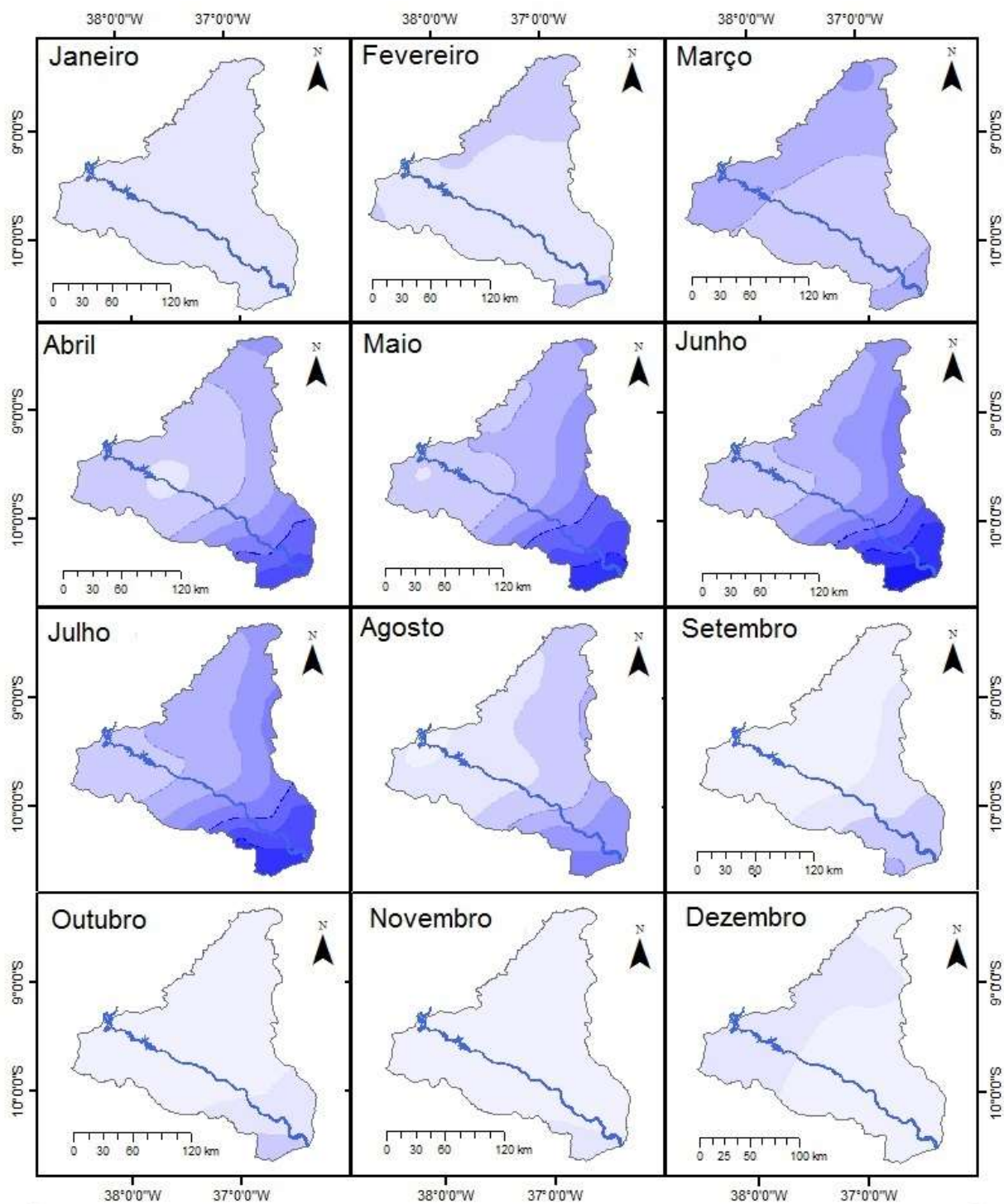


Figura 2. Variabilidade média mensal da precipitação pluvial na região do Baixo São Francisco. Fonte próprio autor, 2022.

Observa-se que o período mais chuvoso no Baixo São Francisco se concentra entre abril e julho, enquanto o menos chuvoso ocorre entre setembro e dezembro. Os meses fevereiro e março apresentam valores de precipitação mais elevados em relação aos meses mais secos em trechos da porção oeste, norte e leste. O aumento gradual da precipitação nestes meses demarca a transição do período menos chuvoso para o mais chuvoso.

