

CAMINHOS PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL: A CONTRIBUIÇÃO DO PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO, BRASIL

Genária da Silva Andrade

Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Garanhuns, PE, Brasil
andradegenaria@gmail.com

Werônica Meira de Souza

Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Garanhuns, PE, Brasil
veronica.meira@ufape.edu.br

Josiclêda Domiciano Galvêncio

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil
josicleda.galvencio@ufpe.br

RESUMO

A insustentabilidade hídrica é um desafio em áreas propensas à seca, como o Nordeste brasileiro, medidas como o Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF) foram implementadas para enfrentar a escassez hídrica e seus impactos. Objetivou-se analisar como a implementação do reservatório na sub-bacia Riacho dos Milagres, no Semiárido de Pernambuco. Utilizou-se o mapeamento do uso da terra pelo Mapbiomas dos anos de 2009-2022 e da série histórica de precipitação utilizando dados CHIRPS entre os anos de 1981-2022, obtidos pela plataforma de geoprocessamento em nuvem GEE. Percebeu-se que os anos estão abaixo da média e como anos extremos se destacam: 1985 como de maior precipitação ultrapassando 1.000 mm e 2012 como de menor precipitação (309 mm), coincidindo com o início da seca mais longa e severa neste século. Já os meses mais chuvosos corresponderam a quadra de janeiro a abril, referentes às estações verão-outono. Observou-se transformações no aumento de superfície hídrica e no aumento do uso da terra, nas atividades agrícolas na direção do canal de transposição e próximo do reservatório de Milagres. Mesmo sendo recente, seus impactos promoveram fomentação nas atividades agrícolas em que a precipitação é fundamental na avaliação do desenvolvimento do PISF na região.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Modelagem. Recursos hídricos. Google Earth Engine. MapBiomas.

PATHWAYS TO REGIONAL DEVELOPMENT: THE CONTRIBUTION OF THE SÃO FRANCISCO RIVER INTEGRATION PROJECT TO THE SEMI-ARID PERNAMBUCO, BRAZIL

ABSTRACT

Water unsustainability is a challenge drought-prone areas, such as the São Francisco River Integration Project (PISF) were implemented in order to address water scarcity and its impacts. Therefore, the objective of this study is to analyze how the implementation of the reservoir in the Riacho dos Milagres sub-basin. The mapping of land use by Mapbiomas for the years 2009-2022 and of precipitation using CHIRPS data between the years 1981-2022, obtained by the GEE cloud geoprocessing platform. The years are below average and extreme years stand out: 1985 as having the highest rainfall exceeding 1,000 mm and 2012 as having the lowest rainfall (309 mm), coinciding with the beginning of the longest and most severe drought in this century. The rainiest months corresponded to the period from January to April, referring to the summer-autumn seasons. Significant transformations in the increase in water surface and the increase in land use, in agricultural activities in the direction of the transposition channel and close to the Milagres reservoir. Even though the implementation of the reservoir is recent, its impacts have already promoted agricultural activities in which precipitation analysis proved to be fundamental in evaluating the development of PISF in the region.

Keywords: Climate change. Modeling. Water resources. Google Earth Engine. MapBiomas.

INTRODUÇÃO

Diante dos vários desafios ambientais enfrentados pela sociedade atualmente, alguns se tornam mais prementes do que outros como, as mudanças climáticas, que têm significativamente contribuído para a insustentabilidade hídrica no mundo. De acordo com os últimos relatórios AR5 (2014) e AR6 (2023) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) do grupo I, “The Physical Science Basis”, as projeções climáticas preveem importantes alterações nos padrões de temperatura e precipitação para o Brasil, principalmente em sua região mais vulnerável, o Nordeste.

Essa região é considerada uma das mais expostas aos impactos das variações climáticas (Rodrigues, 2018), devido aos seus arranjos naturais, que resultam em irregularidade e incerteza de chuvas (Costa; Oliveira, 2019). Vários estudos têm apontado a variabilidade climática como um dos principais fatores responsáveis pelos déficits de precipitação em diversas regiões do mundo (Thornton *et al.*, 2014; Gu *et al.*, 2019; Bhaga *et al.*, 2020; Gebrechorkos; Hulsmann; Bernhofer, 2020; Arias Gomez *et al.*, 2024; Lalika; Mujahid; Lalika, 2024; Thomas; Joseph, 2024).

Como resultado dessas variações, secas são frequentes principalmente em áreas semiáridas e áridas (Silva *et al.*, 2022), que no geral, possuem baixo volume pluviométrico em boa parte de sua área, como também, apresentam tendência de maior ocorrência de precipitação em outras, fazendo com que as variações nas distribuições pluviométricas e os volumes possam causar alterações expressivas em determinadas porções da região (Jardim *et al.*, 2022). Essas mudanças naturais no clima são identificadas como responsáveis pelos eventos climáticos extremos, aumentando os riscos para a sociedade (Van der Wiel; Bintanja, 2021). Em decorrência da variabilidade climática, alto risco a eventos de seca e da emaranhada gestão das águas, o Nordeste experimenta conflitos relacionados aos recursos hídricos e seu acesso (Costa de Brito *et al.*, 2020).

A insuficiente disponibilidade de água, especialmente na região semiárida do Brasil, é frequentemente citada como uma das principais limitações ao seu desenvolvimento (Castro, 2018; Levino; Carvalho; Pereira, 2020). A escassez hídrica, tanto por vias naturais quanto por falta de infraestruturas de abastecimento, afeta o desenvolvimento econômico, social e ambiental dessa região (Rodrigues, 2020). Tal circunstância se torna ainda mais crítica, já que o Nordeste é a segunda região mais populosa do país (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2022) e metade dos estados dessa região possuem mais de 85% de sua área classificada como semiárida (Articulação Semiárido Brasileiro - ASA, 2019). Essa parte do território é caracterizada por condições climáticas específicas, geralmente desfavoráveis e desafiadoras.

Ao longo de séculos as intervenções na região se atrelaram a centralização e fragmentação de ações e políticas públicas e pela criação de órgãos de “luta” contra as secas, que acabaram se transformando em objetos de disputas políticas entre os diferentes segmentos das elites rurais nordestinas (Araújo; Vianna; Ruffo, 2015). Diante de tantas políticas, o Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), emerge como uma das iniciativas mais ambiciosas e controversas do país, possuindo uma discussão histórica com uma forte dialética essencialmente política e financeira sobre os recursos hídricos com efeitos que se estendem além da mera disponibilidade de água, influenciando diretamente o uso e a cobertura da terra na região.

Com a implementação do PISF e conseqüentemente seus resultados, as perspectivas para o desenvolvimento do Semiárido tornar-se-iam mais otimistas, aproximando essa idealização da realidade. Com o objetivo de garantir segurança hídrica, mitigar os efeitos da seca e promover o desenvolvimento regional nas áreas áridas e semiáridas (Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC, 2022), o projeto também teria como propósito final promover o desenvolvimento regional (Aquino, 2019). Com cunho apelativo emocional, já que seus objetivos estão ligados a oferta de um bem indispensável à vida e ao desenvolvimento dela, o projeto promoveu uma grande expectativa para a população das áreas receptoras e conseqüentemente a aceitação do mesmo (Oliveira, 2018). Assim, sua proposta foi apresentada com a face de solução para a escassez hídrica e o uso sustentável dos recursos naturais, de uma política que poderia mitigar os impactos das variações climáticas na região.

Sendo que, para garantia e eficácia da obra, é necessário considerar não apenas as questões climatológicas relacionadas à demanda e oferta de recursos hídricos, mas também o aumento populacional e as diversas atividades econômicas que afetam o uso e ocupação da terra e comprometem a distribuição da água. Estes desafios se agravam durante períodos prolongados de seca e estiagem, que afetam diretamente os níveis de água dos açudes, reservatórios e outras fontes de abastecimento, especialmente para as comunidades rurais.

As áreas com maior vulnerabilidade hídrica, como afirmam Brito, Brito e Rufino (2022), em que os riscos ultrapassam quantificações de oferta e demanda hídrica, atinge o desenvolvimento humano, político e econômico da população são as que se tornam preocupantes, porque condenam milhões de pessoas a uma situação de pobreza pela precariedade de atendimento as necessidades básicas de subsistência como a saúde, limitação de oportunidades de trabalho e renda no campo (Luna, 2007; Azevêdo, 2015).

Nesse contexto, Viana (2023) destaca a importância da integração de abordagens geoespaciais nas investigações geográficas, enfatizando os avanços da tecnologia SIG para o desenvolvimento de sistemas em múltiplas escalas espaciais e temporais, bem como modelos de simulação, contribuindo com resultados que possam auxiliar nas tomadas de decisões. Essas ferramentas são eficazes por alcançar diferentes escalas e possuir um vasto conjunto de dados em um único local, o que facilita análises abrangentes e minuciosas, fornecendo uma visão completa das informações disponíveis, incluindo as peculiaridades existentes em determinadas regiões do mundo, como é o caso da região semiárida do Nordeste do Brasil (NEB).

