

DÉFICITS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO, BRASIL

Eduardo Petrucci

Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Uberlândia, MG, Brasil
eduardo.geografia.ep@gmail.com

RESUMO

O fenômeno das secas é inerente à dinâmica climática, intensificadas, contudo, pelas atividades antrópicas. Podem ocorrer sob qualquer regime climático e podem ser caracterizadas por condições de déficits ou de ausência de chuvas em determinada localidade. Este trabalho objetiva analisar a ocorrência de Déficit Extremos de Precipitação (DEp) na bacia hidrográfica do rio São Francisco, Brasil, no período entre 1985 e 2018, por meio do Índice Estandarizado Secas Pluviométricas (IESP), utilizando dados de precipitação mensal de 190 estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA). Tal método consiste no cálculo dos acúmulos padronizados dos desvios negativos de precipitação mensal em relação à mediana histórica de cada mês. Os resultados apontaram que os DEp representam 2,9% do total de ocorrências mensais, sendo mais frequente nas estações próximas à cabeceira (1.309) do rio São Francisco do que na foz (31). A maior permanência de evento de seca foi de 27 meses consecutivos, e os meses mais recorrentes foram dezembro e janeiro. Para o período considerado, as DEp nos anos de 2017 e 2018 representaram 75% do total.

Palavras-chave: Precipitação pluvial. Secas pluviométricas. Rio São Francisco.

EXTREME PRECIPITATION DEFICITS IN THE SÃO FRANCISCO RIVER WATER BASIN OF BRAZIL

ABSTRACT

The phenomenon of droughts is inherent to climate dynamics, though intensified by human activities. They can occur under any climate regime and can be characterized by conditions of deficits or absence of rainfall in a specific location. This work aims to analyze the occurrence of Extreme Precipitation Deficits (EPD) in the São Francisco River basin, Brazil, in the period between 1985 and 2018, using the Standardized Rainfall Drought Index (SRDI), using monthly precipitation data from 190 stations pluviometrical data from the National Water Agency (ANA). This method consists of calculating standardized accumulations of negative deviations of monthly precipitation in relation to the historical median for each month. The results showed that EPD represents 2.9% of total monthly occurrences, being more frequent in stations close to headwaters (1,309) of the São Francisco River in comparison to the mouth (31). The longest drought event lasted 27 consecutive months, and the most recurring months were December and January. For the period considered, EPD in the years 2017 and 2018 represented 75% of the total.

Keywords: Rainfall. Rainfall droughts. São Francisco River.

INTRODUÇÃO

O clima é resultante das relações estabelecidas entre os sistemas atmosféricos e os fatores locais e regionais, que redistribuem os elementos (temperatura, umidade e pressão, por exemplo), caracterizando assim os tipos climáticos das regiões (Ayoade, 2006). Os processos climáticos realizam-se simultaneamente, como partes de um sistema dinâmico, que consiste na entrada e transformação de energia oriunda do nível astronômico (macroescala) até o nível humano (microescala) (Ribeiro, 1993). Dentre os processos do sistema climático, destacam-se as precipitações, produtos da condensação do vapor de água na atmosfera, na superfície terrestre nas formas líquida (precipitação pluvial) ou sólida (neve) (Varejão-Silva, 2006).

As precipitações são caracterizadas por apresentarem uma elevada variabilidade temporal e espacial, condicionadas por meio das interações entre os sistemas atmosféricos e os fatores geográficos que particularizam as regiões (Rao; Cavalcanti; Hada, 1996). Com relação à categoria temporal, podem ser verificadas variações a longo prazo, tais como, decenal, interanual, sazonal, ou variações a curto prazo,

como as diárias, tipificando dias com ou sem chuva. Para a categoria espacial, verifica-se que, nas regiões tropicais, devido à intensidade das convecções, percebe-se um quantitativo elevado de pluviosidade em relação às regiões subtropicais e polares. Além disso, há uma concentração das chuvas entre as estações de primavera-verão, e estação seca pronunciada durante o inverno, para as regiões tropicais (Mendonça; Danni-Oliveira, 2007), condições estas, divergentes das regiões subtropicais, em que há uma distribuição da precipitação ao longo do ano.

Análises em climatologia requerem, preferencialmente, a disposição de um banco de dados contendo séries temporais de variáveis meteorológicas por um período de décadas (30 anos), às quais se aplicam técnicas, podendo ser realizadas inferências estatísticas. Utilizando essas séries temporais, pode-se determinar as condições médias dos tipos climáticos, permitindo-se observar as características de ocorrência de precipitação, tais como: totais e médias anuais e mensais; início e término da estação chuvosa; dentre muitas outras (WMO, 1967; Morettin; Bussab, 2004; Vianello; Alves, 2004; Ayoade, 2006). Entretanto, devido à variabilidade climática, os valores precipitados podem ocorrer tanto positivamente, quanto negativamente em relação a valores mensais e anuais, caracterizando eventos de anomalias, ou eventos extremos.

Valores discrepantes de um estado climático médio (doravante chamado de "eventos extremos") ocorrem em escalas temporais que variam de dias a milênios, embora os mais importantes para as atividades humanas são possivelmente os extremos de curto prazo (relacionados com o tempo) e os de médio prazo (relacionados com o clima), que são eventos com potencial para impactos significativos. Os eventos extremos de tempo e clima são também um aspecto integral da variabilidade climática (INPE, 2009, p. 1).

Desde o período pós-Revolução Industrial, o ser humano tem lançado grandes quantidade de gases nocivos à atmosfera e isso tem contribuído negativamente na dinâmica climática global, provocando aquecimento da atmosfera e dos oceanos, de modo a acelerar o processo denominado como Aquecimento Global. Esse aquecimento gradativo da atmosfera tem, como uma de suas consequências, maior frequência de ocorrência de Eventos Climáticos Extremos (ECE), como apontado pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), sobretudo nas últimas décadas (IPCC, 2001; 2007; 2014; 2021; 2023). Dentre os ECE, destacam-se ocorrências de excessos ou de déficits de precipitação, incêndios, geadas, ondas de calor/frio, ciclones etc. (Dias; Silva, 2009).

Seca ou estiagem são condições de déficit ou ausência de chuvas em uma determinada região durante um certo período. Entretanto, em conformidade com Wilhite e Glantz (1985), Mckee, Doesken e Kleist (1993) e Blain (2005), o fenômeno das secas não é uma tarefa fácil de se conceituar, pois diversas vertentes das ciências veem a seca por diferentes óticas conceituais-metodológicas. Mckee, Doesken e Kleist (1993) apontam a dificuldade de determinar a extensão (início e término) das secas e os déficits cumulativos da precipitação incidente, além da conexão entre os déficits de precipitação e a disponibilidade hídrica. Wilhite e Glantz (1985) ressaltam que as causas das secas não devem ser dissociadas dos efeitos sociais, econômicos e ambientais.

As secas são classificadas em quatro grupos, de acordo com a *American Meteorological Society* (AMS), sendo elas: a seca meteorológica ou climatológica, seca agrícola, seca hidrológica e seca socioeconômica. A seca meteorológica ou climatológica consiste em um déficit de precipitação, em torno de um valor de referência (Normal Climatológica - NC), tendo como características além da ocorrência, a permanência e a magnitude desse evento de déficit. A variação negativa em torno da NC de precipitação não necessariamente indica ausência de chuvas. As secas agrícolas e hidrológicas ocorrem devido à continuidade do déficit de precipitação ao longo do tempo, pois a insuficiência da entrada de água no sistema acarretará menor disponibilidade de água no subsolo para as plantas e menor disponibilidade hídrica dos reservatórios, tanto superficiais quanto subsuperficiais. Já as secas socioeconômicas ocorrem devido ao déficit de chuvas impactar a oferta e procura de bens com valores econômicos (AMS, 2003).

Apesar de problemas para determinar um conceito universal de seca, que consiga ser capaz de abranger todas as regiões geográficas, os climas, as populações e os efeitos nas sociedades, será considerada a conceituação de seca esclarecido em Brasil (2014): "Os eventos de seca e estiagem caracterizam-se por períodos prolongados de baixa ou ausência de chuvas durante tempo suficiente, em determinada região, para que a falta de precipitação provoque grave desequilíbrio hidrológico" (p. 59). Em função da utilização exclusiva da terminologia "seca" na literatura internacional, neste trabalho não se versará sobre a ideia nem os conceitos relacionados à "estiagem".

Quando há um déficit de precipitação sobre uma localidade para um determinado período, há maior pressão sobre os recursos hídricos, que podem agravar o quadro natural da deficiência hídrica nos reservatórios e nas vazões dos rios, visto que, com o aumento populacional (sobretudo nos centros urbanos) e intensificação das atividades humanas (especialmente as atividades agrícolas), há uma maior demanda sobre esse recurso (Mishra; Singh, 2010). Com isso, análises climatológicas em relação à ocorrência de precipitação, às suas variações espaciais e temporais, às anomalias e a fatores relacionados são relevantes, especialmente nos últimos anos, em que são verificados incrementos de frequência, duração e intensidade das secas pluviométricas ao redor do mundo, tais como verificado por Li, Sha e Wang (2019), na China; Prieto *et al.* (2020), na Argentina; Lupo *et al.* (2021) na Europa oriental e Rússia; El-Tantawi *et al.* (2021) no Egito; Petrucci, Oliveira e Silva (2022) e Freitas (2022) no Brasil e, Yildirim, Rahmana e Singh (2022) na Austrália.

Mishra e Singh (2010) explicam que as secas são naturais ao sistema ambiental, contudo é possível observar aumento de sua frequência devido à maior demanda de água, porque há a necessidade de um aporte de umidade da superfície para a atmosfera, para que, quando atinja o ponto de saturação, ocorra a chuva. Assim, se a seca está atuando em determinada localidade, conseqüentemente irá reduzir a evapotranspiração das camadas superiores do solo e da vegetação, fazendo com que haja uma diminuição da disponibilidade de água na atmosfera, reduzindo drasticamente as probabilidades de formação de nuvens carregadas de umidade e, conseqüentemente, de chuvas.

É importante ressaltar que, além dos fatores locais (microescala) que atuam para os processos de precipitação, deve-se levar em consideração os fatores das meso e macroescalas, sendo que, quando não há disponibilidade de água na superfície (ou subsuperfície) para realizar a evapotranspiração, existem sistemas atmosféricos que transportam essa umidade de áreas em que há maior quantidade de água, como os oceanos. Portanto, quando são formados sistemas atmosféricos sobre regiões superúmidas (as massas de ar, por exemplo), eles assimilam essas características de umidade, concentradas nas nuvens e, quando ocorre avanço deles sobre o continente, vão interagindo com as condições locais, aumentando a probabilidade de provocar chuva. Com isso, verifica-se a importância das análises não apenas sobre fatores locais, mas também sobre os lugares longínquos nos quais se formam os sistemas e se transportam umidade para as áreas de estudo.