O mês de agosto apresenta uma redução da precipitação em relação aos meses anteriores que são mais chuvosos, demarcando a transição do período chuvoso para o seco. A distribuição espacial da precipitação nos meses mais chuvosos apresenta um padrão de maior variabilidade espacial e valores mais elevados de precipitação na porção sudeste e menor variabilidade e concentração dos menores valores de precipitação na porção oeste.

3.2. Análise da variabilidade sazonal da precipitação pluvial na Região Fisiográfica do Baixo São Francisco

A seguir, a Figura 3 apresenta os mapas de isoietas referentes a análise da precipitação sazonal.

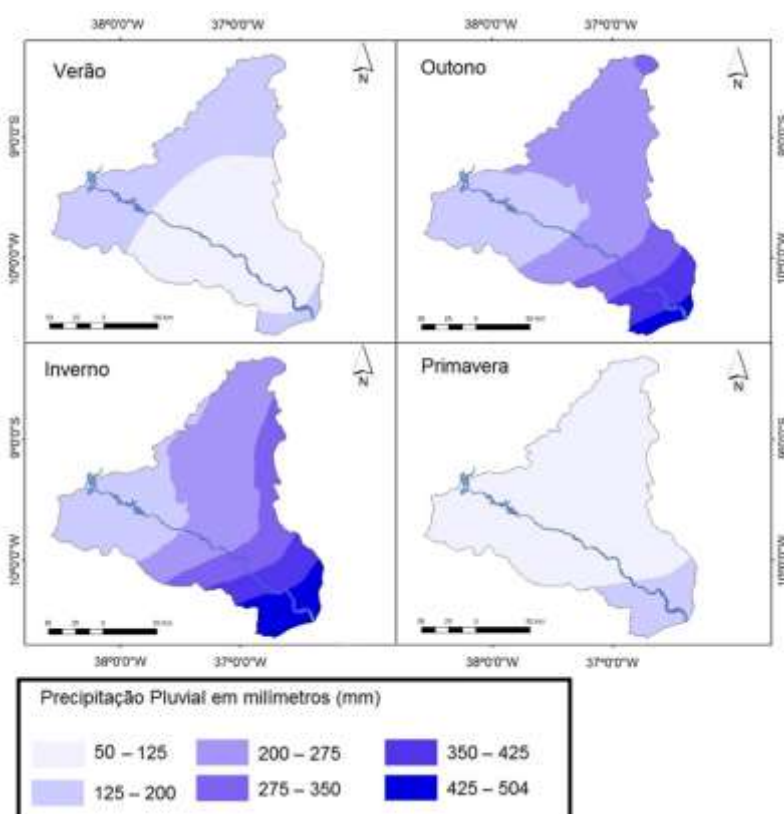


Figura 3. Variabilidade sazonal da precipitação pluvial na região do Baixo São Francisco. Fonte próprio autor, 2022.

Conforme é mostrado na Figura 3, as estações primavera e verão abarcam o período menos chuvoso do ano, no qual a precipitação varia de 50 mm a 200 mm. Já as estações outono e inverno abarcam o período mais chuvoso, que apresenta variação de 125 mm a 504 mm de precipitação.

Na primavera, observa-se que a faixa de precipitação que vai de 50 mm a 125 mm se estende por praticamente toda a região fisiográfica, com exceção de uma pequena faixa na porção leste, que apresenta precipitação na faixa de 125 mm a 200 mm.

No verão, toda a porção oeste, norte e uma pequena faixa na porção sudeste encontram-se dentro da faixa de precipitação que vai de 125 mm a 200 mm, enquanto a porção central e parte da porção sudeste apresentam precipitação de 50 mm a 125 mm.

Nas estações outono e inverno, a precipitação apresenta um padrão de distribuição espacial semelhante ao observado anteriormente nos meses mais chuvosos (maior quantidade na porção sudeste menor variabilidade e quantidade na porção oeste). Ao longo destas estações, a precipitação varia de 275 mm a 504 mm na porção leste, enquanto na porção oeste, a variação é de 125 mm a 200 mm. Essas estações também apresentam uma faixa de precipitação que abarca toda a porção norte e central do Baixo São Francisco, onde a precipitação varia de 200 mm a 275 mm.