Assim, a modelagem emerge como uma ferramenta importante para auxiliar não somente na compreensão e prevenção de impactos ambientais, mas também colabora nos estudos sociais e econômicos, contribuindo intrinsecamente em pesquisas relacionadas a modificações das paisagens no espaço geográfico, essencialmente as induzidas ou aceleradas pelo fator antrópico e seu modo de vida. Além disso, vem se popularizando o uso de ferramentas de processamento em nuvem, como o *Google Colab* com a linguagem *Python* e o *Google Earth Engine* (GEE) com linguagem *JavaScript*, ambos desenvolvidos pela empresa *Google*. São plataformas de alto potencial de armazenamento e processamento de imagens de satélites espaço-temporais em níveis locais, regionais e globais em menor tempo (Lobo, Ramalho, 2020).

Para as Geociências, o GEE representa uma ferramenta poderosa e inovadora, destacando-se pelas suas múltiplas aplicações nas análises de produções agrícolas, mudanças de uso e cobertura da terra, gerenciamento de riscos e desastres, superfície de água, monitoramento de vegetação e incêndios, entre muitos outros (Velastegui-Montoya *et al.*, 2023).

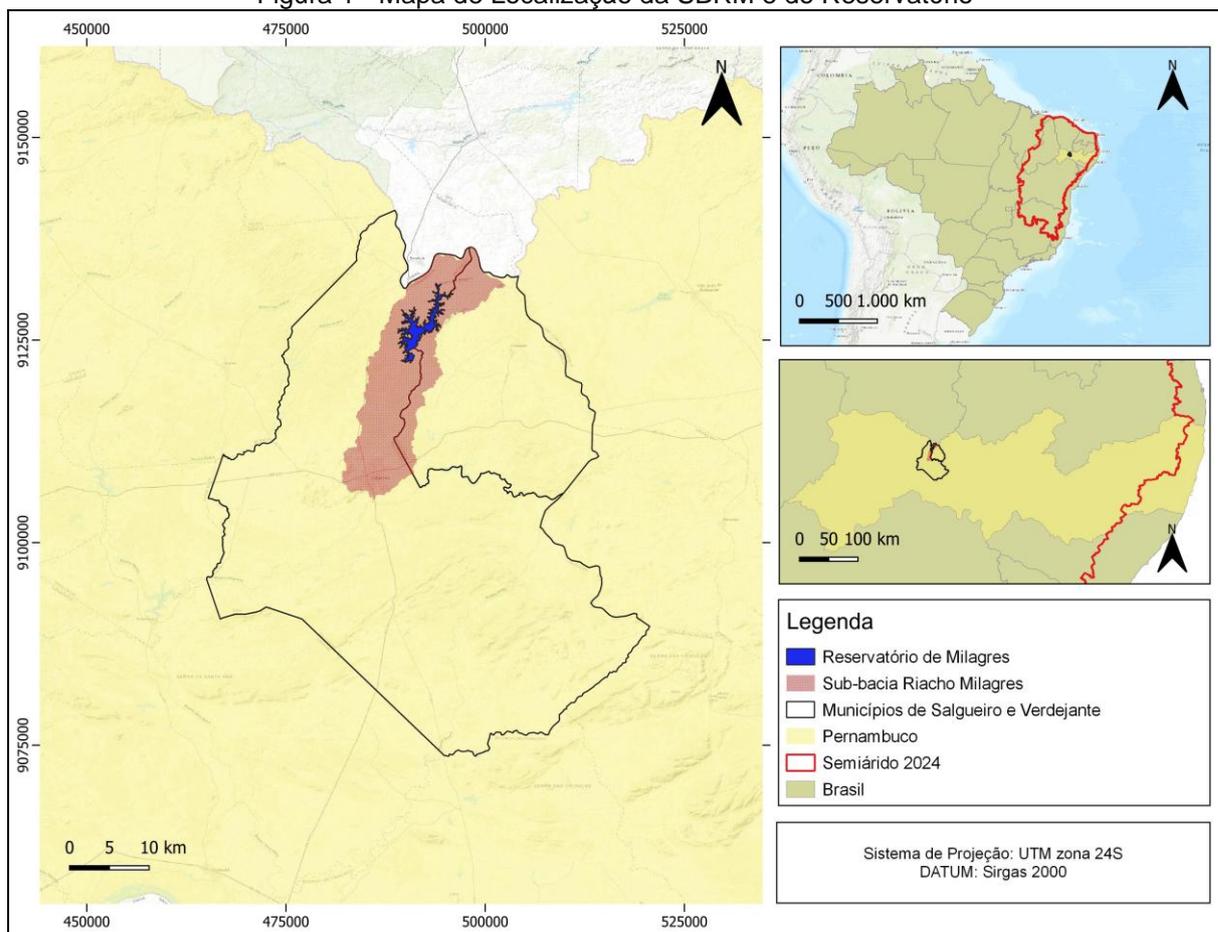
Sendo assim, este estudo é resultado do desenvolvimento de uma dissertação, que se justifica pela necessidade premente de compreender e analisar os efeitos do PISF, no desenvolvimento regional do Semiárido de Pernambuco, buscando identificar suas contribuições e limitações na área de estudo, diante do contexto das mudanças climáticas, que intensificarão os reveses enfrentados pelas populações do Semiárido. Ademais, visa contribuir para o debate acadêmico e político sobre estratégias de desenvolvimento regional no Brasil, fornecendo percepções fundamentais para a formulação de políticas públicas mais eficazes e direcionadas às necessidades específicas do Semiárido pernambucano.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no reservatório de Milagres, inserido na sub-bacia Riacho dos Milagres (SBRM), a qual possui aproximadamente 236,65 km² e se localiza entre os municípios de Salgueiro e Verdejante -PE, adentrados na bacia hidrográfica do rio Terra Nova (Figura 1), no semiárido de Pernambuco, Brasil. O clima prevalecente na área de estudo é categorizado como BSh (Semiárido Quente) segundo a classificação de Köppen. Sua vegetação é composta de floresta caducifólia e Caatinga Hipoxerófila e Hiperxerófila e os tipos de solo são os Luvisolos e Neossolos, conforme a classificação da EMBRAPA (2018).

Figura 1 - Mapa de Localização da SBRM e do Reservatório



Fonte: IBGE, 2024; Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (Lapis), 2024.
Elaboração: as autoras, 2024.

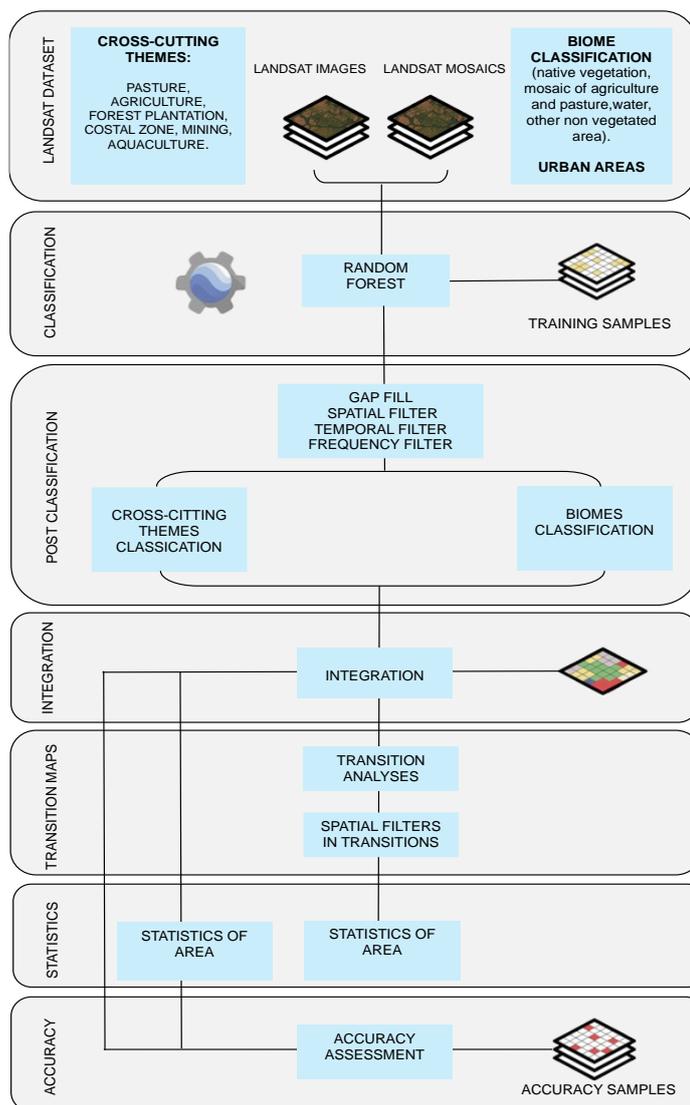
Obtenção de dados

Quando se trata de uma análise dos componentes naturais de uma área como a vegetação e os recursos hídricos por exemplo, que são elementos essenciais no ecossistema terrestre pelos processos biofísicos a qual estão interligados, há uma necessidade de ferramentas adequadas para realização dos seus monitoramentos (Barros; Farias; Marinho, 2020). Para isso, utilizou-se do GEE visando obter e processar o conjunto de dados do CHIRPS e do MapBiomas para elaboração dos gráficos pluviométricos e dos mapas de uso e cobertura da terra da SBRM.