Em função da necessidade de conhecimento, identificação e classificação das secas, ao longo do século XX foram desenvolvidos diversos índices para determinar regiões com ocorrência(s) de seca(s), a partir de dados de mesma ou de diferentes naturezas, com o objetivo de padronização e comparação das secas entre regiões (Rosa, 2011). De acordo com Zargar *et al.* (2011) os índices de seca são parâmetros quantitativos (representações matemáticas) os quais mobilizam dados para determinar os níveis de seca – medidas mais eficientes comparadas aos dados brutos. Os índices de seca têm o intuito de identificar o começo e o término de uma seca, além de avaliar sua intensidade em termos de severidade. Eles têm sido uma das ferramentas mais úteis para compreender e lidar com esses fenômenos, propiciando análises relativas às suas características temporais e espaciais, à sua monitorização e, desse modo, contribuindo, até certo grau, para a sua predição (Rosa, 2011).

Dentre os índices mais utilizados, destacam-se: PDSI (*Palmer Drought Severity Index*) desenvolvido por Palmer em 1965 e o SPI (*Standardized Precipitation Index*) desenvolvido por McKee *et al.* em 1993 e 1995. O PDSI é o método mais utilizado dos EUA e são necessários dados de precipitação, temperatura e umidade do solo em que são feitas relações na oferta e demanda de água ao invés de cálculos sobre anomalias de precipitação. O SPI é amplamente utilizado em todo o mundo, sendo recomendada a sua utilização no Brasil pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e possui como princípio o cálculo das anomalias de precipitação, por períodos predeterminados, em função das probabilidades de precipitação (Rosa, 2011; Zargar, *et al.*, 2011), valendo-se apenas de dados de precipitação.

Apesar da confiabilidade e ampla aplicação dos referidos métodos, algumas desvantagens de execução são evidenciadas por Blain e Brunini (2007), Mishra e Singh (2010), Rosa (2011) e Zargar *et al.* (2011). Para o PDSI, as desvantagens de sua aplicação envolvem a generalização das conclusões e problemas de estabelecimento conciso sobre as condições iniciais do balanço hídrico do solo, disponibilidade de dados de umidade do solo, entre outras questões específicas. Para o SPI, Pita López (2000) aponta problemas relacionados ao estabelecimento prévio de uma duração fixa (meses) e, para o cálculo da intensidade, a duração fixa não acumulada no início gera acúmulos de uma sequência longa de seca.

Visando contornar os problemas expostos, Pita López (2000) desenvolveu um índice de determinação de períodos secos e úmidos chamado Índice Standardizado de Secas Pluviométricas (IESP). Para a aplicá-lo, é necessário dispor apenas de dados de precipitação (totais mensais), para posteriormente calcular os desvios em relação à mediana da precipitação do referido mês, acumulá-las e, por fim, padronizá-las. A padronização da distribuição e variação da precipitação em torno da mediana, possibilita que os valores encontrados possam ser comparados com as demais regiões, minimizando os efeitos dos valores extremos de precipitação.

Com a aplicação do método do IESP, é possível determinar o período exato das estações secas e úmidas (meses e anos de início e término) e a severidade (quanto maior o desvio maior a intensidade dos eventos, tanto positivos quanto negativos). Devido às anomalias serem mensuradas a partir de variações em relação à mediana, e não pela média como nos demais índices, o SPI, por exemplo, dá maior confiabilidade no que diz respeito à distribuição, visto que os valores extremos ou *outliers* não apontam para uma elevação ou diminuição dos valores de tendência central, não intensificando ou atenuando as condições de secas ou umidade.

Diante do exposto, o objetivo desta investigação foi analisar as ocorrências de Déficits Extremos de Precipitação (DEp) na bacia hidrográfica do rio São Francisco, Brasil, no período de 1985 a 2018, por meio do Índice Standardizado de Secas Pluviométricas (IESP), utilizando dados de precipitação mensal de 190 estações pluviométricas disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Caracterização física da área de estudo

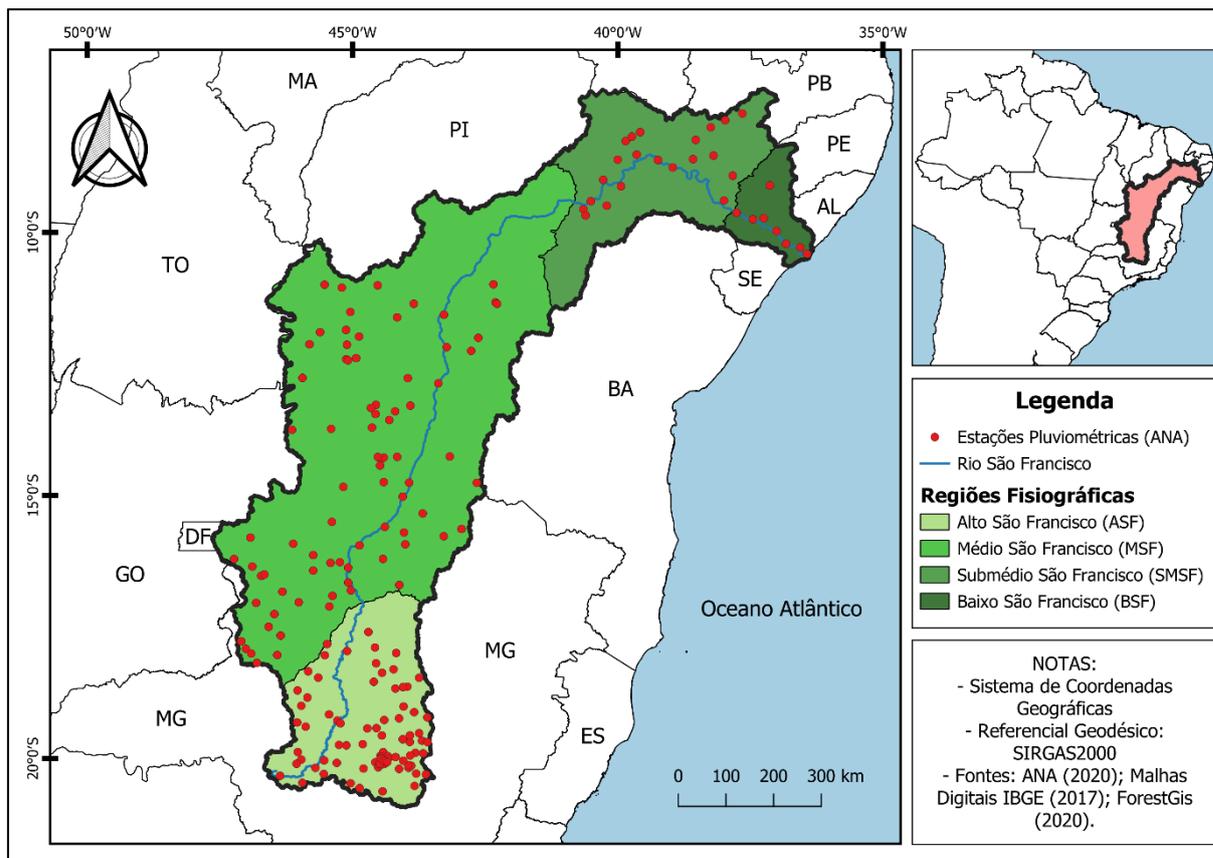
A bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHSF) é uma das maiores bacias brasileiras, com mais de 658 mil km², correspondendo a cerca de 8% do território nacional, e abriga mais de 20 milhões de pessoas (IBGE, 2009; 2023). A extensão do curso principal é de aproximadamente 2.700 km e percorre diversas regiões brasileiras, abrangendo sete unidades da federação (Alagoas, Bahia, Goiás, Minas Gerais, Pernambuco, Sergipe e Distrito Federal) das regiões Centro-Oeste, do Nordeste e do Sudeste (CBHSF, 2020).

Para fins de planejamento, a referida bacia é dividida em 4 regiões fisiográficas, com características ambientais fortemente relacionadas internamente e divergentes entre si, com transição gradual. A descrição das regiões fisiográficas tem como base o Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco 2016-2025 (NEMUS, 2015), são elas: Alto São Francisco (ASF), Médio São Francisco (MSF), Submédio São Francisco (SMSF) e Baixo São Francisco (BSF) (figura 1). O ASF é a região onde são encontradas as nascentes do rio São Francisco, localizada inteiramente no estado de Minas Gerais, a tipologia climática é AW quente e úmido, com as chuvas concentradas na estação do verão tropical, com média anual de 1320,2 mm e o bioma predominante é o Cerrado, com presença de Mata Atlântica nas cabeceiras.

O MSF é a maior das regiões fisiográficas, compreendendo desde o norte de Minas Gerais e todo o oeste da Bahia, a tipologia climática é Aw quente e úmido, com variação para BSwh quente e seco, com chuvas concentradas na estação do verão tropical, e média anual de 989,4 mm. O bioma predominante é o Cerrado, sobretudo em sua porção sul e, há forte presença da Caatinga na sua porção norte. É perceptível uma transição dos tipos climáticos de sul a norte nessa região fisiográfica.

O SMSF abrange o norte da Bahia, nas divisas da Bahia com Piauí, Ceará, Paraíba e todo o oeste de Pernambuco. O clima predominante é o BSwh quente e seco, tipicamente semiárido, a média anual pluviométrica é de 507,2 mm, e o período chuvoso é concentrado nos meses de janeiro a abril. Ocorre exclusivamente nessa região fisiográfica o bioma da Caatinga. O BSF abrange os estados de Alagoas, Pernambuco e Sergipe. É a região da foz do rio São Francisco. O clima predominante é o As, quente e úmido, com verões secos e as chuvas concentradas entre abril e agosto, com média pluviométrica anual de 743,7 mm. Os biomas predominantes são a caatinga (na sua porção ocidental) e a mata atlântica (na sua porção oriental). Nessa região fisiográfica, a precipitação é mais bem distribuída ao longo do ano comparado com as demais regiões fisiográficas.

Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio São Francisco, Brasil: Mapa de localização com destaque para as 190 estações pluviométricas, as regiões fisiográficas e curso do rio São Francisco, 2023



Fontes: IBGE, 2017; ANA, 2020; ForestGis, 2020. Elaboração: O Autor, 2023.

Além dos tipos climáticos predominantes nas regiões fisiográficas da BHSF, há a ocorrência de outros tipos também, tais como: Tropical úmido, Tropical semiárido, Temperado de Altitude, Subúmido, Subúmido seco, Semiárido e Árido (NEMUS, 2015). Estudos como Molion e Bernardo (2002), Galvêncio e Sousa (2002), Cavalcanti *et al.* (2009), Marengo *et al.* (2011) e Santos (2018), demonstram as diferenças climáticas nas regiões fisiográficas da referida bacia, com ênfase nos sistemas atmosféricos atuantes que condicionam esses tipos climáticos, destacando-se: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAs), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), Alta Subtropical do Atlântico Norte (ASAN) Sistemas Frontais (SF), Convecções Locais (CL) entre outros. Além de algumas anomalias, nas mais diversas escalas de atuação: El Niño Oscilação Sul (ENOS), em sua fase quente El Niño e fase fria La Niña; Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), Temperatura da Superfície do Mar (TSM); Perturbação Ondulatória dos Alísios (POA), Dipolo do Atlântico, nas suas fases positiva e negativa, entre outros.