3.3. Análise estatística dos totais anuais de precipitação pluvial

Verifica-se na Tabela 1 os pontos que apresentam quantitativo de precipitação inferior a 600 mm/ano, sendo os seguintes pontos (destacados com a cor laranja): 8, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 29. Destaca-se que a média geral da precipitação, para toda a área é de 692,8 mm/ano. Nestes pontos, os valores de desvio padrão variaram de 151,6 mm a 175,6 mm e o coeficiente de variação variou de 28,7% a 31,9%.

Os pontos 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 19, 20, 27, 28, 30, 31 e 32 (destacados com a cor cinza) apresentaram médias de precipitação entre 600 mm e 800 mm, que são valores mais próximos a média geral. Nestes pontos, os valores de desvio padrão variaram de 173,7 mm a 220,3 mm e o coeficiente de variação variou de 24,6% a 32,6%.

Ao analisar as tendências, constatou-se que predominantemente as tendências significativas a 5% ou 10%, foram observadas em 28% dos pontos analisados, cujas sinais foram positivos, ou seja, com aumento na quantidade de precipitação, com acréscimo que variou de 5,4 a 11,2 mm por ano.

Tabela 1. Estatísticas da precipitação acumulada anual da região Fisiográfica do Baixo São Francisco. Período de 1980 a 2013.

Pontos	Média (mm)	Desvio padrão (mm)	Coefficiente de variação (%)	Estatística Z (Mann-Kendall)	Magnitude (mm)
0	673	209,5	31,1	0,30	-
1	621,1	186,4	30	-0,24	-
2	663,9	193,8	29,1	-0,33	-
3	732,9	201,4	27,4	0,68	-
4	610,9	192,6	31,5	1,04	-
5	638,7	188,2	29,4	0,59	-
6	659,7	196,5	29,7	-0,62	-
7	758,8	202,5	26,6	0,98	-
8	526,4	168,1	31,9	0,18	-
9	649,8	209,6	32,2	1,88*	7,5
10	619,8	181,7	29,3	1,81*	6,3
11	638,4	208,2	32,6	1,84*	8,2
12	666,2	216,4	32,4	1,75*	8,0
13	768,3	220,3	28,6	2,10**	8,3
14	522,3	166,6	31,9	-0,47	-
15	531,3	169,9	31,9	-0,15	-
16	524,6	157,3	29,9	1,01	-
17	538,7	159,2	29,5	1,10	-
18	582,4	173,1	29,7	1,39	-
19	634,7	178,3	28	2,06**	7,5
20	737,4	202,5	27,4	2,16**	8,5
21	541,3	158,3	29,2	0,03	-
22	543,8	161,0	29,6	0,24	-
23	532,5	162,0	30,4	0,30	-
24	527	151,6	28,7	0,60	-
25	549,6	163,2	29,7	1,20	-
26	582,8	175,6	30,1	1,28	-
27	639,9	173,7	27,1	1,59	-
28	731,3	184,1	25,1	1,72*	5,4
29	585	168,8	28,8	-0,31	-
30	661,6	186,6	28,2	-0,15	-
31	737,5	195,6	26,5	-0,06	-
32	787	194,2	24,6	1,07	-
33	819,4	207,4	25,3	1,87*	5,4
34	1024	241,0	23,5	1,45	-
35	1089,2	273,7	25,1	0,21	-
36	1015,2	237,5	23,4	1,72*	7,2
37	1110,6	278,3	25	1,60	-
38	1241,4	280,9	22,6	2,08**	11,2

*significativo a 10%. **significativo a 5%.

Por fim, os pontos (destacados com a cor azul) 33, 34, 35, 36, 37 e 38 apresentaram médias acima de 800 mm. Os valores de desvio padrão variaram de 207,4 a 280,9 e o coeficiente de variação variou de 22,6% a 25,3%.

3.4. Variabilidade espacial das médias anuais

Visando complementar a análise anterior, foi elaborado um mapa para representação da variabilidade espacial das médias anuais de precipitação (1980-2013). O referido mapa é apresentado a seguir, na Figura 4.