A plataforma GEE possui um conjunto de dados que compõem *petabytes* de informações geoespaciais de diversas fontes e temas ambientais mediante parcerias com diversas entidades. O MapBiomas é uma delas, com um conjunto de dados sobre mapeamento do uso e cobertura da terra, além do monitoramento das superfícies das águas e cicatrizes do fogo com dados anuais de 1985 até o presente momento (jul/2024), no intuito de conservar os recursos naturais, principalmente com enfoque nas mudanças climáticas.

A Figura 2 mostra o processo de geração dos dados MapBiomas, que se organizam de maneira hierárquica e compatível com os sistemas de classificação da Organização para Agricultura e Alimentação (FAO) e IBGE, a partir do algoritmo de classificação *Random Forest* (Rodrigues; Gomes; Cerqueira, 2022).

Figura 2 - Metodologia do Produto MapBiomias



Fonte: MapBiomias, 2023 (Adaptada).

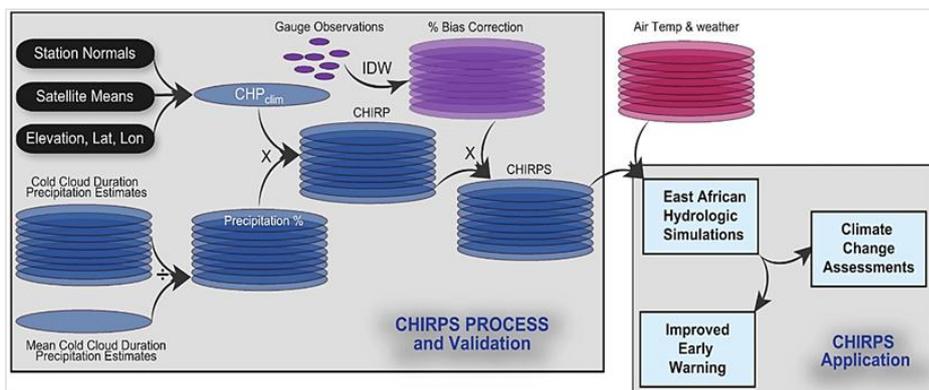
Os mapas de uso e cobertura da terra *LULC (Land Use and Land Cover)*, como são chamados, foram gerados da escolha temporal de 8 anos e classificados a partir da coleção 7, sendo eles, 2009, 2011, 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 e 2022, são anos antes, durante e após a implementação do PISF. Destaca-se ainda que, para a geração dos mapas, algumas das subclasses foram englobadas nas classes majoritárias, devido as suas características. Os mapas de uso e cobertura da terra são em formato matricial com pixel de 30x30m e suas respectivas legendas evoluem de acordo com suas coleções. Ao fim, foi utilizado o QGIS *Desktop 3.22.6* para calcular as métricas da paisagem das camadas Raster através de seu *plugin Landscape Ecology Statistics (LECOS)*, e posteriormente reclassificar os mapas de acordo com as classes: formação savânica, formação campestre, pastagem, agricultura, área urbana, outras áreas não vegetadas e corpos hídricos e, posteriormente a finalização dos layouts dos mapas.

Já os dados do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS)* foram utilizados para a análise da precipitação na região da sub-bacia, sendo coletados dados anuais e mensais do período de janeiro de 1981 a dezembro de 2022. O CHIRPS é um conjunto de dados de precipitação a nível global com mais de 40 anos, abrangendo toda a faixa latitudinal de 50°S-50°N (e todas as longitudes) contendo dados de 1981 até o presente da pesquisa (Jul/2024). O CHIRPS incorpora a climatologia interna, CHPclim, imagens de satélite com resolução espacial de 0,05° (5,5 km) e dados

de estações *in-situ* possibilitando criar séries temporais de chuva em grade para análise de tendências e monitoramento de secas sazonais (Funk, 2015).

Existem dois tipos de dados CHIRPS, os dados diários e os pentadadatais, hospedados no seu próprio site e disponíveis no catálogo da plataforma do GEE, que através do desenvolvimento de um script, possibilitou o acesso aos dados anuais e mensais do recorte da área selecionada. O processo CHIRPS envolve três componentes principais: I) a climatologia de precipitação do grupo de riscos climáticos (CHPclim), II) a precipitação por infravermelho do grupo de riscos climáticos apenas por satélite (CHIRP) e III) procedimento de combinação da estação que produz o CHIRPS, vista na Figura 3.

Figura 3 - Visão Geral do Processo de Validação CHIRPS



Fonte: Funk *et al.*, 2015.

A série histórica analisada nesta pesquisa utilizou mais de 30 anos de precipitação, que é o conceito frequentemente citado em climatologia para caracterizar o clima de uma determinada região de forma confiável e representativa. Foram ressaltados na análise da precipitação os dados estimados CHIRPS. Os dados anuais e mensais foram exportados em dados Excel para refazer os gráficos e possibilitar uma melhor visualização.

Para Rabelo, Santos e Filho (2022), a insuficiência de dados climatológicos é um dos fatores que limitam frequentemente a modelagem da variabilidade espacial/temporal de diversos processos meteorológicos em uma área, contendo possivelmente erros nas variáveis devido a existência de falhas nos modelos. Esse fato elucida a necessidade de manutenções mais adequadas nas redes de monitoramento e a aplicação de métodos matemáticos para preenchimento de possíveis falhas e ausência de dados, tornando cada vez mais viável o uso de dados por satélite através do Sensoriamento Remoto (Araújo *et al.*, 2022; Tórnio; Kede; Souza, 2024).

Entretanto, torna-se necessário uma comparação entre os dados estimados e os dados convencionais, no intuito de observar a representatividade da distribuição da precipitação para a região de interesse. Assim, foram utilizados dados das estações convencionais Salgueiro e Verdejante, que têm o mesmo nome dos municípios onde está inserida a SBRM. Após um pré-processamento para preencher falhas nos dados, foram usadas como parâmetro para avaliar a precisão dos dados CHIRPS. Além disso, foram aplicados alguns indicadores estatísticos, baseados nos estudos de Silva *et al.*, (2020) e de Tórnio, Kede e Souza (2024). Esses estudos utilizaram o coeficiente de correlação de Pearson (r), que mede o grau de correlação linear entre as estimativas de chuva do satélite e os totais observados em pluviômetros nos diferentes períodos de acumulação (Equação 1), e o coeficiente de determinação R^2 (Equação 2), que avalia a associação entre dois fatores.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 * (O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 * \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}} \quad (1)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \hat{O}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \hat{O}_i)^2} \quad (2)$$

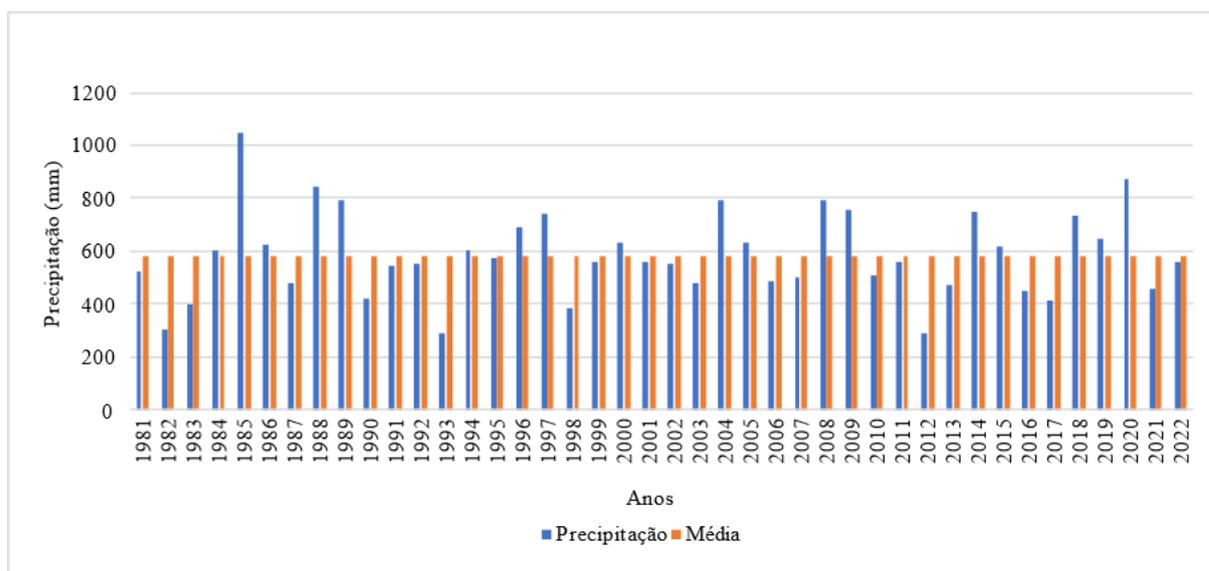
Onde, P_i = precipitação estimada (mm) pelo satélite (CHIRPS) no intervalo de tempo i ; O_i = precipitação observada (mm) em determinado intervalo de tempo i ; n = número de dados analisados; P = valor médio estimado de precipitação (mm) pelo CHIRPS; \hat{O} = valor médio observado de precipitação (mm) em determinada estação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dados CHIRPS: precipitação anual da SBRM

A série histórica correspondeu a 42 anos de dados de precipitação, como mostrado na Figura 4. A maioria desses anos, especificamente 26 anos, estão abaixo da média (621,735mm) da sub-bacia. Alguns anos ainda se destacam, como 1985, ano de maior acúmulo de precipitação, alcançando mais de 1.000 mm, um índice acima da média. Em contrapartida 2012 foi o ano de menor precipitação, alcançando apenas 309 mm, coincidindo com o início da seca mais longa e severa deste século (ASSIS *et al.*, 2021).