Silva, Galvêncio e Nóbrega (2011) evidenciaram a elevada variabilidade interanual da precipitação sobre regiões fisiográficas da BHSF, entre anos muito secos e muito úmidos, sendo uma das principais características da precipitação na referida bacia hidrográfica, sendo uma das regiões da América do Sul em que a variabilidade da precipitação é mais evidente (Diniz; Medeiros; Cunha, 2014). A elevada variabilidade da precipitação, bem como a atuação dos sistemas atmosféricos contribuem para a excepcional diversidade climática na referida bacia hidrográfica.

METODOLOGIA

Foram utilizados dados mensais de precipitação de 190 estações, com dados consistentes, série histórica entre 1985 e 2018, localizadas no limite da BHSF, obtidos por meio da Agência Nacional de Águas (ANA), no Portal HIDROWEB. As estações estão distribuídas por sete estados, sendo eles:

Alagoas (7), Bahia (41), Goiás (1), Minas Gerais (124), Pernambuco (16) e Sergipe (1). Após a coleta dos dados, a tabulação, correção, estatísticas básicas, aplicação do método e análises foram realizadas com auxílio de planilhas criadas no aplicativo *Microsoft Excel*. Para a aplicação do método do IESP, segue-se, de acordo com Pita López (2000), três etapas:

a) Calcular a anomalia pluviométrica mensal em relação à mediana mensal do período de análise, equação 1:

$$AP_i = P_i - P_{MED} \quad (1)$$

Em que: AP_i é a anomalia pluviométrica total no mês i ; P_i é a precipitação total do mês i ; P_{MED} é a mediana dos totais de precipitação do referido mês i ao longo da série histórica.

b) Acumular as anomalias mensais de precipitação. Quando ocorrer anomalia positiva, sua sequência será acumulada de modo a caracterizar um período de excedente de precipitação o qual será interrompido quando houver aparecimento de uma anomalia negativa. Em seguida, diante de uma sequência de valores negativos, eles serão acumulados, caracterizando um período de seca e assim sucessivamente. Durante os meses em que a anomalia é igual a 0, não há inversão de períodos secos/úmidos, conforme a equação 2 a seguir:

$$APA_i = \sum AP_i \quad (2)$$

Nesse sentido: APA_i é o valor acumulado das Anomalias Pluviométricas (AP_i); AP_i é a anomalia pluviométrica total no mês i .

c) Padronização (standardização) das anomalias de precipitação à uma distribuição normal, equação 3:

$$IESP_i = \left(\frac{APA_i - APA}{sAPA_i} \right) \quad (3)$$

Na qual: $IESP_i$ é o valor do Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas no mês i ; APA_i é o valor acumulado das Anomalias Pluviométricas, APA é a média dos valores de anomalia pluviométrica acumulada de todos os meses do período analisado; $sAPA_i$ é o desvio padrão das anomalias pluviométricas acumuladas de todos os meses do período analisado.

Quanto mais acentuado o acúmulo de desvios, positivos ou negativos em relação à mediana, mais forte são classificados os períodos de déficit ou de excedente. Com isso, Pita López (2000) estipula 3 passos para a realização dos cálculos.

Em posse dos valores mensais de IESP, a autora definiu cinco classes de secas para a análise dos resultados, variando desde ausência de secas até secas excepcionais. Entretanto, como o referido índice classifica tanto os períodos de seca quanto os períodos úmidos, é proposto neste trabalho uma adaptação das escalas de classificação, de acordo com quadro 1 abaixo:

Quadro 1 - Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas (IESP): Classificação dos eventos de secas pluviométricas, 2023

| Valores IESP | Classificação |
|--------------|--|
| $\geq 2,3$ | Excedente Extremo de Chuva (EEp) |
| 2,3 a 1,7 | Excedente Severo de Chuva (ESp) |
| 1,7 a 1,0 | Excedente Moderado de Precipitação (EMp) |
| 1,0 a 0,0 | Normal úmido |
| 0,0 a -1,0 | Normal seco |
| -1,0 a -1,7 | Déficit Moderado de Precipitação (DMp) |
| -1,7 a -2,3 | Déficit Severo de Precipitação (DSp) |
| $\leq -2,3$ | Déficit Extremo de Precipitação (DEp) |

Fonte: Pita López, 2000; Organização: O Autor, 2023.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação aos dados de precipitação mensal utilizados para o cálculo das secas pluviométricas na BHSF, inicialmente, foram identificadas 329 estações pluviométricas com registros de dados. Após análise preliminar, foram descartadas 139 estações, devido ao grande percentual de falhas nos registros mensais, em relação ao período total de dados, sendo que, 67 delas são localizadas no estado da Bahia e 57 no estado de Minas Gerais. Woldesenbet *et al.* (2017) e Nanda; Sahoo; Chatterjee (2017) destacam que, para análises climatológicas, é imprescindível que haja uma série de dados confiáveis e robustas e, em países em desenvolvimento, a ausência de estações de dados é maior que nos países desenvolvidos, que acarreta em uma dificuldade maior na realização de pesquisas, projeções climáticas e nas tomadas de decisão. No intuito de contornar a falhas nas séries de dados, foi necessário realizar aplicação de testes para verificar a possibilidade de preenchimento de dados, para isso, aplicou-se o teste de Correlação de Pearson com estações próximas às estações com falhas nos dados.

Do total de 190 estações, 34 delas apresentavam falhas mensais menores que 10% do total de dados e os resultados apontaram forte correlação positiva entre as estações de dados, possibilitando o preenchimento das falhas, visto que, todos os coeficientes de correlação (r) foram superiores a 0,8, com menor valor de correlação (0,80882) entre as estações Arrojolândia e Arrojado (MSF) e maior valor de correlação (0,97355) entre as estações Jubatuba e Fazenda Curralinho (ASF), e a média dos coeficientes (r) foi de 0,90484. Com relação às distâncias entre as estações que foram utilizadas para o preenchimento dos dados, a maior distância entre elas foi de 98,5 km, entre Arrojolândia e Arrojado (MSF), e a menor distância foi de 6 km, entre Jubatuba e Fazenda Curralinho (ASF), com distância média entre as estações de, aproximadamente, 32 km.

Devido às características obtidas pela forte correlação dos dados de precipitação mensal entre as estações pluviométricas, levando em consideração as distâncias e as características físicas, justificou-se o preenchimento das falhas. A partir disso, nenhuma estação de dados permaneceu com falhas nos dados mensais. No entanto, as falhas identificadas inicialmente não impactaram a qualidade dos dados, devido ao fato de que, as falhas representavam menos de 10% do conjunto de total de dados de cada estação.

Estatísticas básicas da precipitação mensal

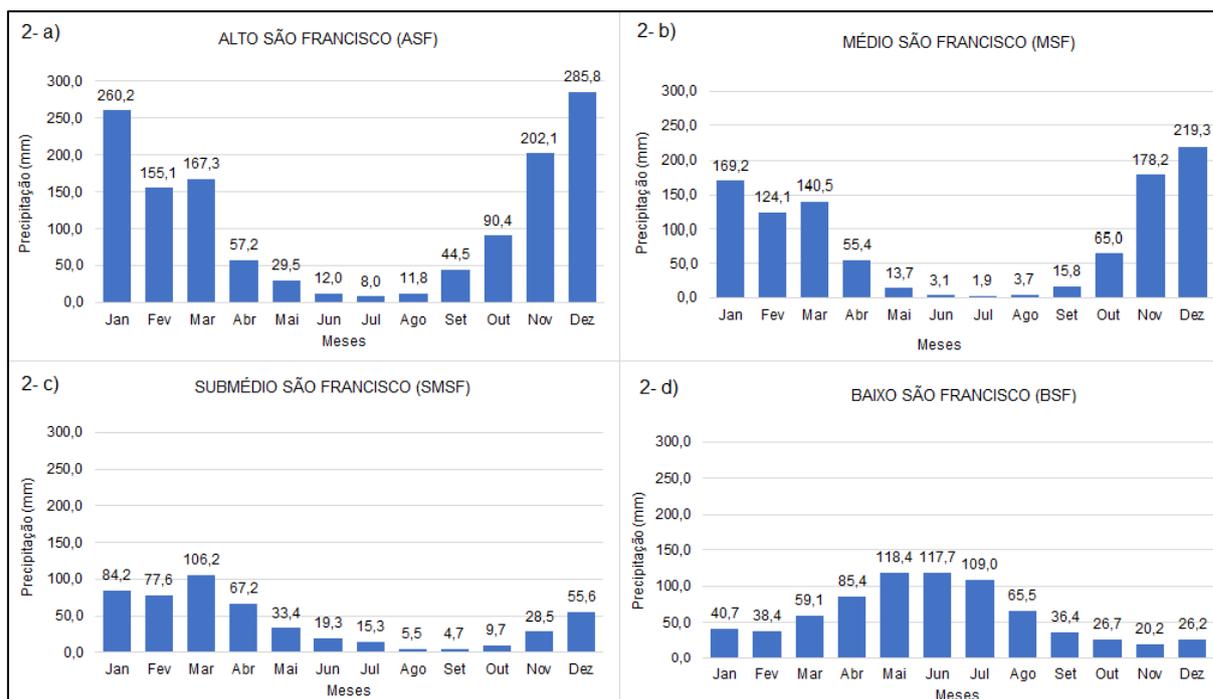
Na tabela 1 estão sumarizadas as precipitações médias mensais e as respectivas contribuições percentuais para a precipitação total anual por região fisiográfica e, na figura 2, os gráficos de distribuição mensal da precipitação mensal da BHSF por região fisiográfica, sendo elas: ASF (2a), MSF (2b), SMSF (2c) e BSF (2d).