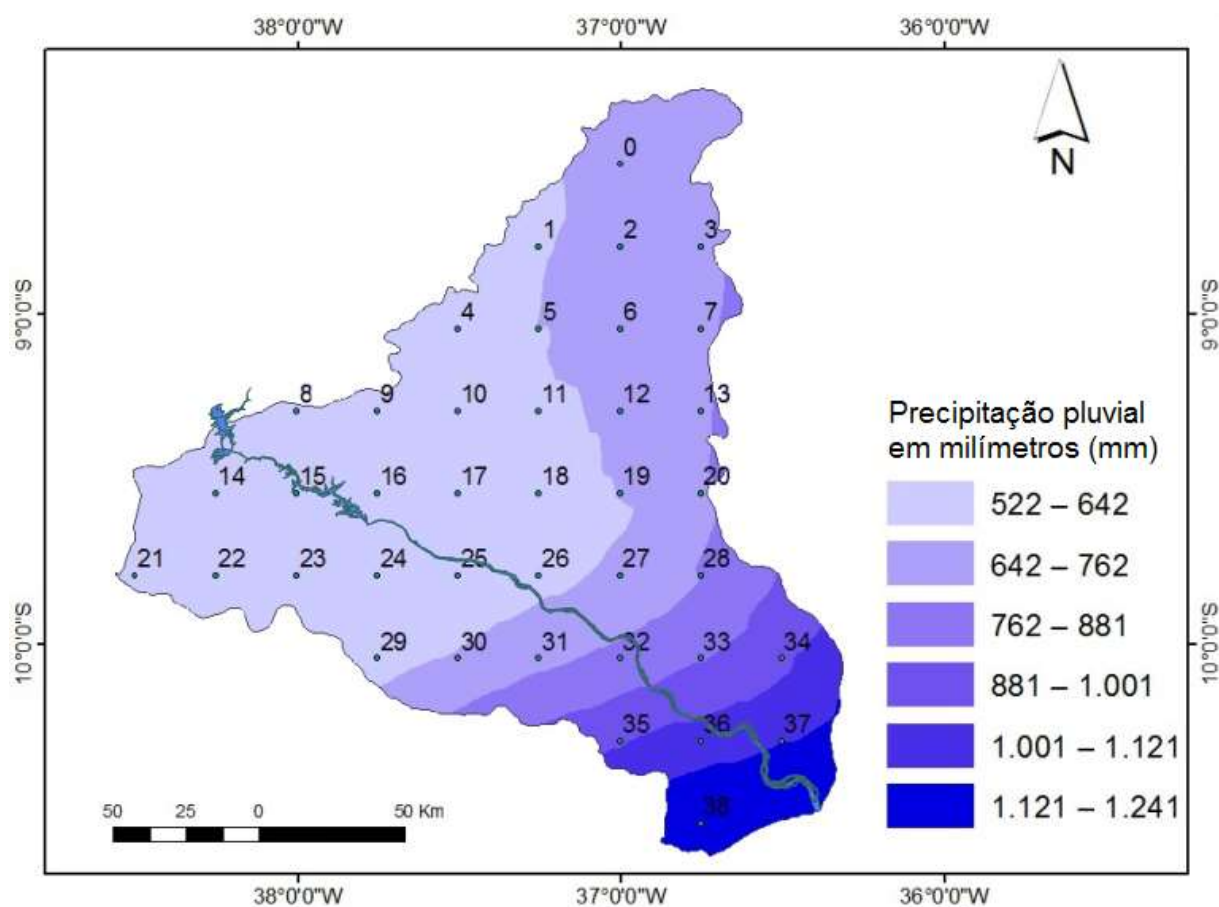


Figura 4. Variabilidade média anual da precipitação pluvial na região do Baixo São Francisco. Fonte próprio autor, 2022.

A análise da Figura 4 permite observar que as chuvas no Baixo São Francisco apresentam um padrão de distribuição espacial que já foi observado anteriormente na representação dos meses chuvosos (Abril, maio, junho e julho), ou seja, maior variabilidade e concentração dos valores mais elevados de precipitação nas porções sul e leste, menor variabilidade e

concentração dos menores valores de precipitação na porção oeste.

. Como pode ser observado na figura 4, a porção leste divide-se em 4 diferentes faixas de precipitação que variam de 762 mm até 1.241 mm (sudeste). A porção oeste apresenta uma única faixa de precipitação variando de 522 a 642 mm. Nota-se que esta faixa é a que possui a maior extensão espacial entre todas as observadas. Ao longo desta faixa estão situados todos os pontos abaixo da média citados na tabela 1.