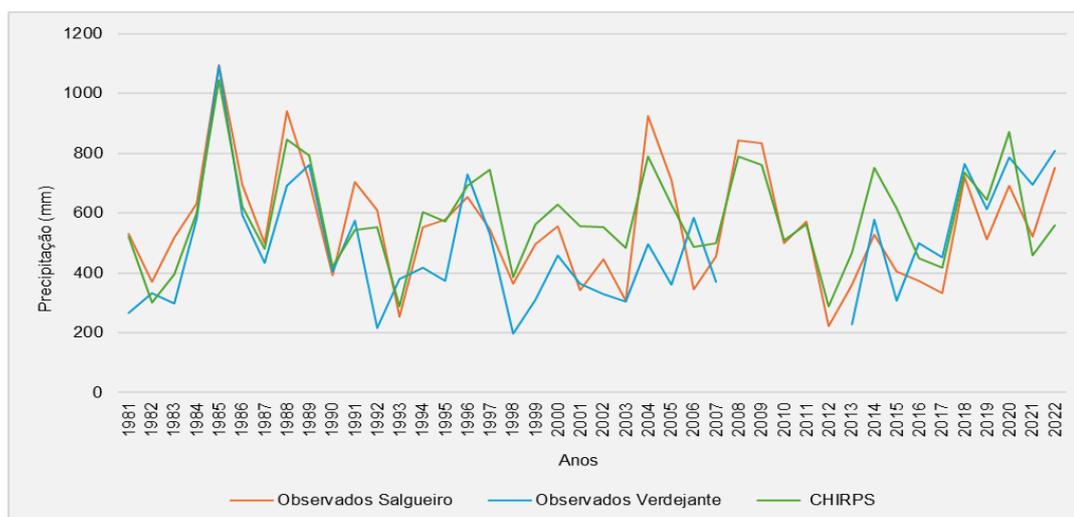
Figura 4 - Dados pluviométricos anuais da série histórica para SBRM



Fonte: CHIRPS, 2023.
Elaboração: as autoras, 2023.

Ao correlacionar os dados CHIRPS com os dados convencionais obtidos das estações pluviométricas da APAC, responsável pelo monitoramento dos recursos hídricos em Pernambuco, constatamos uma similaridade com os resultados obtidos anteriormente por métodos via satélite (Figura 5). Essa concordância é evidente nos anos com maiores e menores volumes de precipitação. De acordo com Porto, Viana e Galvínio (2023), os dados de satélite mostram uma capacidade consistente para identificar a variabilidade sazonal de uma região, embora possam ocorrer superestimações ou subestimações em alguns casos. No entanto, ao observar as variações acentuadas em relação à média da SBRM, verifica-se que boa parte do traçado dos gráficos coincide, fazendo com que ambos os dados tenham subestimação e a superestimação suavizada, sendo Verdejante-PE o que apresentou as maiores diferenças.

Figura 5 - Comparação de Dados Anuais do CHIRPS e dos Pluviômetros



Fonte: APAC, 2024; CHIRPS, 2024.
Elaboração: as autoras, 2024.

Os anos extremos mencionados coincidem com alguns períodos identificados por Silva *et al.* (2017), em seu artigo sobre as variações no índice de anomalia de chuva no Semiárido, especificamente o município de Petrolina-PE, em que o ano de 1985 foi considerado anômalo com grandes volumes de precipitação para a região e 2012 como um ano anômalo de baixa precipitação. Sendo esses anos classificados pelos autores, como muito chuvoso e extremamente seco, respectivamente. Nos resultados de Costa de Brito *et al.* 2020 para a precipitação nos estados receptores de água pela transposição do São Francisco o período de seca em 2012 ficou nítido pela diminuição brusca dos valores de precipitados acumulados, responsável pelo declínio das superfícies hídricas na região e por inúmeros conflitos políticos e sociais.

O fenômeno do El Niño muitas vezes coincide com a maioria dos anos secos, principalmente quando se trata de eventos com longas durações e intensidades fortes (Fonseca, 2021), o que poderia justificar a origem das secas, porém, nos anos 2011 e 2012, houve grandes anomalias relacionadas a La Niña, onde, o resfriamento concentrado no Pacífico central e as águas superficiais quentes do Atlântico Norte tropical contribuíram para uma migração anormal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para o norte, reduzindo o transporte de umidade para a região, perdurando no ano seguinte e agravada no ano de 2015 com a entrada do El Niño, o que confirma que os eventos de seca no NEB nem sempre se associam ao fenômeno atmosférico El Niño (Marengo *et al.*, 2018).

Tabela 1 - Classificação dos Eventos de El Niño e La Niña Referentes aos Anos de Estudo

El Niño				La Niña		
Fraco	Moderado	Forte	Muito Forte	Fraco	Moderado	Forte
2004-2005	1986-1987	1987-1988	1982-1983	1983-1985	1995-1996	1988-1989
2006-2007	1994-1995	1991-1992	1997-1998	2000-2001	2011-2012	1998-1999
2014-2015	2002-2003	-	2015-2016	2005-2006	2020-2022	1999-2000
2018-2019	2009-2010	-	-	2008-2009	-	2007-2008
-	-	-	-	2016-2018	-	2010-2011
-	-	-	-	2022-2023	-	-

Fonte: Bezerra, 2023 (Adaptada).

A respeito da precipitação nos primeiros anos de desenvolvimento do reservatório Milagres, estabelecido inicialmente em 2013, conforme os registros do Ministério do Desenvolvimento Regional e do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS (2013), esses foram anos críticos,

marcados pelo período mais severo de chuvas na área. No entanto, o ano de 2014, registrou uma precipitação acima da média, com 751 mm, bem como, 2015 com 615 mm para a área de estudo, evidenciando como a seca atingiu de maneira diferente as diversas localidades do Semiárido

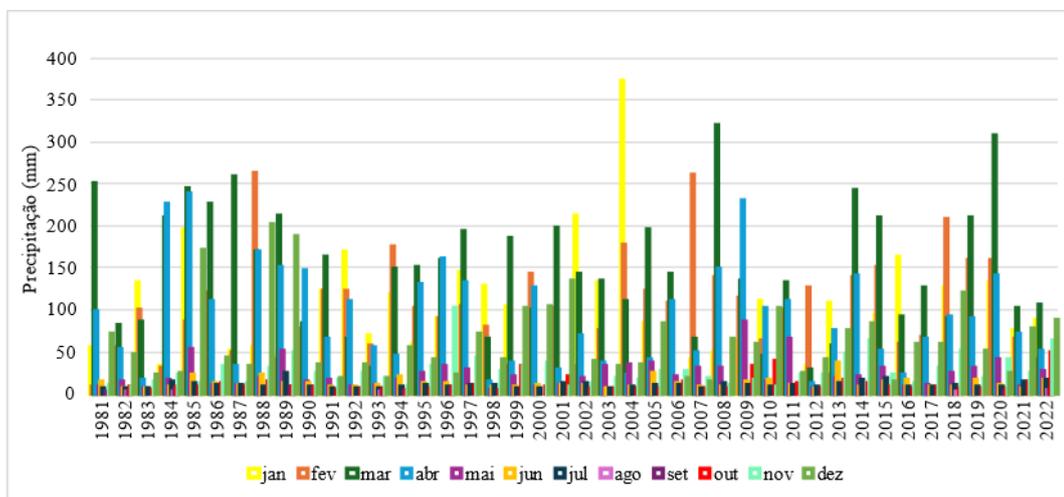
Esses aumentos justificariam as transformações no uso e ocupação da terra na sub-bacia, especialmente nas atividades agrícolas, visto também nos estudos de Da Silva *et al.* (2023). Destacam-se também, os anos finais do projeto (2021-2022), que mesmo não sendo os anos com maiores índices de precipitação, apresentaram a maior quantidade de fragmentos da classe “corpos hídricos”, evidenciando o preenchimento do reservatório por meio da integração do São Francisco. Esse fato, também representa a funcionalidade do projeto, já que outras classes também tiveram aumento dos seus fragmentos.

Observa-se que a partir do estudo da precipitação da região do reservatório na SBRM, é possível identificar e compreender a variabilidade anual, destacando períodos de extremos hídricos que afetam diretamente a disponibilidade de recursos hídricos nos reservatórios. Nesse sentido, a identificação de regiões vulneráveis e a melhoria do sistema de alerta preventivo de secas, por meio do uso de registros climáticos de longo prazo, podem contribuir significativamente para a redução do impacto desse fenômeno (Masroor *et al.*, 2020).

Dados CHIRPS: precipitação Mensal da SBRM

Já na análise mensal (Figura 6), os maiores índices de precipitação acumulada estão nos meses de janeiro a abril, corroborando com o período chuvoso da SBRM. Dentre eles, destaca-se janeiro de 2004, quando a precipitação alcançou aproximadamente 372 mm, sendo o maior acúmulo da série histórica. Em seguida, março de 2008 teve um total de 319 mm, o segundo maior da série, seguido por março de 2020. Esses valores ocorreram somente uma vez, isoladamente em cada mês e em todos os anos estudados.