Tabela 1 - Bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHSF): Precipitação média mensal e respectivas porcentagens entre as regiões fisiográficas, 1985-2018

| | Alto São Francisco | | Médio São Francisco | | Submédio São Francisco | | Baixo São Francisco | |
|--------------|--------------------|------------|---------------------|------------|------------------------|------------|---------------------|------------|
| | Média (mm) | % | Média (mm) | % | Média (mm) | % | Média (mm) | % |
| Jan | 260,2 | 19,7 | 169,2 | 17,1 | 84,2 | 16,6 | 40,7 | 5,5 |
| Fev | 155,1 | 11,7 | 124,1 | 12,5 | 77,6 | 15,3 | 38,4 | 5,2 |
| Mar | 167,3 | 12,6 | 140,5 | 14,2 | 106,2 | 20,9 | 59,1 | 7,9 |
| Abr | 57,2 | 4,3 | 55,4 | 5,6 | 67,2 | 13,2 | 85,4 | 11,5 |
| Mai | 29,5 | 2,2 | 13,7 | 1,4 | 33,4 | 6,6 | 118,4 | 15,9 |
| Jun | 12,0 | 0,9 | 3,1 | 0,3 | 19,3 | 3,8 | 117,7 | 15,8 |
| Jul | 8,0 | 0,6 | 1,9 | 0,2 | 15,3 | 3,0 | 109,0 | 14,7 |
| Ago | 11,8 | 0,9 | 3,7 | 0,4 | 5,5 | 1,1 | 65,5 | 8,8 |
| Set | 44,5 | 3,4 | 15,8 | 1,6 | 4,7 | 0,9 | 36,4 | 4,9 |
| Out | 90,4 | 6,8 | 65,0 | 6,6 | 9,7 | 1,9 | 26,7 | 3,6 |
| Nov | 202,1 | 15,3 | 178,2 | 18,0 | 28,5 | 5,6 | 20,2 | 2,7 |
| Dez | 285,8 | 21,6 | 219,3 | 22,2 | 55,6 | 11,0 | 26,2 | 3,5 |
| Total | 1.320,2 | 100 | 989,4 | 100 | 507,2 | 100 | 743,7 | 100 |

Fonte: O Autor, 2023.

Figura 2 - Bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHSF): Precipitação média mensal entre as regiões fisiográficas, 1985-2018



Fonte: O Autor, 2023.

Por meio da tabela 1 e da figura 2, é possível perceber que o regime de precipitação é mal distribuído ao longo dos meses do ano, havendo o maior volume de chuvas concentrado em poucos meses, para todas as regiões fisiográficas. No ASF e MSF, o período chuvoso ocorre entre os meses de outubro a março (correspondendo às estações de primavera/verão) sendo que, nesse período chove 75,1% do volume de chuvas anuais na região do ASF; no MSF esse volume de chuvas representa 76,4% do total anual. Essa característica da distribuição da precipitação é típica de climas tropicais, com verões chuvosos e invernos secos.

Para a região fisiográfica do SMSF, que é uma área transicional entre os climas semiáridos e áridos, a precipitação média anual é de 507,2 mm, com ocorrência do período chuvoso no quadrimestre de janeiro a abril, que concentra 66,1% da precipitação anual. No BSF, que possui clima regido por sistemas predominantemente oceânicos, a média pluviométrica anual é de 743,7 mm, o período chuvoso ocorre nas estações de outono/inverno e, entre os meses de abril e agosto, precipita cerca de 66,7% do esperado para o ano. Nessa região fisiográfica, a precipitação é mais bem distribuída ao longo do ano comparado com as demais regiões fisiográficas.

É importante destacar que cada região fisiográfica apresenta os máximos de precipitação em períodos distintos, ao longo do ano. A partir disso, pode-se depreender que todas as regiões fisiográficas contribuem proporcionalmente para manutenção da vazão do rio São Francisco ao longo do ano, garantindo, assim, a perenidade de um dos rios mais importantes do Brasil.

Déficits Extremos de Precipitação (DEp)

O sistema climático da Terra é um dos sistemas naturais que interagem com outros sistemas ambientais, como a litosfera, a hidrosfera e a biosfera, formando um sistema maior conhecido como sistema terrestre. Este sistema é caracterizado por complexas relações entre seus elementos, com entradas, saídas e transformações de matéria e energia, principalmente, a proveniente do Sol. A energia solar aquece a Terra e gera padrões de circulação do ar, redistribuindo a temperatura e a umidade entre diferentes regiões do planeta (Ayoade, 2006; Mendonça & Danni-Oliveira, 2007).

A climatologia dinâmica tem avançado na compreensão dos diferentes tipos climáticos observados ao redor do globo. Esses tipos climáticos resultam das interações entre fatores exógenos e endógenos da

Terra, criando uma relação mútua entre o clima e as características da superfície terrestre, como relevo e vegetação. Fatores geográficos também desempenham um papel crucial ao dinamizar e distinguir como esses elementos são redistribuídos, influenciando o comportamento dos climas planetários (Monteiro, 1975; Jardim, 2007).

Essa intrínseca relação entre os componentes do sistema climático é essencial para a manutenção dos subsistemas decorrentes e das atividades humanas. Embora o clima de uma determinada localidade possa parecer estático e com características consistentes, como regimes pluviométricos e variações naturais de temperatura ao longo do tempo, as atividades antrópicas, especialmente aquelas que modificam as características da superfície terrestre, têm o potencial de alterar a forma como o clima, a atmosfera e os elementos climáticos se relacionam com os demais sistemas naturais e humanos (Jardim, 2007).

Essa intervenção humana, através de alterações na superfície terrestre, como a retirada da cobertura vegetal e a impermeabilização dos solos, juntamente com atividades industriais e padrões de consumo que resultam na emissão em grande escala de gases de efeito estufa, são as principais responsáveis pelo desequilíbrio da harmonia natural do clima da Terra, por meio do aquecimento gradativo da atmosfera. Isso, por sua vez, provoca mudanças nos ritmos climáticos das regiões e afetam como os processos climáticos se manifestam nas diversas localidades do planeta (IPCC, 2023). Dessa forma, são intensificados eventos climáticos discrepantes das condições de normalidade, chamados de Eventos Extremos, por exemplo, as secas pluviométricas.

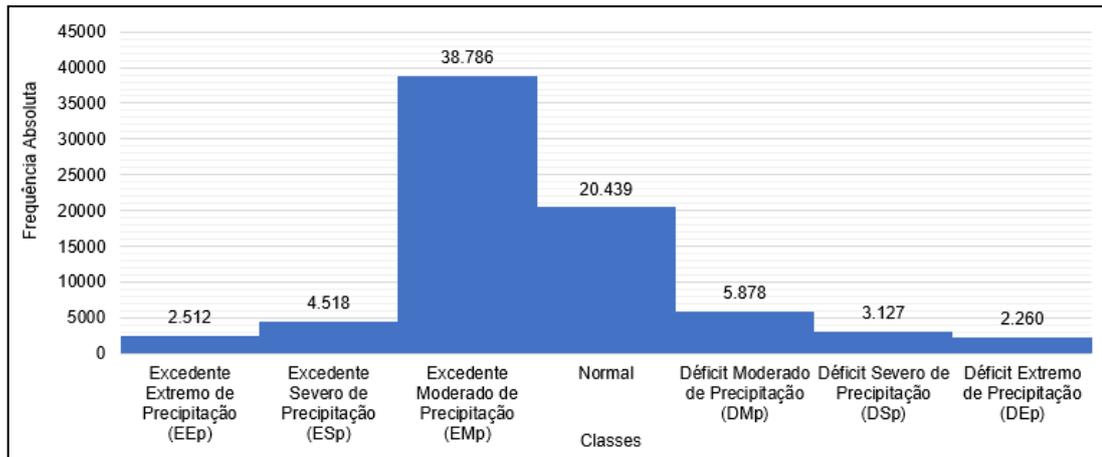
Devido às dimensões espaciais da bacia hidrográfica do rio São Francisco e suas características naturais heterogênicas entre suas regiões fisiográficas, são verificados diferentes tipos climáticos, conseqüentemente, diferentes regimes pluviométricos. Considerando a relação dinâmica e entre os elementos e os fatores climáticos, associados também com as atividades humanas sob a égide das mudanças climáticas, é possível admitir que as ocorrências das secas pluviométricas possuam características distintas de frequência de ocorrência, duração dos eventos e intensidade. Os resultados da aplicação do IESP estão apresentados na tabela 2 e na figura 3.

Tabela 2 - Bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHSF): Distribuição de Frequências dos valores de IESP em dados de precipitação mensal, 1985-2018

| Classes IESP | Freq. Absoluta (nº meses) | Freq. Absoluta Acumulada (nº meses) | Freq. Relativa (%) | Freq. Relativa Acumulada (%) |
|---------------------|----------------------------------|--|---------------------------|-------------------------------------|
| ≥ 2,3 | 2.512 | 2.512 | 3,2 | 3,2 |
| 1,7 | 4.518 | 7.030 | 5,8 | 9,1 |
| 1,0 | 38.786 | 45.816 | 50,0 | 59,1 |
| 0,0 | 20.439 | 66.255 | 26,4 | 85,5 |
| -1,0 | 5.878 | 72.133 | 7,6 | 93,1 |
| -1,7 | 3.127 | 75.260 | 4,0 | 97,1 |
| ≤ -2,3 | 2.260 | 77.520 | 2,9 | 100,0 |

Fonte: O Autor, 2023.

Figura 3 - Bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHSF): Histograma dos valores de IESP nos dados de precipitação mensal, 1985-2018



Fonte: O Autor, 2023.

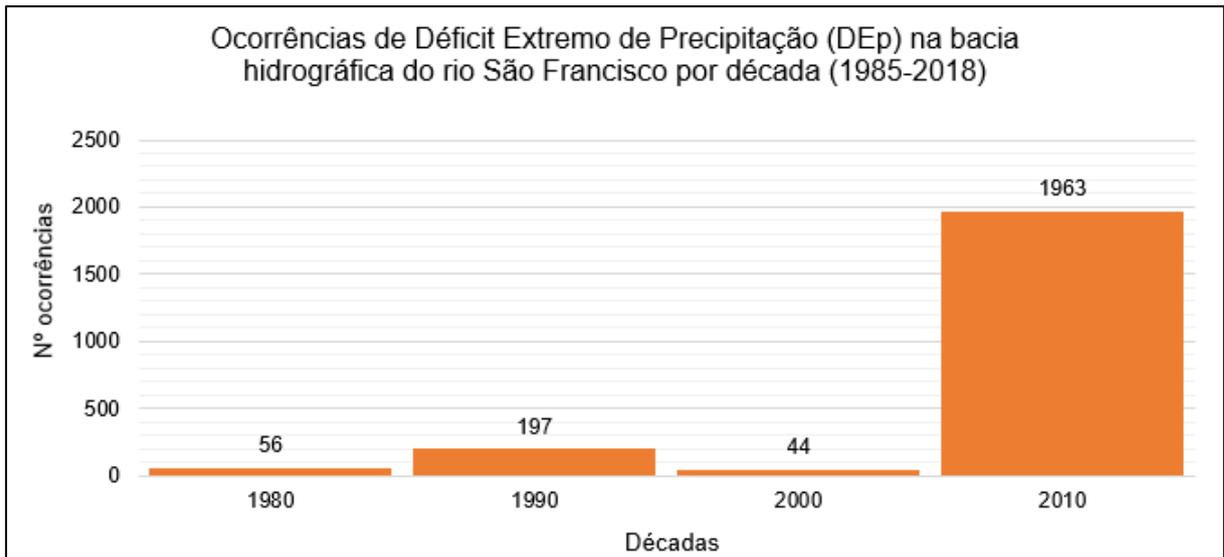
Analisando a tabela 2 e a figura 3, percebe-se que a referida bacia é acometida com maior frequência por eventos de excedente de umidade do que com déficit de precipitação. Os déficits extremos de precipitação (DEp) são a classe com menor frequência de ocorrência, no total de 2,9% de todas as análises, ocorrendo em 2.260 meses ao longo do período histórico considerado.