A Figura 4 também permite observar uma segunda grande faixa de precipitação distribuindo-se em trechos da porção norte, central e sul do Baixo São Francisco. Esta faixa abrange os pontos que apresentaram médias de precipitação entre 642 e 762 mm, sendo assim, é a área onde se localizam os pontos com valores mais próximos da média geral de 692,8 mm.

3.5. Análise da variabilidade anual das chuvas

3.5.1. Variabilidade interanual da precipitação pluvial entre os anos 1980 e 2013.

A seguir, a figura 5 apresenta as variações interanuais da precipitação para toda a região.

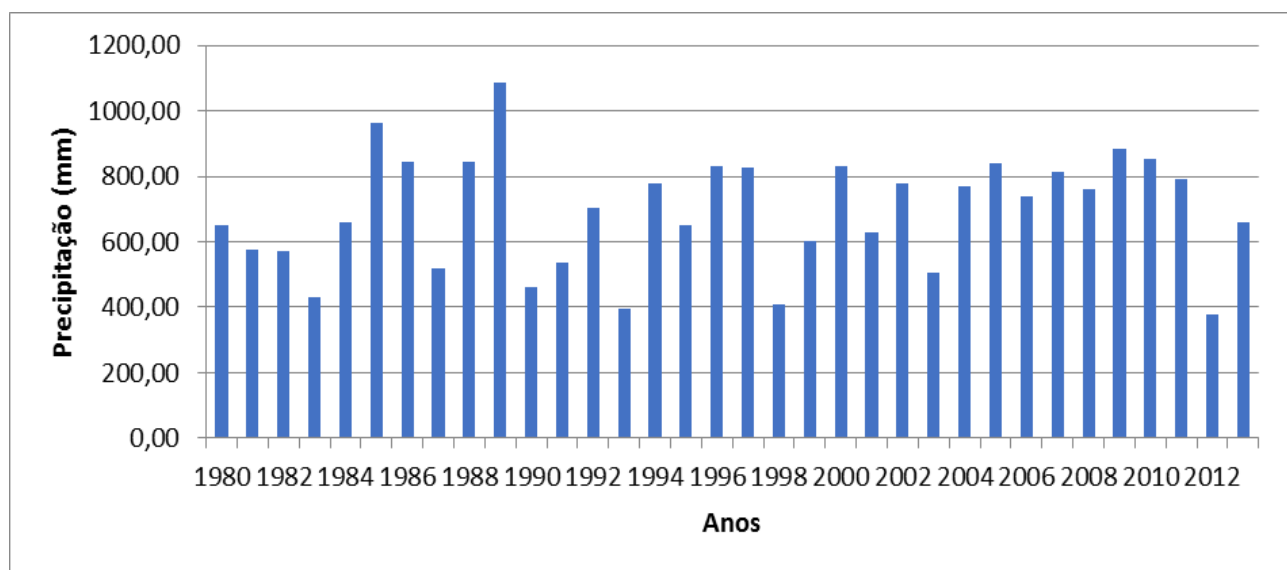


Figura 5. Variabilidade interanual da precipitação pluvial no Baixo São Francisco. Fonte próprio autor, 2022.

Conforme observa-se na figura 5, a precipitação pluvial no Baixo São Francisco apresentou uma elevada irregularidade interanual entre os anos 1980 e 2013.

Os anos 1983, 1993, 1998 e 2012 ficaram bastante abaixo da média geral, apresentando

valores próximos a 400 mm. Por outro lado, os anos 1985, 1986, 1988 e 1989 destacaram-se pela quantidade excepcional de chuvas acima da média, com valores acima de 800 mm. Ocorreram também muitos anos em que os valores de precipitação pluvial ficaram próximos a média geral, intercalando com os anos de pouca e elevada precipitação, entre os quais destaca-se 1980, 1984, 1994, 1995 e 2006.

3.5.2. Análise da variabilidade em anos padrão (seco, habitual e chuvoso)

A análise realizada anteriormente permitiu que fossem selecionados 3 anos da série histórica, cada um representando um diferente padrão de precipitação pluvial (seco habitual e chuvoso) para realização de uma análise mais aprofundada a respeito da variabilidade espacial das chuvas no Baixo São Francisco.

Para representar a baixa precipitação, foi selecionado o ano de 1993; para precipitação habitual foi selecionado o ano de 1984 e para o padrão chuvoso, foi selecionado o ano de 1989.