Figura 6 - Dados pluviométricos mensais da série histórica - CHIRPS para SBRM



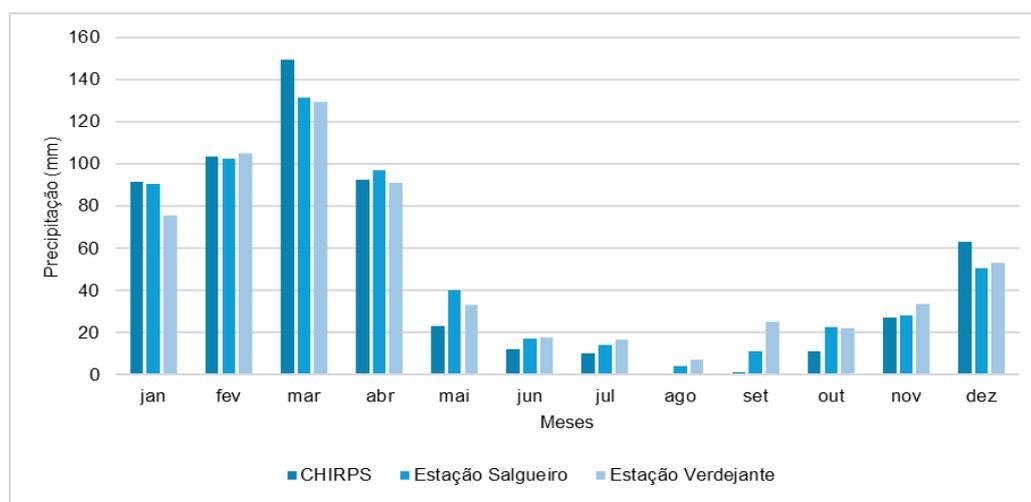
Fonte: CHIRPS, 2023.
Elaboração: as autoras, 2023.

Além disso, em alguns anos o mês de abril apresentou precipitação significativa na série histórica, é tanto que nos anos de (1984, 1990, 1996 e 2009) esse mês ultrapassou os meses que mais chovem na região. Houve também, aumento nos totais precipitados concentrados em meses específicos, como também, mudanças nos padrões de chuva ao longo do tempo.

Na análise mensal do CHIRPS com os dados obtidos pelas estações convencionais, foi possível constatar que existe uma conformidade quanto aos meses mais chuvosos da sub-bacia, como poder ser visto na Figura 7. O CHIRPS também apresentou uma moderada superestimação durante os meses mais chuvosos (janeiro a abril). Segundo Silva *et al.* (2020), essa superestimação pode ser

atribuída a uma maior quantidade de nebulosidade, que pode levar o produto CHIRPS a superestimar levemente a precipitação em períodos chuvosos. Essa semelhança nas variações entre os totais dos dois grupos (estimada/observada), tanto nas variabilidades temporais dos anos com menor registro de chuva, quanto nos anos mais chuvosos foram encontrados por Tórnio, Kede e Souza (2024), em seus estudos de avaliação do desempenho das estimativas de precipitação do produto CHIRPS para os municípios de São Gonçalo e Niterói. Nos estudos de correlação entre dados estimados e dados de superfície, Castelhamo, Pinheiro e Roseghini (2017) afirmaram que em escala mensal e anual, o CHIRPS apresentou correlação significativa entre os demais sensores, sendo em escala diária, menos satisfatório.

Figura 7 - Comparação de Dados Mensais CHIRPS e dos Pluviômetros



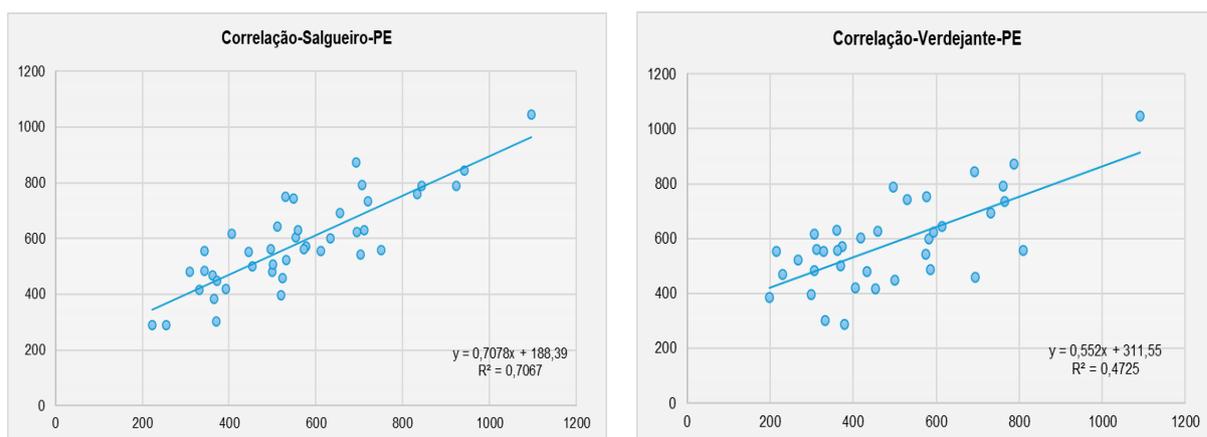
Fonte: APAC, 2024; CHIRPS, 2024.
Elaboração: as autoras, 2024.

Além disso, a correlação linear entre os dados mensais do CHIRPS e das estações convencionais (Figura 8) mostrou-se favorável na estação Salgueiro, com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,70, um valor geralmente considerado recomendado (Silva *et al.*, 2020). Para a estação Verdejante, o R^2 foi um pouco menor, alcançando 0,47. O coeficiente de Pearson (r) para Salgueiro foi de 0,84, indicando uma correlação positiva forte. Em contrapartida, a correlação para Verdejante foi menor, com um (r) de 0,68. No entanto, de acordo com os estudos de Tórnio, Kede e Souza (2024), ao trabalhar com estimativas de precipitação do CHIRPS, valores de correlação a partir de 0,47 já são considerados significativos e relativamente bem correlacionados.

Nos resultados obtidos por Da Costa *et al.* (2021), foi visto que em 90,09% dos postos estudados, os meses com maior precipitação foram os mesmos meses encontrados na série histórica da SBRM, e que o acumulado destes meses correspondeu a mais de 50% do volume anual precipitado, demonstrando assim, a irregularidade na distribuição anual de pluvial na mesorregião do Sertão Pernambucano. De Medeiros *et al.*, (2020) estudaram a variabilidade de Patos, cidade do Semiárido paraibano, que possui similaridades com área estudada nesta pesquisa e observaram que 86,85% das precipitações das máximas mensais também ocorreram entre os meses de janeiro a abril.

Percebe-se também uma diminuição na quantidade de precipitação e grandes variações em sua distribuição, que tem gerado altas acumulações de chuva em meses específicos na série histórica estudada, ligadas diretamente com o processo de mudança climática acelerada, eventos climáticos extremos e pela influência dos ENOS. Os estudos de Silva, Montenegro e Souza (2017), Silveira *et al.* (2022) e Gomes *et al.* (2022) também relataram uma diminuição do regime pluviométrico nos últimos anos em regiões semiáridas do Nordeste. No entanto, apesar da redução da precipitação na área de estudo de Silveira *et al.* (2022), que abrange a região da bacia hidrográfica onde se localiza a SBRM, os autores observaram um aumento da disponibilidade hídrica no reservatório Nilo Coelho, a partir do recebimento das águas do PISF.

Figura 8 - Correlação de Dados Estimados do Produto CHIRPS e das Estações Pluviométricas



Fonte: APAC, 2024; CHIRPS, 2024.
Elaboração: as autoras, 2024.

Em um estudo realizado por Assis *et al.* (2018) que analisou as relações físicas entre os índices de extremos climáticos da precipitação e as anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos oceanos Pacífico e Atlântico tropicais na região da bacia hidrográfica do Submédio São Francisco de 1964 a 2016, constataram que a redução das chuvas nessa região é influenciada pelo fenômeno El Niño. Essas alterações atreladas a aumentos de temperaturas por mudanças do clima são suficientes para aumentar a evaporação de lagos, açudes, reservatórios e da evapotranspiração das plantas tendo como consequência a escassez de chuvas ou chuvas com alta intensidade (MARENGO *et al.*, 2011).

Desse modo, surge a necessidade urgente de promover a ações eficazes e capacitação para que a população seja proativa em relação às questões ambientais e climáticas. A falta de compreensão e de práticas adequadas de conservação e uso sustentável dos recursos naturais pode acarretar sérias consequências para o equilíbrio ambiental e socioeconômico da região. Já que, as características naturais do clima na região semiárida do Nordeste do Brasil têm sido observadas e estudadas detalhadamente por muitos anos, portanto, não há novidade ou surpresa quanto suas características, mas o que existe é uma evidente falta de compreensão e habilidade para lidar com tais aspectos no dia a dia, seja por parte dos residentes da zona rural ou urbana, ou mesmo pela gestão governamental que dispõe de recursos diversos (Gomes; Zanella, 2023).