A característica de os DEp serem a classe com menor frequência, mesmo tendo parte da bacia caracterizada por climas áridos/semiáridos (SMSF) pode estar associada a alguns fatores, dentre eles, observa-se que a maioria das estações pluviométricas utilizadas nesta pesquisa estão localizadas na região fisiográfica do ASF, a qual possui, predominantemente, climas tropical úmido e temperado de altitude. Dessa maneira, percebe-se um grande volume de chuvas anuais, além de boa distribuição dela ao longo do ano.

Além disso, nas regiões em que são verificados climas semiáridos, como no SMSF, que há uma menor quantidade de estações pluviométricas, o volume anual de chuvas é baixo e concentrado em poucos meses. Assim, na maior parte do ano, a mediana de precipitação (valor de referência utilizado para o cálculo do IESP) é igual a 0, por isso a dificuldade em caracterizar eventos de DEp no período das secas, o que é ainda mais evidenciado durante o período de chuvas. Isso não exime o fato da ocorrência de demais classes de déficit de precipitação, tais como DMp e DSp.

Devido ao grande volume de dados gerados, no total de 77.520 meses, não foi possível apresentar o relatório completo das ocorrências de secas na BHSF, evidenciando os locais de ocorrência (estações), os períodos das DEp, a maior duração da DEp e o mínimo recorde (bem como o mês/ano de ocorrência). Todavia, serão apresentados dados que evidenciam as características temporais e espaciais das DEp na BHSF.

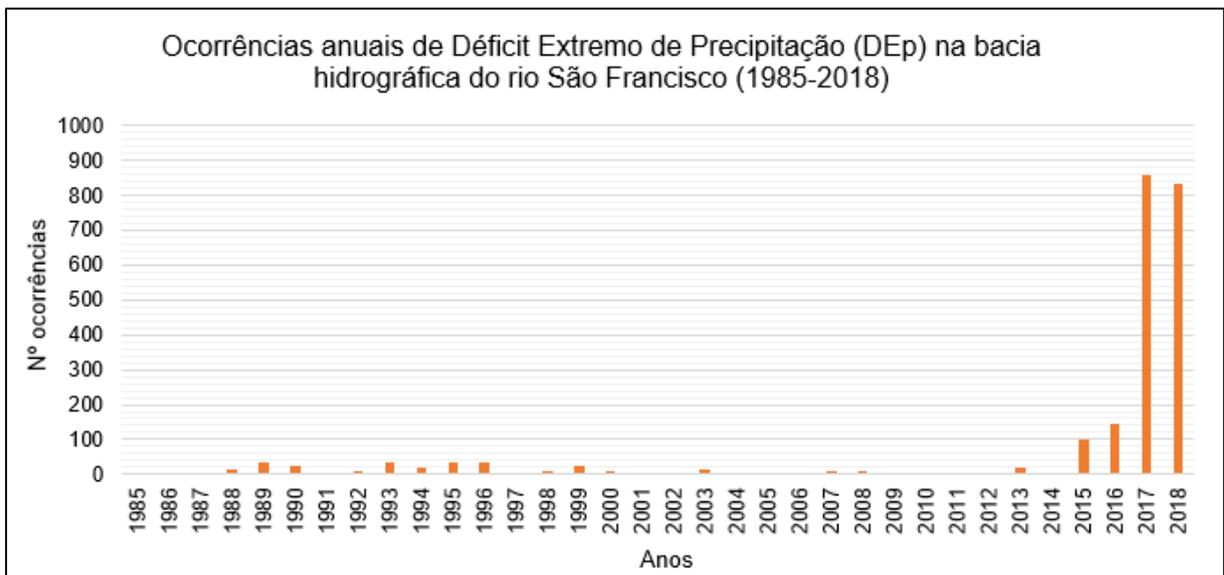
Figura 4 - Bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHSF): Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por década, 1985-2018



Fonte: O Autor, 2023.

De acordo com a figura 4, foi possível verificar que as DEp se concentraram, majoritariamente, na década de 2010, no total de 1963 meses (para todas as estações). A partir disso, depreende-se que 86,9% das DEp ocorreram apenas na última década (para todo o período). A década com menor ocorrência foi 2000, com o total de 44 registros mensais apenas. Mesmo a década de 1980 sendo contabilizada entre os anos de 1985 e 1989, registrou mais ocorrências que 2000.

Figura 5 - Bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHSF): Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por ano, 1985-2018

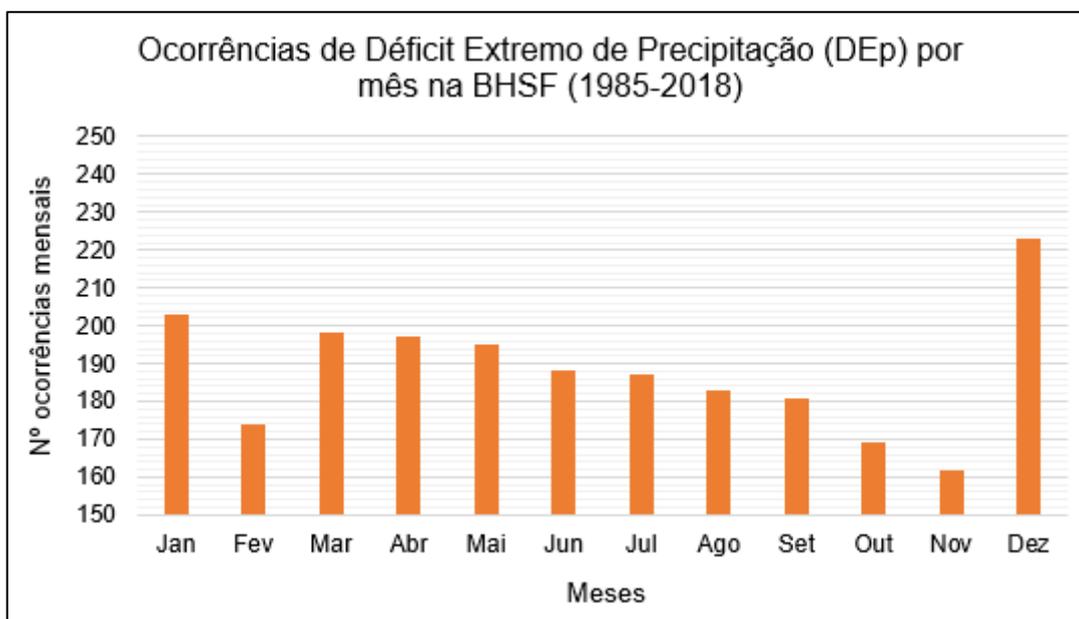


Fonte: O Autor, 2023.

Os anos que mais registraram DEp, analisando a figura 5, ocorreram a partir do ano de 2015, sendo elas: 2015 (100 registros), 2016 (147 registros), 2017 (860 registros) e 2018 (834 registros). Com base nisso, vale postular que, ao longo de 34 anos, 75% das ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação ocorreram nos

dois últimos anos analisados (2017 e 2018). É importante, nesse sentido, ressaltar que ainda existiam muitas estações que estavam registrando secas pluviométricas, inclusive no limiar de DEp, em dezembro de 2018.

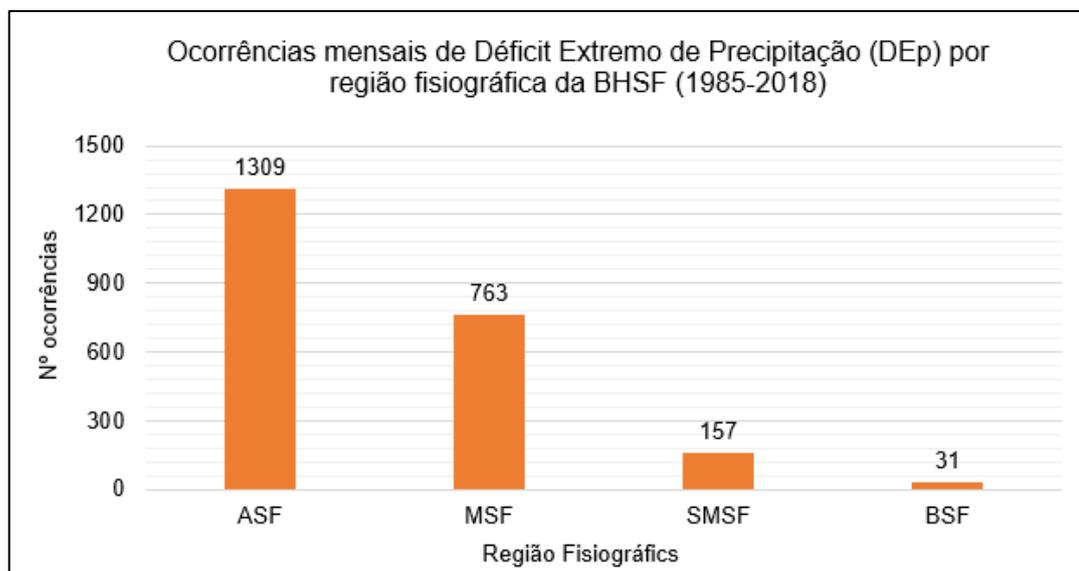
Figura 6 - Bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHSF): Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por mês, 1985-2018



Fonte: O Autor, 2023.

Por meio da figura 6, o mês de dezembro registrou número de ocorrências de DEp superior a todo os outros meses do ano, no total de 223 registros, seguido de janeiro, no total de 203 registros. De maneira geral, percebe-se uma ocorrência maior de déficits de precipitação nos meses compreendidos no período chuvoso das regiões tropicais (verão), em detrimento do período seco (inverno), sendo que, o mínimo de ocorrência foi no mês de novembro, com o total de 162 registros, seguido do mês de outubro, com 169 registros.

Figura 7 - Bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHSF): Ocorrências de Déficit Extremo de Precipitação (DEp) por região fisiográfica, 1985-2018



Fonte: Autor (2023).

Com relação à distribuição das DEp por região fisiográfica, figura 7, é possível verificar que no Alto São Francisco é que está concentrado o maior número de registros de déficits extremos de precipitação, no total de 1.309, seguidos da região do Médio São Francisco. De maneira geral, é visível que as ocorrências desses extremos são marcadas de sul a norte, com maiores concentrações nas áreas de nascentes do rio São Francisco, ainda no estado de Minas Gerais, do que nas regiões de foz, na divisa entre os estados de Alagoas e Sergipe.