A seguir, a Figura 6 apresenta o mapa de isoietas correspondente ao ano de 1993 (menor precipitação).

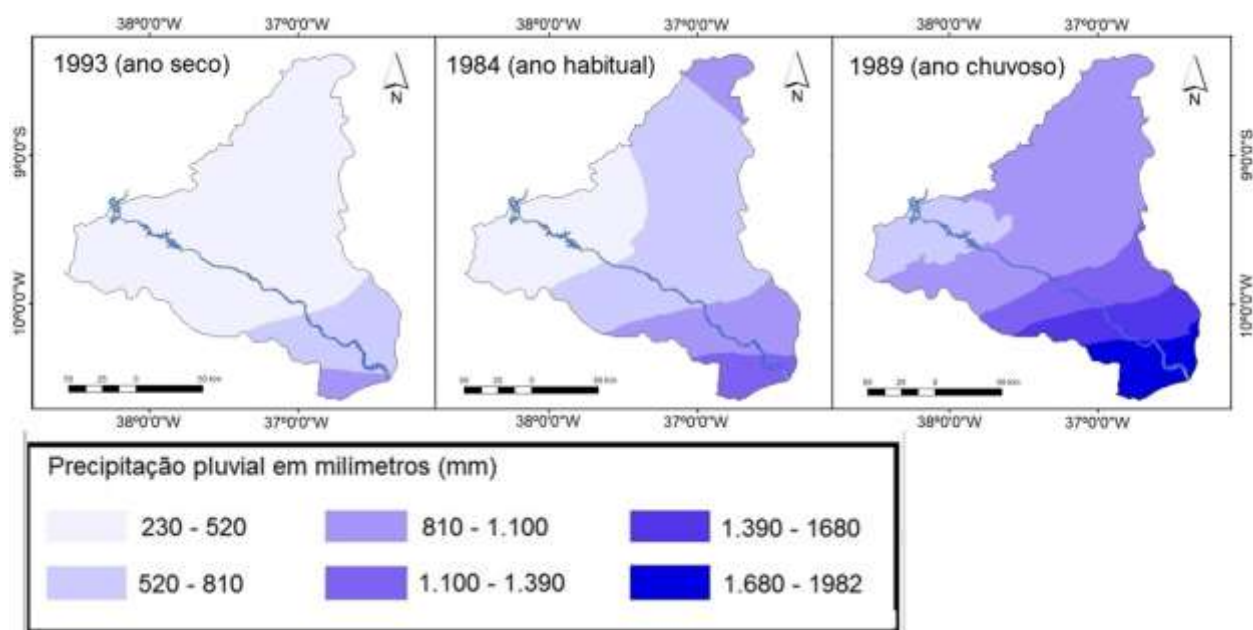


Figura 6. Variabilidade espacial da precipitação pluvial em anos padrão (seco, habitual e chuvoso) no Baixo São Francisco. Fonte próprio autor, 2022.

Conforme a figura 6, no ano de 1993 (seco), a precipitação no Baixo São Francisco variou de 230 mm a 880 mm. No que diz respeito a distribuição espacial das chuvas neste ano, observa-se que as porções oeste, norte e central situam-se dentro da faixa de precipitação que vai de 230

mm a 520 mm. Por sua vez, a porção leste apresenta valores mais elevados de precipitação, que variam de 520 mm a 1.100 mm.

No ano de 1984, a variação da precipitação foi de 230 mm a 1.390 mm. Este ano também apresentou um padrão espacial parecido com o que foi observado anteriormente (maior precipitação e variabilidade na porção leste e menor precipitação e variabilidade no oeste). O quantitativo de precipitação variou de 230 mm e 810 mm nas duas faixas de maior extensão que abarcam toda a porção oeste e central e parte da norte. Na porção leste a variação foi de 810 mm a 1.390 mm. É observada também uma pequena área no extremo norte dentro da faixa de precipitação que vai de 810 mm a 1.100 mm.

Por fim, no ano de 1989, a variação da precipitação foi de 520 mm a 1.982 mm. Neste ano, a porção leste também apresentou maior variabilidade espacial e valores de precipitação, que variou de 1.100 mm a 1.982 mm. Na porção oeste, a faixa de baixa precipitação ocupou uma porção de área bem menor que nos outros anos, com valores de 520 mm a 810 mm. As porções norte e central estão dentro de uma única faixa de precipitação, que vai de 1.100 a 1.390.