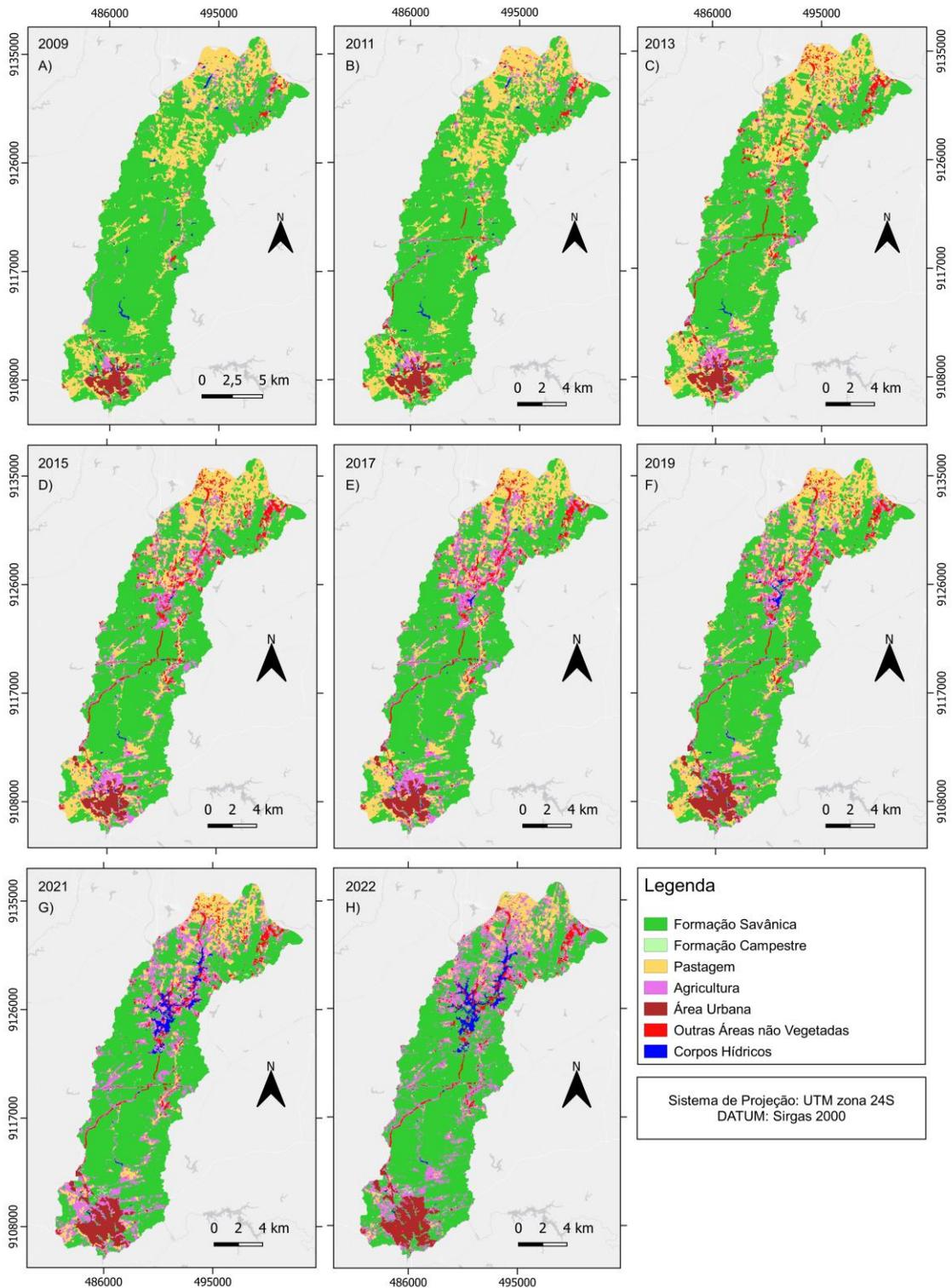
Mapeamento do uso e cobertura da terra antes e após a implementação do PISF

No mapeamento do uso e ocupação da terra, foi possível analisar a dinâmica dos arranjos ocorridos ao longo tempo e espaço na área da sub-bacia em função principalmente das mudanças socioeconômicas. Essa prática também permite, a observação temporal da distribuição da vegetação, a identificação e caracterização do comportamento das diferentes tipologias presentes na área de estudo (Lira; Vieira; Silva, 2022). A Figura 9, mostra o processo de uso e ocupação da terra na área da SBRM e consequentemente do entorno do reservatório que possui o mesmo nome, nos anos de A) 2009, B) 2011, C) 2013, D) 2015, E) 2017, F) 2019, G) 2021 e H) 2022.

Observa-se que durante esses anos houve transformações significativas na paisagem da sub-bacia, principalmente em sua porção centro-norte, onde está localizado o reservatório. A partir do ano de 2015 percebe-se um elevado aumento das atividades ligadas a agricultura, Figura 9 (D), sendo a classe que mais cresceu durante o período estudado, substituindo principalmente a classe pastagem.

Em relação ao início do desenvolvimento da classe de agricultura que se deu notadamente nos mapas no ano de 2015 na sub-bacia, sendo este um ano considerado desfavorável de chuvas para todo o Nordeste, levando-se em conta a área de estudo, tanto o ano anterior como o próprio ano de 2015, obtiveram bons índices pluviométricos, visto anteriormente na figura 4, estando acima da média da sub-bacia e as águas da integração ainda não abasteciam a região. Nota-se também, que há uma mancha com desenvolvimento de agricultura que se expande ao longo da série histórica nas proximidades da zona urbana, seguindo o mesmo padrão encontrado no local de construção do reservatório e do seu entorno, alterando a classe de pastagem por agricultura.

Figura 9 - Evolução Temporal de Cobertura e Uso da Terra da SBRM



Fonte: MapBiomias, 2023.
Elaboração: as autoras, 2023.

O reservatório de Milagres começou ser preenchido parcialmente no ano de 2020, e mesmo sendo cedo para avaliar seus impactos, é perceptível sua influência na dinâmica da sub-bacia, visto que, dois anos após seu funcionamento houve a maior quantidade de fragmentos ligados a agricultura (em 2022), Tabela 2. Sendo os últimos 5 anos de precipitação relevante, ressalta-se que em 2020 foi o

ano com maior índice de chuva, porém, somente em 2022 teve o maior crescimento na produção agrícola. Corroborando com os impactos do PISF sobre a região.

Tabela 2 - Classes de Uso e Cobertura da terra em Quilômetros Quadrados

Anos	Formação Savânica	Formação Campestre	Pastagem	Agricultura	Área Urbana	Outras Áreas não Vegetadas	Corpos Hídricos
2009	169,82	1,0	47,80	9,51	5,61	1,92	1,13
2011	162,17	2,29	50,09	11,13	5,99	4,04	0,97
2013	145,38	3,93	54,33	16,06	6,30	10,22	0,46
2015	140,02	2,87	45,77	28,34	6,72	12,46	0,48
2017	139,59	1,8	42,4	34,19	7,63	10,47	0,56
2019	142,67	1,48	43,89	26,95	10,08	10,14	1,44
2021	141,95	1,31	25,54	43,42	10,43	9,53	4,46
2022	145,45	1,33	16,00	48,54	11,33	9,05	5,23

Fonte: MapBiomias, 2023.
Elaboração: as autoras, 2023.

Condizente a isso, Roberto *et al.* (2023) afirmam que o aumento da área superficial do reservatório Milagres, entre o período de 2016 a 2022 foi influenciado pela crescente média de precipitação anual, juntamente com a expansão do reservatório à medida que a barragem avançava para o processo de acionamento em 2022, integrando-se à etapa de transposição do rio São Francisco. Na análise dos resultados do percentual das classes de uso, percebe-se a predominância da classe “Formação Savânica - Caatinga”, definida como um tipo de vegetação com predomínio de espécies de dossel semi-contínuo como, Savana-Estépica Arborizada e Savana Arborizada (MapBiomias, 2023).