O método do IESP também permite que sejam conhecidos o período exato de início e término dos eventos de DEp, pois a variação da precipitação é sobre a mediana histórica do referido mês, estimando a duração (em meses) em que esse evento extremo permanece ativo, além da severidade do evento, por meio da acumulação dos desvios mensais. No quadro 1, então listadas as principais estações pluviométricas de cada região fisiográfica que registraram, respectivamente, o maior número total de ocorrências de DEp (em meses), a maior sequência de DEp consecutiva (duração em meses) e o desvio mais acentuado (mínimo), oriundo do acúmulo dos eventos de meses consecutivos, além de suas correspondentes datas de ocorrência. Os valores estão em destaque.

Quadro 1 - Bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHSF): Sumário das principais estações pluviométricas de cada região fisiográfica que registraram: o maior número de ocorrência, a maior sequência e o mínimo recorde relacionado aos Déficit Extremos de Precipitação, 1985-2018

| Estação pluviométrica | Nº total ocorrências (meses) | Meses de ocorrência | Maior sequência (nº meses) | Início e Término da sequência | Mínimo | Data ocorrência mínimo |
|--------------------------------------|------------------------------|--|----------------------------|-------------------------------|--------|------------------------|
| ALTO SÃO FRANCISCO - ASF | | | | | | |
| Barro Preto | 34 | jan/15; dez/15; mar/16 - nov/16; fev/17 - dez/18 | 23 | fev/17-dez/18 | -3,065 | jan/18 |
| Jaguaruna | 27 | out/16 - dez/18 | 27 | out/16 - dez/18 | -3,385 | jul/18 |
| Tapiraí | 13 | dez/17 - dez/18 | 13 | dez/17 - dez/18 | -4,035 | out/18 |
| MÉDIO SÃO FRANCISCO - MSF | | | | | | |
| Mocambo | 28 | abr/16 - ago/16; dez/16 - out/18 | 23 | dez/16 - out/18 | -3,536 | dez/17 |
| Fazenda Johá | 25 | dez/16 - dez/18 | 25 | dez/16 - dez/18 | -3,116 | dez/17 |
| Cachoeira da Manteiga | 3 | fev/13; nov/15 - dez/15 | 2 | nov/15 - dez/15 | -4,017 | dez/15 |
| SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO - SMSF | | | | | | |
| Açude Serrinha | 26 | mar/15 - abr/15; jun/15; mar/16 - jan/18 | 23 | mar/16 - jan/18 | -3,033 | fev/17 |
| Afogados da Ingazeira | 24 | Jan/17 a dez/18 | 24 | jan/17 - dez/18 | -2,857 | set/out 2018 |
| Juazeiro | 11 | fev/18 - dez/18 | 11 | fev/18 - dez/18 | -3,034 | dez/18 |
| BAIXO SÃO FRANCISCO - BSF | | | | | | |
| Penedo | 14 | abr/93 - mai/94 | 14 | abr/93 - mai/94 | -3,511 | set/93 |

Fonte: O Autor, 2023.

De acordo com o quadro 1, verifica-se que a estação Barro Preto (ASF), localizada no município de Mateus Leme, região metropolitana de Belo Horizonte, registrou a maior quantidade de ocorrências de DEp, no total de 34 meses (janeiro de 2015, dezembro de 2015, entre março de 2016 e novembro de 2016 e entre fevereiro de 2017 a dezembro de 2018). No MSF, a estação Mocambo, localizada no município de Santa Maria da Vitória, na região do extremo oeste baiano, registrou 28 ocorrências. No SMSF, a estação Açude Serrinha, no município de Mirandiba, na região do sertão pernambucano, registrou 26 ocorrências e no BSF a estação Penedo (município de Penedo, região leste alagoano) registrou 14 ocorrências, entre abril de 1993 e maio de 1994.

Concernente às durações, que são as sequências de meses consecutivos em que perduraram eventos de DEp, a estação Jaguaruna, no ASF, apresentou a maior durabilidade, registrando 27 meses consecutivos, no período entre outubro de 2016 a dezembro de 2018. No MSF, a estação Fazenda Johá apresentou a maior sequência, no total de 25 meses consecutivos, entre dezembro de 2016 e dezembro de 2018. No

SMSF a estação Afogados da Ingazeira registrou 24 meses consecutivos, entre janeiro de 2017 e dezembro de 2018 e, no BSF, a estação Penedo, com 14 meses consecutivos, entre abril de 1993 e maio de 1994.

Com relação aos mínimos, que são os valores negativos mais acentuados de DEp, duas estações registraram índice menor que -4, foram elas: Tapiraí, no ASF, com desvio negativo de -4,035, em outubro de 2018 e, estação Cachoeira da Manteiga, no MSF, com índice de -4,017, ocorrendo em dezembro de 2015. No SMSF, a estação Juazeiro registrou índice de -3,034 em dezembro de 2018 e a estação Penedo, no BSF, registrou índice de -3,511 em setembro de 1993.

É importante destacar alguns fatos relacionados aos dados produzidos pela aplicação do IESP. A tabela completa com os dados mensais possui 190 entradas, uma para cada estação pluviométrica ao longo da bacia, inviabilizando a sua reprodução completa neste artigo. Houve estações de dados que não registraram nenhuma ocorrência de DEp, para todas as regiões fisiográficas, e a estação Penedo foi a recordista nos três parâmetros analisados (número total de ocorrências, maior sequência e mínimo) em sua região fisiográfica: Baixo São Francisco. Ademais, o máximo de cada região fisiográfica, apresentado no quadro 1, não representa, necessariamente, o recorde da bacia. Por exemplo, a estação Álvaro da Silveira, no Alto São Francisco (estado de Minas Gerais) apresentou total de 33 meses com registro de DEp, valor superior à das estações Mocambo (MSF), Açude Serrinha (SMSF) e Penedo (14). Em função da tabulação e organização dos dados, foi dada preferência à análise por região fisiográfica, pois assim, além da verificação dos padrões de ocorrência de secas, poderá revelar sinais de mudanças no regime climatológico/hidrológico, oriundos do processo de mudanças climáticas, em curso.

A partir dos dados apresentados, algumas considerações podem ser tecidas. O fato de que a precipitação é maior na região do ASF, no estado de Minas Gerais, mesma região em que há maior número de ocorrências de DEp, sobretudo quando ocorre com maior veemência nos meses de dezembro e janeiro, meses nos quais se percebem maior contribuição no volume de chuvas anuais, conseqüentemente, para a manutenção da vazão e disponibilidade hídrica para toda a extensão do rio São Francisco, coloca em cheque a quantidade de água superficial disponível ao longo do ano para toda a extensão principal do rio. A redução da quantidade de água superficial já é um fato na referida bacia, havendo redução de 50% da superfície de águas entre os anos de 1980 e 2020, como apontado por MAPbiomas (2022).

Marengo *et al.* (2007), ao analisar as mudanças climáticas no território brasileiro, verificaram que, nos fins do século XXI, haverá tendências tanto positivas quanto negativas de precipitação (mensal e anual). Com relação ao Nordeste, há tendência de redução de dias com chuva inferior a 10 mm. Para as chuvas intensas, os autores verificaram que há tendência positiva na porção norte e tendência negativa para a porção sul da região nordeste, que englobaria as regiões fisiográficas do Alto e Médio São Francisco, nos estados de Minas Gerais e Bahia, respectivamente.

Recentemente, Silva, Ferreira e Ávila (2021) ao aplicarem métodos para a verificação de tendências nas precipitações na região hidrográfica do rio São Francisco, concluíram que, em relação às precipitações mensais, em 66% das estações analisadas apresentaram tendência negativa, ou seja, redução da precipitação. Para as precipitações anuais, há tendência negativa para 79% das estações pluviométricas analisadas. De modo geral, nas estações ao sul da bacia, no Alto São Francisco, todos os testes aplicados pelos referidos autores demonstraram redução na precipitação.

Os déficits extremos vêm ocorrendo com maior frequência a partir do ano 2015 (com pico no ano de 2017), evidência a qual permite inferir que, durante a década de 2010, houve a atuação de perturbações no sistema climático inibindo a ocorrência de chuvas ou chovendo abaixo da média para o período. Em conformidade com esses resultados, Freitas (2022) identificou a ocorrência de secas hidrológicas na BHSF entre 1979 e 2020, e a mais severa delas ocorreu entre março de 2012 a setembro de 2020, no ASF. No MSF, o período de maior severidade foi entre fevereiro de 2016 a outubro de 2020, no SMSF foi entre janeiro de 2012 a dezembro de 2015 e, no BSF entre abril de 2015 e agosto de 2017.

Pimentel e Assis (2022), ao analisarem a ocorrência de secas e a influência de teleconexões no município de Petrolina (PE), no coração do semiárido, localizado na região fisiográfica do SMSF, constataram que nos anos entre 2011 e 2019 houve predominância de anos “secos” ou “muito secos”, em relação a precipitação anual, com exceção dos anos de 2014 e 2016, que foram classificados como anos “habituais”. Adicionalmente, houve atuação do fenômeno El Niño nos anos de, 2015, 2018 e 2019 que, como uma de suas seqüências no Brasil, é o aumento da pluviosidade na região Nordeste, compreendendo a BHSF. Apesar disso, os autores detectaram também atuação da fase positiva do Dipolo do Atlântico, entre 2012 e 2019 (no ano de 2016 o dipolo foi neutro), que tem como seqüência a inibição dos processos convectivos no NEB.

Nessa mesma perspectiva, Pezzi e Cavalcanti (1999a) comprovaram que em anos de atuação do El Niño com Dipolo do Atlântico positivo, há uma redução significativa das chuvas no trimestre março-abril-maio, para as regiões Norte e Nordeste, que coincide com o período chuvoso no SMSF e o término da estação chuvosa no ASF e MSF. Já em anos de La Niña com Dipolo do Atlântico positivo, a anomalia negativa de precipitação é mais restrita para a região do semiárido nordestino (Pezzi; Cavalcanti, 1999b). Para entender melhor a relação entre os fenômenos ENSO e Dipolo do Atlântico sobre a precipitação no Nordeste do Brasil, ver Aragão (1998) e Rocha *et al.* (2022).

Em consonância ao exposto, Galvêncio e Souza (2002) comprovaram, estatisticamente, a influência do El Niño na precipitação das regiões ASF e MSF, sendo que, quando o fenômeno está atuando, registra-se um aumento do volume de precipitações nessas regiões fisiográficas, e diminuição no BSF. Associando os resultados apresentados, depreende-se que a atuação do Dipolo do Atlântico, em sua fase positiva consegue inibir a precipitação sobre a bacia hidrográfica do São Francisco, fazendo com que, mesmo sob a atuação do fenômeno El Niño, haja redução nos volumes pluviométricos, uma possível resposta à quantidade elevada de DEP a partir do ano de 2015. Ressalta-se a tendência de redução no quantitativo de precipitação anual ao longo das décadas, evidenciado por Silva, Ferreira e Ávila (2021).