4. Conclusões

Com base nos resultados encontrados pode-se concluir que:

1. A uma elevada irregularidade da distribuição das chuvas, espacial e temporalmente na RBS;
2. As chuvas se concentram na porção sudeste da bacia, a qual se situa mais próxima ao litoral. Também foi observado que os quantitativos de precipitação diminuem a medida que se avança do litoral em direção ao interior, sendo que, a porção oeste da bacia;
3. Foram observadas tendências crescentes significativas da precipitação em 28% dos pontos analisados;
4. Os resultados aqui apresentados podem ser ferramentas úteis para o planejamento e tomada de decisão na RBS que envolvam questões hidrológicas, sobretudo a variabilidade da precipitação.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **A questão da água no Nordeste**. 1ª ed. – Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Agência Nacional de Águas (CGEE), 2012. p. 432.
- BEZERRA, A. C.; COSTA, S. A. T. D.; SILVA, J. L. B. D.; ARAÚJO, A. M. Q.; MOURA, G. B. D. A.; LOPES, P. M. O.; NASCIMENTO, C. R. Annual Rainfall in Pernambuco, Brazil: Regionalities, Regimes, and Time Trends. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, 2021.
- CABRAL JÚNIOR, J. B.; BEZERRA, B. G. Análises da evapotranspiração de referência e do índice de aridez para o Nordeste do Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, p. 71-89, 2018.
- CABRAL JÚNIOR, J. B.; LUCENA, R. L. Analysis of precipitation using Mann-Kendall and Kruskal-Wallis non-parametric tests. **Mercator (Fortaleza)**, v. 19, p. 1-14, 2020.
- CABRAL JÚNIOR, J. B.; LUCENA, R. L. . Análises estatísticas da precipitação e temperatura do ar em ambientes semiáridos. **Revista Entre-Lugar**, v. 12, p. 170-191, 2021.
- CABRAL JÚNIOR, J.B; SILVA, C.M.S ; ALMEIDA, H.A.; BEZERRA, B.G.; SPYRIDES, M.H.C. Detecting linear trend of reference evapotranspiration in irrigated farming areas in Brazil's semiarid region. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 138, p. 215-225, 2019.
- CARVALHO, A. A. D., MONTENEGRO, A. A. D. A., SILVA, H. P. D., LOPES, I., DE MORAIS, J. E.; DA SILVA, T. G. Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 15-23, 2019.
- CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco. (2016). **Resumo Executivo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025**. Alagoas: CBHSF
- CUNHA, C.J. **Regularização da vazão e sustentabilidade de agroecossistemas no estuário do Rio São Francisco**. 231 f. 2015. Tese (Doutorado) - Programa de Pós- Graduação em Geografia do Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2015.v
- DA SILVA, Djane Fonseca. Detection of climate trends in macroregions of the Ceará State using FUNCEME data. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 38, n. 1, p. 107-114, 2016.
- FLORES, E. F. **Modelagem em Climatologia Geográfica: um ensaio metodológico aplicado ao oeste paulista**. 2000. 237 p. Tese (Doutorado) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000
- GOMES, R.S.; LIMA, K. C. Influence of the modes of climate variability in the Tropical Pacific and Atlantic on accumulated rainfall and reservoir water volumes in the Northeast Brazil. **INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY**, v. 001, p. joc.7132-000, 2021.
- HIERA, M. D.; LIMA JUNIOR, A. F.; ZANELLA, M. E. Tendência da Precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 300-321, 2019.
- IPCC, 2021: **Mudança do Clima 2021: A Base da Ciência Física**. Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. No Prelo, 2021. p. 37.
- JUNQUEIRA, R.A.C. **Mapeamento Temático De Uso Da Terra No Baixo São Francisco**. 1. ed. Brasília: Codevasf, 2002. p. 162.

KENDALL, M. G., **Rank Correlation Measures**. Ed. Charles Griffin. London, 1975

MANN, H. B. **Non-parametric tests against trend**. *Econometrica* 13, 245-259, 1945.