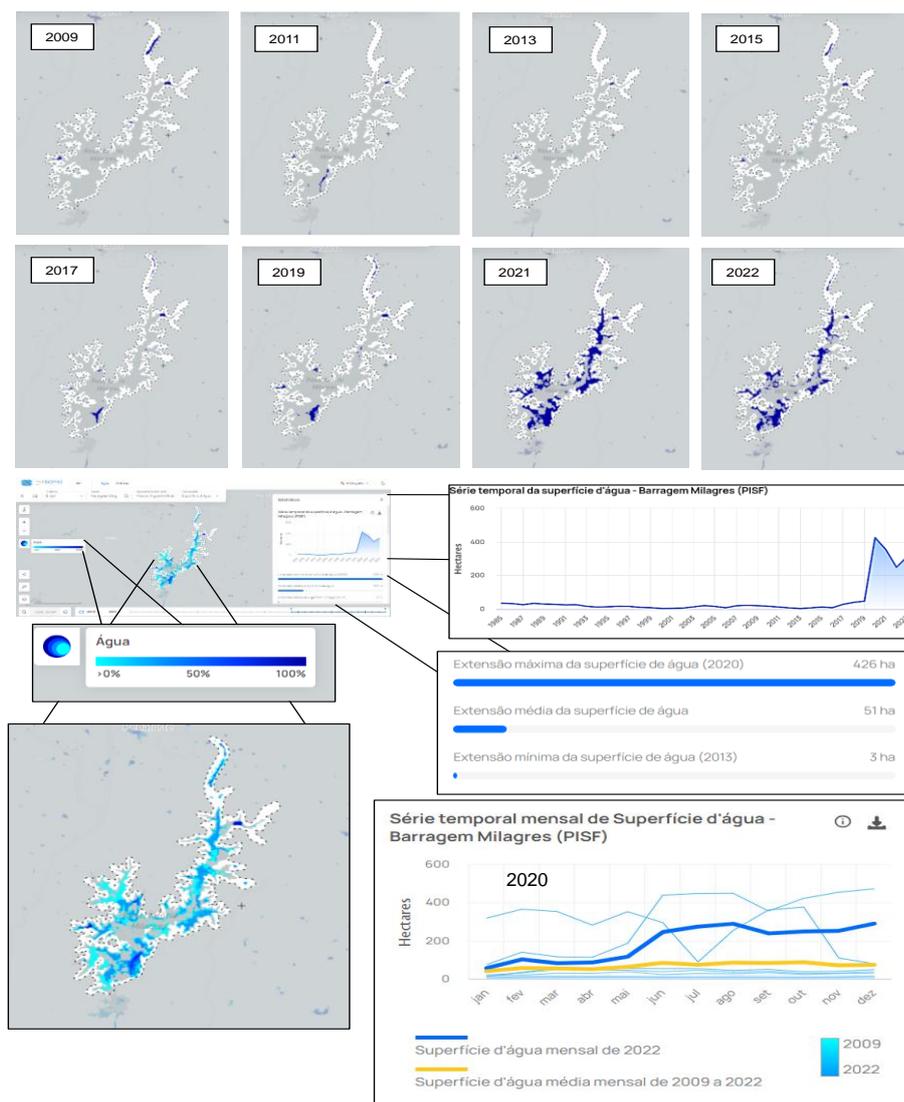
Não houve mudanças abruptas na classe formação Savânica - Caatinga, em comparação entre um ano anterior e o sucessor durante a série histórica, as oscilações ora foram negativas em um ano, ora positivas no outro, mas, se observarmos o ano inicial 2009 e o ano final 2022, percebemos que houve uma redução de 10,33% na vegetação natural da área, que corresponde a 24,37 km. Contudo, essa classe continua sendo a predominante na área de estudo.

Utilizando o mesmo método, Gomes *et al.* (2022) avaliaram as alterações do uso e cobertura da terra no Submédio São Francisco e observaram que a classe natural, composta pela formação florestal, permaneceu a majoritária. No levantamento do uso e cobertura do solo no Semiárido Pernambucano, realizado por Targa *et al.* (2017) foi constatado que o Sertão possui aproximadamente 68% de sua área coberta por algum tipo de vegetação nativa, dessa forma, mais da metade de sua extensão é composta por caatinga densa e/ou caatinga aberta.

Já a classe agricultura teve um aumento de 16,47% entre 2009 e 2022, o que também foi verificado nos estudos Da Silva *et al.* (2023) que perceberam 10,2% de aumento dessa classe. Pinheiro, Meireles e Rossi (2023) também obtiveram resultados positivos na classe de agricultura, cerca 13,74% de crescimento nas áreas agrícolas entre 2013 e 2022, da mesma forma, que as áreas de florestas também se mantiveram com a representação de mais de 70% de cobertura espacial em uma das bacias hidrográficas estudadas na região do Nordeste.

Em contrapartida, a pastagem diminuiu significativamente de 20,19% no ano de 2009 para 6,75% em 2022. Esta classe acabou sendo sobreposta pela anteriormente citada, ocorrendo assim sua substituição principalmente entre os anos de 2019 e 2022, no qual ocorreu o maior declínio. Para os espelhos d'água, houve acréscimo de aproximadamente 2% na região da SBRM que se deu não somente pelos efeitos do fenômeno da La Niña últimos anos sobre a região, mas também devido a água recebida pelo canal do eixo norte do PISF para o reservatório, como pode ser visto na figura 10.

Figura 10 - Dados de superfície hídrica do reservatório de Milagres entre 2009 e 2022



Fonte: MapBiomias Água, 2023.
Elaboração: as autoras, 2023.

Os dados do MapBiomias Água sobre a dinâmica temporal da superfície hídrica do reservatório permitem compreender melhor a relação entre a precipitação, as águas do PISF, e o uso e cobertura do solo. Na análise desses dados, observa-se que 2020 teve a maior extensão de superfície hídrica, coincidindo com um ano de chuvas acima da média. Já em 2021 e 2022, apesar de terem registrado precipitações abaixo da média (Figura 4), mantiveram uma boa extensão hídrica devido ao fornecimento de água pela transposição. Em relação à área urbana, nota-se que em todos os anos estudados houve crescimento gradativo, direcionado principalmente para área do canal da transposição. Já as classes formação campestre e outras áreas não vegetadas detêm a menor porção na área da sub-bacia, porém, sua importância é significativa nas análises ambientais.

Após o PISF ser implementado, não há dúvidas da sua influência sobre o uso da terra, contudo, antes de ser um sistema de atendimento as necessidades das pessoas do sertão e para a produção de circulação local, é um sistema estrutural e técnico que possui como origem a expansão do agronegócio (Rodrigues; Luz, 2019). Essa perspectiva ressalta a complexidade do contexto em que o PISF opera, revelando que seu impacto vai além da mera questão de suprimento de água. A implementação desse sistema muitas vezes implica em mudanças profundas no uso do solo, nas relações socioeconômicas e no próprio tecido cultural das comunidades afetadas.

Sabe-se que a resistência da pobreza na região está diretamente conectada a três grandes eixos das políticas públicas, água, terra e tecnologias de produção (Miranda, 2017). Assim, Sacconi (2019)

afirma que a gestão inadequada dos recursos hídricos está associada a uma inadequada distribuição de terras ligada diretamente a desigualdade socioespacial.

Portanto, compreender o PISF requer uma análise multifacetada que considere não apenas seus aspectos técnicos, mas também seus desdobramentos sociais, econômicos e ambientais. Somente assim será possível avaliar de forma abrangente suas consequências e desenvolver estratégias eficazes para garantir o uso sustentável dos recursos hídricos e promover o bem-estar das populações envolvidas. O desenvolvimento de medidas estratégicas de adaptação à variabilidade climática e aos eventos climáticos extremos associados, conforme destacado por Suryabhagavan (2017), dependem da capacidade de ajustar o sistema para mitigar seus possíveis impactos.

Por fim, a utilização do plugin Landscape Ecology Statistic do QGIS, contribuiu para calcular as métricas ou estatísticas da paisagem das camadas raster, e posteriormente descrever as características estruturais da sub-bacia com seus índices quantitativos, como também, compreender as mudanças na quantidade de fragmentos ocorridas durante os anos de 2009 a 2022.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O histórico de secas do Nordeste revestiu a região de impossibilidades em detrimento ao seu desenvolvimento por muito tempo, fazendo com que os sertanejos vivessem em função de uma “preocupação hídrica”. As medidas tomadas até então nunca radicalizaram ou foram suficientes para que esse pensamento fosse apenas breve súbito da consciência humana. Assim, a dependência de bons períodos de chuvas e de boas políticas públicas ainda definem a convivência com a seca dos nordestinos hoje.

Levando em conta as variáveis estudadas, os resultados mostraram uma perceptível variabilidade na precipitação anual da SBRM ao longo dos últimos 42 anos, com 26 desses anos registrando valores abaixo da média histórica de 621,735 mm. Esses dados destacam a irregularidade do regime pluviométrico na região, com anos de extremos, como 1985, quando a precipitação ultrapassou 1.000 mm, e 2012, marcado por uma precipitação mínima de 309 mm, coincidindo com o início de uma das secas mais severas do século. Na análise mensal da precipitação, percebeu-se que os maiores volumes pluviométricos se concentram entre janeiro e abril, com picos excepcionais em anos específicos, como janeiro de 2004 e março de 2008. Essa concentração sazonal das chuvas reflete a irregularidade na distribuição da precipitação, o que tem impactos diretos na disponibilidade hídrica da região. A análise comparativa entre os dados do CHIRPS e das estações convencionais indicou uma conformidade no geral, apesar dos coeficientes de Verdejante-PE não terem sido satisfatórios devido a quantidade de estações e ausência de dados.

Em relação ao uso e cobertura da terra, com a implementação do reservatório de Milagres, observou-se que a partir de 2015, ano em que as atividades agrícolas começaram a se expandir notavelmente, a área destinada à agricultura cresceu, especialmente em torno do reservatório. Essa expansão agrícola substituiu áreas de pastagem, refletindo a adaptação do uso e cobertura da terra às novas condições hídricas proporcionadas pelo reservatório e pelo PISF. Essa análise também evidenciou que mesmo em anos de baixa precipitação, como 2021 e 2022, o reservatório manteve uma boa extensão hídrica e manteve o crescimento da classe agricultura evidenciando a contribuição do PISF no fornecimento de água para a área.