Com relação aos usos da água na BHSF, o Comitê da Bacia do Rio São Francisco (CBHSF, 2020) aponta os usos predominantes de acordo com cada região fisiográfica, como, por exemplo, no ASF, há o predomínio para o abastecimento das agroindústrias e mineração. No MSF, a agroindústria e turismo é o setor econômico que mais demanda. Já no SMSF, destacam-se os setores produtivos agroindustriais de grãos e fruticultura e, no BSF as atividades agropecuárias e pesca, bem como aquicultura, turismo e lazer. Merece destaque também a produção de energia hidrelétrica, com as usinas de Sobradinho (BA), Apolônio Sales (AL), Paulo Afonso (BA), Luiz Gonzaga (BA/PE) e Xingó (AL/SE), todas elas implantadas e em funcionamento, e abastecidas pelo curso principal do rio São Francisco. Amorim, Souza e Reis Júnior (2017) avaliam que as alterações dos usos do solo implicam no ciclo hidrológico terrestre, devido à modificação da interceptação das águas pluviais, da infiltração, bem como da disponibilidade de águas superficiais que influenciam diretamente a evapotranspiração. A partir disso, verifica-se que, muito além do caráter natural, as secas e a redução do volume de água disponível, são também produtos da atividade antrópica, sem que seja realizado o devido planejamento e manejo dos recursos hídricos.

Em vista disso, a pressão sobre os recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio São Francisco só aumenta, sobretudo, após o desenvolvimento do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), conhecido popularmente como Transposição do Rio São Francisco. Tal ideia surgiu ainda no período Imperial brasileiro (século XIX), com o objetivo de levar água, em quantidade e qualidade, para localidades áridas e semiáridas do sertão nordestino que vivem com escassez hídrica crônica, com a finalidade de promover o abastecimento da população residente, atividades agrícolas, turismo e produção industrial, além de garantir reserva de água para o período de ausência de chuvas e nos intervalos em que os rios tributários ao São Francisco sequecem (Henkes, 2013).

Ao longo das décadas do século XX, o projeto de transposição voltava a cena no âmbito político, como uma promessa ao desenvolvimento do Nordeste semiárido. Contudo, apenas no ano de 2008 é que se iniciam as obras bilionárias de transposição, a partir de dois pontos de captação, levar-se-ão águas do rio São Francisco para os eixos Leste e Norte, para os estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, como apontado no portal "Sobre a Transposição", do governo federal (Brasil, 2023). Após mais de uma década de obras, 14,6 bilhões de reais de investimento (no projeto original previa-se o investimento de 4,5 bilhões de reais) e alternâncias no cenário político brasileiro, Brasil (2023) afirma que 100% do projeto já está em operação, abastecendo 12 milhões de pessoas, em 390 municípios.

Alguns pontos negativos do projeto de transposição, dispostos no Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), são evidenciados por Sousa, Almeida e Santos (2018), sendo que, o volume de água que chegará em alguns rios tributários, ao longo dos eixos Norte e Leste, será maior que a capacidade natural desses leitos, inundando riachos paralelos. Para a construção dos canais artificiais houve desmatamento de aproximadamente 430 hectares de vegetação nativa, agravado pelo baixo potencial de regeneração do bioma da Caatinga. Além disso, os canais artificiais passarão por grandes latifúndios e, com a expansão do agronegócio para essas regiões, beneficiarão esses latifundiários em detrimento de pequenos produtores.

Domingues (2019) evidencia que o excesso de usos da água da bacia hidrográfica do São Francisco tem impactado negativamente as sub-bacias adjacentes, sendo que, os poços precisam ser cavados em uma profundidade maior para conseguir captar água do lençol freático. A diminuição da vazão (como apontado por MAPbiomas, 2022), sobretudo, pela atividade de geração de energia pelas hidrelétricas, fez com que diminuísse o volume da vazão na foz, assim, a água do mar avançou rio adentro, podendo ser verificados elevada taxa de salinidade até 40 km antes da foz.

Medidas de construção de açudes, cisternas e poços vem sendo tomadas desde o ano de 1890 (Assunção; Livingstone, 1993), pois, até então, o fenômeno das secas era concebido apenas por questões físicas e inerentes ao meio ambiente. De 1890 até 2024, as estimativas apontam que já foram construídos mais de 50 mil poços artesianos, destes, apenas 20 mil estão em operação, os açudes possuem apenas 20% de eficiência e os poços artesianos são a alternativa mais viável, mas de difícil implementação devido à indisponibilidade de águas subterrâneas, além do terreno cristalino que dificulta sua escavação, encarecendo o processo (Soares, 2013). Como pode ser verificado, medidas para contornar os efeitos das secas na região nordeste possuem mais de 100 anos de existência, porém elas ainda permanecem afetando a população local, em determinados períodos mais do que outros, acompanhando o ritmo da variabilidade climática.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Índice Estandarizado de Secas Pluviométricas (IESP) foi desenvolvido a partir da necessidade de contornar alguns problemas de aplicabilidade verificado pela autora Pita López (2000) em algumas regiões da Espanha, classificadas como clima mediterrâneo. Ela verificou que os métodos outrora desenvolvidos, tais como SPI e PDSI, por exemplo, possuíam melhor aplicabilidade em regiões de climas temperados e para países com elevada densidade de estações de monitoramento, conseqüentemente, maior disponibilidade de dados variados. No Brasil, é possível encontrar na bibliografia disponível muitos trabalhos acadêmicos que utilizaram o SPI, sendo necessário realizar correções e/ou adaptações ao método para identificar com precisão os períodos de ocorrência dos eventos de seca, bem como sua magnitude.

A OMM (Organização Meteorológica Mundial) estima que, para uma boa cobertura de monitoramento das variáveis climáticas, cada estação deva possuir um alcance de 150 km para a América do Sul, do Norte, Central e Caribe (WMO, 2010), para a Europa, esse alcance diminui para 60 km. Analisando as distâncias entre as estações de dados dentro da BHSF, verifica-se que, devido haver uma menor quantidade de estações entre as regiões fisiográficas do MSF e SMSF, há um grande vazio sem estações de dados, sendo que, a distância máxima entre as estações nessa localidade é de, aproximadamente, 240 km. Contudo, devido à transição gradual das características físicas da bacia e, por ser uma região semiárida, os regimes pluviométricos não são muito discrepantes, não comprometendo a qualidade dos resultados apresentados de DEp.

Para o caso da bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHSF), que é caracterizada pela ocorrência de uma diversidade de tipos de clima, variando em torno do Clima Tropical, tal índice foi eficaz e de fácil execução, uma vez que é necessário dispor apenas de dados mensais de precipitação. Os resultados obtidos revelaram um cenário preocupante sobre as secas na BHSF, sobretudo na segunda década do século XXI, que concentraram um massivo número de eventos de seca, em todas as suas regiões fisiográficas.

De maneira geral, a bacia registrou mais eventos de excedente de precipitação do que déficits de precipitação, na proporção de 80,3% para os períodos úmidos, contra 19,7% para os períodos secos, excluindo os eventos classificados como “normais”, no intervalo entre -0,99 e +0,99. Os Déficits Extremos de Precipitação (DEp) foram a classe de menor frequência de ocorrência, no total de 2.260 registros mensais, que representam 2,9% do total geral.

As ocorrências dos DEp foram mais frequentes na região do Alto São Francisco (ASF), nos meses de dezembro e janeiro, a partir do ano de 2015. O ASF é a região com maior pluviosidade de toda a bacia e, os meses de dezembro e janeiro compreendem a estação chuvosa nas regiões tropicais, o que contribui negativamente para a pluviosidade, conseqüentemente, a disponibilidade hídrica para toda a bacia, comprometendo o abastecimento de água para as atividades humanas e econômicas que dependem exclusivamente das águas do rio São Francisco, conhecido como “Velho Chico”.

Medidas governamentais vêm sendo tomadas desde o fim do século XIX, com a construção de açudes, poços, cisternas e, recentemente, a transposição do rio São Francisco. Contudo, ao longo de mais de 100 anos o impacto das secas sobre a população local não foi solucionado, pelo contrário: acabou por agravar o efeito das secas, como pode ser observado a partir da redução das águas superficiais pela metade, nos últimos 30 anos. Com isso, todas as providências realizadas até então se provaram ineficientes, pois não conseguiram solucionar as conseqüências das secas para toda a população, para toda a bacia do rio São Francisco.

Como sugestões para futuros trabalhos sobre a climatologia da bacia hidrográfica do rio São Francisco, análises integradas nas esferas ambientais, econômicas e sociais, de modo que possam ser relacionados os maiores eventos de secas pluviométricas com os respectivos sistemas atmosféricos que as condicionaram, para estimar padrões de ocorrência ao longo do tempo e verificar as consequências socioeconômicas desses eventos, que vem ocorrendo na última década. Além disso, incentivar a utilização do método IESP para determinar tanto os períodos secos quanto úmidos para todas as regiões do Brasil, a fim de padronizar as ocorrências desses no país, e verificar sua aplicabilidade, a fim de contornar as dificuldades de disponibilidade de dados e execução dos métodos de determinação de secas pluviométricas outrora consagrados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de doutorado, que possibilitou a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, R. S.; SOUZA, S. A. de; REIS JÚNIOR., D. S. Autocorrelation and Multiple Testing Procedures in Trend Detection Analysis: The Case Study of Hydrologic Extremes in São Francisco River Basin, Brazil. *In: WORLD ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES CONGRESS*, 17., 2017. **Anais [...]**. Sacramento, California, EUA: American Society of Civil Engineers (ASCE), 2017, p. 134-148. <https://doi.org/10.1061/9780784480601.013>
- AMS - American Meteorological Society. Meteorological Drought. **Bull. Amer. Met. Soc.**, 85, 2003. Disponível em: <https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/about-ams/ams-statements/archive-statements-of-the-ams/meteorological-drought/>. Acesso em: 07 dez. 2023.
- ANA - Agência Nacional de Águas. Portal Hidroweb. **Séries Históricas de Estações**. 2020. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 15 dez. 2023.
- ARAGÃO, J. O. R. de. O impacto do ENSO e do dipolo do Atlântico no nordeste do Brasil. **Bull. Inst. fr. études andines**, Lyon, v. 27, n. 3, p. 839-844, 1998. <https://doi.org/10.3406/bifea.1998.1339>
- ASSUNÇÃO, L. M.; LIVINGSTONE, I. Desenvolvimento inadequado: construção de açudes e secas no sertão do Nordeste. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, RJ, v. 47, n. 3, p. 425-448, jul-set/1993. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rbe/article/view/582/7932>. Acesso em: 06 jan. 2024.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 11 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006, 332 p.
- BLAIN, G. C. **Avaliação e adaptação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) e do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) às condições climáticas do estado de São Paulo**. 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) - Instituto Agrônomo de Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000400020>
- BLAIN, G. C.; BRUNINI, R. Análise comparativa dos Índices de Seca de Palmer, Palmer adaptado e Índice Padronizado de Precipitação no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, RJ, v. 22, n. 1, p. 105-111, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862007000100011>
- BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. **Anuário brasileiro de desastres naturais 2013**. Brasília: CENAD, 2014.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Transposição São Francisco**, 2023. Disponível em: <https://transposicaoosaofrancisco.com.br/index.php/sobre/>. Acesso em: 15 dez. 2023.
- CAVALCANTI, I. F. A. *et al.* (orgs). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, 468 p.
- COMITÊ DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO (CBHSF). **A Bacia**. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/#regioes-hidrograficas>. Acesso em: 09 dez. 2023.
- DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. G. A. J. Para entender Tempo e Clima. *In: CAVALCANTI, I. F. A. et al.* (orgs). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. cap. 1, p. 15-22.