MEDEIROS, F.J.; OLIVEIRA, C.P.; GOMES, R.S.; SILVA, M.L.; CABRAL JÚNIOR, J.B. Hydrometeorological conditions in the semiarid and east coast regions of Northeast Brazil in the 2012-2017 period. **ANAI DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS (ONLINE)**, v. 93, p. 1-15, 2021

MEDEIROS, P. R. P. *et al.* Características Ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): Efeitos de Barragens no Transporte de Materiais na Interface Continente-Oceano. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 65-78, 2014.

MEDEIROS, F. J.; LUCIO, P. S.; SILVA, H. J. F. Análise de Métodos de Krigagem na Estimativa da Precipitação no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 10, n. 5, p. 1668-1676, ago. 2017.

MMA. MacroZEE-BHSF. **Atualização e complementação do diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico da bacia hidrográfica do Rio São Francisco. Relatório da atualização e complementação do diagnóstico do meio físico-biótico da BHSF**. Revisão Final - Tomo I. Brasil, 2016.

NASCIMENTO, M. C.; RIBEIRO JÚNIOR, C.E.; AGUIAR NETTO, A.O. **Relatório técnico da campanha de avaliação das mudanças socioambientais decorrentes da regularização das vazões no baixo Rio São Francisco**. CBHSF, Maceió, AL, 175p, 2013.

PIANA, C.F. de B.; MACHADO, A. de A.; SELAU, L. P. R. **Estatística Básica**. Pelotas: UFPel, Instituto de Física e Matemática. 2013

POUSA, R.; COSTA, M. H.; PIMENTA, F. M.; FONTES, V. C.; BRITO, V. F. A. D.; CASTRO, M. Climate change and intense irrigation growth in Western Bahia, Brazil: The urgent need for hydroclimatic monitoring. **Water**, v. 11, n. 5, p. 933, 2019.

RODRIGUES, D. T.; SILVA, C. M. S.; REIS, J. S.; PALHARINI, R. S. A.; CABRAL JÚNIOR, J. B.; SILVA, H. J. F.; MUTTI, P. R.; BEZERRA, B. G.; GONCALVES, W. A. Evaluation of the Integrated Multi-Satellite Retrievals for the Global Precipitation Measurement (IMERG) Product in the São Francisco Basin (Brazil). **Water**, v. 13, p. 1-12, 2021.

SERGIPE. SEPLANTEC, SRH - **Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia do estado de Sergipe. Informes Municipais**, Aracaju: SEPLANTEC, 2000, p. 75.

SANTOS, N. Q.; LIMA, K.C.; SPYRIDES, M. H.C. The dependence of hydropower planning in relation to the influence of climate in Northeast Brazil. **PLoS One**, v. 17, p. e0259951-14, 2022.

SILVA, E.H.D.L.; SILVA, F.D.D.S.; JUNIOR, R.S.D.S.; PINTO, D.D.C.; COSTA, R.L.; GOMES, H.B.; CABRAL JÚNIOR, J.B; DE FREITAS, I.G.F.; HERDIES, D.L. Performance Assessment of Different Precipitation Databases (Gridded Analyses and Reanalyses) for the New Brazilian Agricultural Frontier: SEALBA. **Water**, 14, 1473, 2022.. <https://doi.org/10.3390/w14091473>

SOUZA, T. S.; NASCIMENTO, P. S. Tendência da Precipitação Pluviométrica e do Balanço Hídrico Climatológico na região hidrográfica do Paraguaçu – BA. **Caderno de Geografia** (PUC Minas), v. 31, n.67, p. 952-974, 2021.

STURGES, H. A. **The Choice of a Class Interval: Journal of American Statistical Association**, n. 21, p. 65-66, 1926 apud GERARDI, L. H. O.; SILVA, B. C. M. N. Quantificação em geografia. São Paulo: Difel, 1981. 161p.

VALE, T.M.C.; SPYRIDES, M.H.C; CABRAL JÚNIOR; J.B.; ANDRADE, L.M.B.; BEZERRA, B.G.; RODRIGUES, D.T.; MUTTI, P.D. Climate and water balance influence on agricultural productivity over the

Northeast Brazil, 02 May 2022, PREPRINT (Version 1) available at **Research Square** [<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1445346/v1>]

XAVIER, A. C.; KINGB, C. W.; SCANLONC, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, Wiley Online Library, v. 36, p. 2644-2659, out. 2016.

YAMAMOTO, J.K. 2020. **Estatística, análise e interpolação de dados geoespaciais**. São Paulo. Gráfica Paulo's. 308p.