DINIZ, M. T. M.; MEDEIROS, S. C. de.; CUNHA, C. J. Sistemas atmosféricos atuantes e diversidade pluviométrica em Sergipe. **Boletim Goiano de Geografia (Online)**. Goiânia, GO, v. 34, n. 1, p. 17-34, 2014. <https://doi.org/10.5216/bgg.v34i1.29313>

DOMINGUES, F. **Com mais de 90% da transposição concluída, impactos ambientais no Rio São Francisco ainda são incertos**. Brasília, DF: FUNDAJ - Fundação Joaquim Nabuco; MEC - Ministério da Educação, 23 dez. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/transposicao-rio-sao-francisco/com-mais-de-90-da-transposicao-concluida-impactos-ambientais-no-rio-sao-francisco-ainda-sao-incertos>. Acesso em 20 fev. 2024.

EL-TANTAWI, A. M. *et al.* Assessment of Meteorological Drought in North-Western Egypt using Rainfall Deciles, Standardized Precipitation Index and Reconnaissance Drought Index. **Disaster Advances**, v. 14, n. 1, p. 1-14, 2021.

FOREST GIS. Download GIS (Banco de Dados de Links). **Base Hidrográfica Nacional**. Disponível em: <https://forest-gis.com/download-gis-base-de-dados/>. Acesso em: 15 dez. 2023.

FREITAS, A. A. de. **Avaliando os padrões atmosféricos e oceânicos durante eventos de seca no Brasil: o estudo de caso das bacias do São Francisco e Paraná**. 2022. 73 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG, 2022.

GALVÍNCIO, J. D.; SOUSA, F. A. S. Relação entre o fenômeno El Niño e os totais mensais precipitados na bacia hidrográfica do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS, v. 7, n. 4, p. 113-119, 2002. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v7n4.p113-119>.

HENKES, S. L. Os riscos das decisões: um estudo de caso da transposição do rio São Francisco. **Revista NEJ - eletrônica**, Itajaí, SC, v. 18, n. 2, p. 269-288, 2013. <https://doi.org/10.14210/nej.v18n2.p269-288>

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. **Cidades e estados do Brasil**. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 29 nov. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malhas municipais**. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 01 dez. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Vetores estruturantes da dimensão socioeconômica da bacia hidrográfica do rio São Francisco**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. (Estudos e Pesquisas - Informação Geográfica, n. 6). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv42291.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2023.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Boletim do Grupo de Pesquisas em Mudanças Climáticas-GPMC**, n. 8, p. 1-5, 2009. (Edição Especial). Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/newsletters/Boletim_No8_Port.pdf. Acesso em: 01 dez. 2023.

IPCC, 2001: **Climate Change 2001**: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 pp.

IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2007: Mitigation**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2014: **Climate Change 2014**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [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. In Press.

IPCC, 2023. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023, pp. 1-34

LI, X.; SHA, J.; WANG, Z. L. Comparison of drought indices in the analysis of spatial and temporal changes of climatic drought events in a basin. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 1, p. 10695-10707, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04529-z>

LUPO, A. R. *et al.* A Comparison of the Characteristics of Drought during the Late 20th and Early 21st Centuries over Eastern Europe, Western Russia and Central North America. **Atmosphere**, v. 12, n. 8, p. 1-21, 2021. <https://doi.org/10.3390/atmos12081033>

MAPBIOMAS [BRASIL]. **São Francisco perdeu 50% da superfície de água nas últimas três décadas**, 2022. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2022/06/03/sao-francisco-perdeu-50-da-superficie-de-agua-nas-ultimas-tres-decadas/>. Acesso em: 02 jan. 2024.

MARENGO, J. A. *et al.* **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2007. 54p.

MARENGO, J. A. *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. (Orgs.). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande: INSA, 2011, p. 383-422.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., 1993, Anaheim. **Anais [...]**. Anaheim: Preprints, p. 17-22, 1993.

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

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, v. 391, n. 1-2, p. 202-216, set./2010. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, RJ, v. 17, p. 1-10, 2002.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. 1975. 219 p. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística Básica**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2004. 526 p.

NEMUS - Gestão e Requalificação Ambiental Lda. **RP2 - Diagnóstico Consolidado da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. Associação Executiva de Apoio à Gestão das Bacias Hidrográficas Peixe Vivo. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF), out./2015, 489 p. (Vol. 1 - Relatório de diagnóstico).

PETRUCCI, E.; OLIVEIRA, L. A.; SILVA, R. C. Secas pluviométricas no estado de Minas Gerais, de 1980 a 2017. **RA'EGa: o espaço geográfico em análise**, v. 54, p. 129-153, 2022. DOI <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v54i0.76135>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/76135/46709>. Acesso em: 10 dez. 2023.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. Precipitação sobre a América do Sul para uma situação de El Niño conjugada com Dipolo Positivo e Negativo de TSM no Atlântico em simulações com MCG CPTEC/COLA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999a, p. 1-5. Disponível em: http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2004/06.08.09.34/doc/Pezzi_Precipitacao%20sobre%20a%20America%20do%20Sul%20.pdf. Acesso em: 20 fev. 2024.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. Precipitação sobre a América do Sul para uma situação de La Niña conjugada com dipolo positivo e negativo de TSM no Atlântico em simulações com o MCG CPTEC/COLA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999b. Trabalho 478, p. 1715-1719. Disponível em: <https://www.sbagro.org/files/biblioteca/478.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2024.

PIMENTEL, F. O.; ASSIS, W. L. Análise da variabilidade climática no município de Petrolina-PE entre os anos de 1973-2021. **Revista de Geografia**, Juiz de Fora, MG, v. 12, n. 2, p. 281-303. (Especial - Climatologia Geográfica: experiências com técnicas e pesquisa). <https://doi.org/10.34019/2236-837X.2022.v12.39026>

PITA LÓPEZ, M. F. Un nouvel indice de sécheresse pour les domaines méditerranéens: Application au bassin du Guadalquivir (sud-ouest de l'Espagne). L'association Internationale de Climatologie, **Publications de l'Association Internationale de Climatologie**, v. 13, p. 225-234, 2000.

PRIETO, M. R. et al. Sequías extremas en Mendoza durante el siglo XX y principios del XXI. Administración de la carencia y conflictos socio-políticos. In: ZARRILLI, G.; RUFFINI, M. (orgs). **Medio ambiente y transformación rural en la Argentina contemporánea**. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes. cap. 1 p. 1-30, 2020.

RAO, V. B.; CAVALCANTI, I. F. A.; HADA, K. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapour characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, n. D21, p. 26.539-26.551, 1996. <https://doi.org/10.1029/96JD01936>.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teorética**, v. 23, n. 45-46, p. 288-294, 1993. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7626091/mod_folder/content/0/referências%20bibliográficas/RIBEIRO Antonio Giacomini As escalas do clima.pdf. Acesso em 16 nov. 2023.

ROCHA, L. H. S. SILVA, D. F. da.; KAYANO, M. T.; BONFIM, O. E. T. Homogeneidade, eventos extremos e suas causas climáticas: bacia hidrográfica do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 2, 2022. <https://doi.org/10.1590/0102-77863710122>

ROSA, R. G. T. D. **Índices de seca**: aplicação ao continente português. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônoma) - Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

SANTOS, E. A. B. dos. **Análise da precipitação na bacia do rio São Francisco**. 2018. 90 f. Tese (Doutorado em Biometria e Estatística aplicada) – Departamento de Estatística e Informática, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/bitstream/tede2/7609/2/Esdras%20Adriano%20Barbosa%20dos%20Santos.pdf>. Acesso em 01 dez. 2023.

SILVA, D. F. da.; GALVÍNCIO, J. D.; NÓBREGA, R. S. Influência da variabilidade climática e da associação de fenômenos climáticos sobre sub-bacias do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais - RBCIAMB**, n. 19, p.46-56, 2011. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/361/310. Acesso em: 01 dez. 2023.

SILVA, M. M.; FERREIRA, V. O.; ÁVILA, D. M. Análise de tendências e extremos pluviométricos na região hidrográfica do rio São Francisco. **Estudos Geográficos: revista eletrônica de Geografia**, Rio Claro, SP, v. 19, n. 3, p. 127-149, 2021. <https://doi.org/10.5016/estgeo.v19i3.16194>

SOARES, E. Seca no Nordeste e a transposição do rio São Francisco. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, MG, v. 9, n. 2, p. 75-86, 2013. <https://doi.org/10.35699/2237-549X..13362>

SOUSA, L. A.; ALMEIDA, L. K. P. de; SANTOS, P. S. A. dos. Transposição do Rio São Francisco: A história que gera benefícios e malefícios aos brasileiros. **Revista de Estudos Interdisciplinares do Vale do Araguaia - REIVA**, v. 1, n. 01, p. 1-7, 21 jun. 2018. (Edição de Lançamento da Revista de Estudos Interdisciplinares do Vale do Araguaia). Disponível em: <https://reiva.emnuvens.com.br/reiva/article/view/23/7>. Acesso em: 03 jan. 2024.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: 2006. (Versão Digital). Disponível em: <https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2023.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 2004. 449 p.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. **Water International**, v. 10, n. 3, p. 111-120, 1985. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>

WMO - World Meteorological Organization. **A note on climatological normals**: report of a working group of the Commission for Climatology. Technical Note nº 84. Geneva, Suíça: WMO, 1967. (Technical Publication v. 108; Série nº 208). Disponível em: https://library.wmo.int/viewer/58649/download?file=wmo_208.pdf&type=pdf&navigator=1. Acesso em 04 jul. 2024.

WMO - World Meteorological Organization. WMO nº 544. **Manual on the Global Observing System**. Genebra, Suíça: WMO, 2010 (Volume II – Regional Aspects). Disponível em: <https://community.wmo.int/en/wmo-no-544-manual-global-observing-system>. Acesso em 05 jul. 2024.

YILDIRIM, G.; RAHMAN, A.; SINGH, V. P. Meteorological and hydrological drought hazard, frequency and propagation analysis: A case study in southeast Australia. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 44, n. 1, p. 1-19, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101229>

ZARGAR, A. et. al. A review of droughts indices. **Environmental Reviews**, v. 19, p. 333-349, 2011. <https://doi.org/10.1139/a11-013>

Recebido em: 02/03/2024

Aceito para publicação em: 31/07/2024