Esses resultados sugerem que o PISF desempenha um papel importante na mitigação dos impactos das variações climáticas, promovendo o desenvolvimento da região da SBRM. No entanto, a funcionalidade do PISF não pode se calcar apenas no discurso, mas na prática de gestão dos recursos hídricos de maneira coerente e cumprindo de fato seu objetivo inicial como política pública, que teria o potencial de transformar a vida de grande parte dos sertanejos. Assim, este trabalho visa fortalecer o debate na temática socioambiental, não deixando invisível, nem subestimando a gravidade dos desafios ambientais e sociais da seca no Nordeste, mas trazer a incógnita e reflexão de que as mudanças climáticas estão cada vez mais alterando os ciclos hidrológicos e a intensidade de eventos climáticos extremos, que não se restringem apenas a lugares já vulneráveis, mas pode criar vulnerabilidades.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) em parceria com a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Projeto de Integração do rio São Francisco - PISF**. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/pisf>. Acesso em: 1 abr. 2022.
- AQUINO, F. L. de. **Definição de indicadores de desempenho para o sistema PISF - projeto de integração do rio São Francisco com bacias hidrográficas do Nordeste Setentrional**. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília - DF. Faculdade de Tecnologia (ENC/FT/UnB) 2019, 177p.
- ARAÚJO, F. V. de; VIANNA, P. C.; RUFFO, L. de M. G. Das grandes obras às pequenas obras hídricas: análise preliminar das formas de convivência com a seca na região da Bacia do Rio Paraíba. **Geosaberes: Revista de Estudos Geoducacionais**, v. 6, n. 2, p. 168-177, 2015. Disponível em: <http://www.geosaberes.ufc.br/geosaberes/article/view/421/415>. Acesso em: 18 jul. 2022.
- ARAÚJO, H. L. *et al.* Análise comparativa entre dados de precipitação observados em superfície e estimados por satélite TRMM na região norte do Tocantins. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 10, n. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6791581>.
- ARIAS GOMEZ, P. A. *et al.* Interplay between climate change and climate variability: the 2022 drought in Central South America, 2024. DOI: <https://doi-org.ez19.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10584-023-03664-4>.
- ASA - Articulação Semiárido Brasileiro. **É no Semiárido que a vida pulsa!** Por um Semiárido rico em vidas, 2019. Disponível em: <http://www.asabrasil.org.br/semiariado>. Acesso em: 30 jan. 2024.
- ASSIS, J. M. O. *et al.* Influência dos oceanos pacífico e atlântico tropicais sobre os índices climáticos da precipitação na bacia do submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 411-433, 2018.
- ASSIS, J. M. O. *et al.* Methods to analyze spatio-temporal rainfall variability: application to the Pajeú river basin, Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** (Online), v. 56, p. 1-12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z21769478866>.
- AZEVÊDO, A. C. Verso e reverso das políticas públicas de água para o Semiárido brasileiro. **Revista Política e Planejamento Regional**, v. 2, p. 373-392, 2015.
- BARROS, A. S.; FARIAS, L. D.; MARINHO, J. L. A. Aplicação do índice de Vegetação por diferença normalizada (NDVI) na caracterização da cobertura vegetativa de Juazeiro Do Norte-CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 13(6), 2885-2895, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em: 12 fev. 2023.
- BEZERRA, B. P. de S. **Impactos dos eventos de El Niño e La Niña fortes no regime de precipitação no Nordeste brasileiro: uma revisão**. Orientador: Cristiano Prestrelo de Oliveira. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) - Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023. 54 f.
- BHAGA, T. D. *et al.* Impacts of climate variability and drought on surface water resources in Sub-Saharan Africa using remote sensing: A review. **Remote Sensing**, v. 12, n. 24, p. 4184, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12244184>.
- BRITO, H. C. de; BRITO, Y. M. A. de; RUFINO, I. A. A. O índice de segurança hídrica do Brasil e o Semiárido brasileiro: desafios e riscos futuros. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv74n1-60928>.
- CASTELHANO, F. J.; PINHEIRO, G. M.; ROSEGHINI, W. F. F. Correlação entre dados pluviométricos de superfície e satélites para estudos climatológicos. **Geosul**. 32. 179-192. DOI: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2017v32n64p179>.
- CASTRO, C. N. Sobre a agricultura irrigada no Semiárido: uma análise histórica e atual de diferentes opções de política. **Texto para Discussão**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2018.

COSTA DE BRITO, H. *et al.* Análise temporal da disponibilidade hídrica nos estados beneficiados pela transposição do rio São Francisco. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 75, p. 102–116, 2020. DOI: <http://doi.org/10.14393/RCG217550733>.

COSTA, L. R. F.; OLIVEIRA, V. P. V. Sistemas ambientais, vulnerabilidade ambiental e uso e ocupação na sub-bacia hidrográfica do riacho Santa Rosa – Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v.12, n.04, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/239936>. Acesso em: 22 abr. 2022.

DA COSTA, S. A. T. *et al.* Dinâmica espaço-temporal das anomalias de precipitação em uma região semiárida, Nordeste do Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 18, 2021. <https://www.abrh.org.br/OJS/index.php/REGA/article/view/554/72>. Acesso em: 25 abr. 2023.

DA SILVA, N. G. *et al.* Vulnerabilidade ambiental e socioeconômica aos eventos extremos de precipitação relacionados a seca no Semiárido nordestino - estudo de caso da bacia hidrográfica de Terra Nova - Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 16(3), 1490-1510, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>. Acesso em: 28 jan. 2024.

DE MEDEIROS, S. A. *et al.* A técnica do percentil na determinação de períodos secos e chuvosos na cidade de Patos-PB. **Semiárido Brasileiro**, v. 6, p. 50, 2020.

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Relatório de Gestão 2013**. Disponível em: https://www.gov.br/dnocs/pt-br/aceso-a-informacao/auditorias-1/relatorios-anuais-degestao/dnocs_relatorio_anual_2013.pdf/view. Acesso em: 15 dez. 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Revista e ampliada. - Brasília, DF, 2018.

FONSECA, R. F. da. As secas no nordeste e a relação com os fenômenos oceano atmosféricos El Niño e La Niña. (Trabalho de conclusão de curso – Monografia), Curso de Licenciatura em Física, Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité - Paraíba - Brasil, 95 f, 2021.

FUNK, C. *et al.* Os riscos climáticos da precipitação infravermelha com estações - um novo recorde ambiental para monitoramento de extremos. *Sci Data* 2, 150066 (2015). DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.

GEBRECHORKOS, Solomon H.; HÜLSMANN, Stephan; BERNHOFER, Christian. Analysis of climate variability and droughts in East Africa using high-resolution climate data products. *Global and Planetary Change*, v. 186, p. 103130, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103130>.

GEE - **Google Earth Engine**. Disponível em: <https://earthengine.google.com/>. Acesso em: 6 set. 2022.

Gomes, D. J. C. *et al.* Variabilidade hidroclimática e alterações do uso e cobertura da terra, Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco. **Revista Brasileira De Geografia Física**, 15(1), 050–067, 2022. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbge.v15.1.p050-067>.

GOMES, F. I. B. P.; ZANELLA, M. E. Histórico, causas e características da semiaridez do Nordeste do Brasil. **Geografães**, n. 37, 2023. DOI: <https://doi.org/10.47456/geo.v3i37.41515>.

Gu, L. *et al.* The contribution of internal climate variability to climate change impacts on droughts. **Science of the Total Environment**, v. 684, p. 229-246, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.345>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022**: resultados preliminares do Nordeste. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>. Acesso em: 13 set. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malhas territoriais**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Acesso em: 27 nov. 2024.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **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. RK Pachauri and LA Meyer (ed.). Geneva, Switzerland : IPCC, , 151 p, 2014.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2023. DOI : <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.

JARDIM, A. M. D. R. F. *et al.* Using remote sensing to quantify the joint effects of climate and land use/land cover changes on the caatinga biome of northeast Brazilian. **Remote Sensing**, 14(8), 1911, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14081911>.

LALIKA, C. B.; MUJAHID, A. U. H.; LALIKA, M. Assessing the influence of climate variability and land cover change on water resources in the Wami river catchment, Tanzania. **Environmental Earth Sciences**, 83(4), 1-17, 2024. DOI: <https://doi-org.ez19.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s12665-023-11383-3>.

LAPIS - Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites. Shapefile do novo Semiárido brasileiro. Disponível em: <https://mapadamina.org.br/shapefile>. Acesso em: 27 nov. 2024.

LEVINO, N. de A.; CARVALHO, R. S.; PEREIRA, V. B. S. Perspectivas de desenvolvimento no Semiárido: um estudo sobre os impactos iniciais do canal do Sertão na realidade dos produtores rurais alagoanos. **DRd-Desenvolvimento Regional em Debate**, 10, 1057–1078, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24302/drd.v10i0.3014>.

LIRA, D. J. da S.; VIEIRA, V. de C. B.; SILVA, A. J. da. Spatial-temporal analysis of land use and land cover in the area of the Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. **Research, Society and Development**, 11(11), e271111133368, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33368>.

LOBO, F. de L.; RAMALHO, E. **Introdução ao Google Earth Engine**. 2020. <https://wp.ufpel.edu.br/geotechidrica/files/2021/05/ApostilaGEE2020.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2022.

LUNA, R. M. **Desenvolvimento do índice de pobreza hídrica (IPH) para o Semiárido brasileiro**. 138 f. Tese (Doutorado em engenharia civil: recursos hídricos) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

MAPBIOMAS. **General “Handbook” Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)**. Collection 7 Version 1.0 August, 2022.

MAPBIOMAS. **Annual Series of Land Cover and Use Maps of Brazil**, collection 7, Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 2 set. 2023.

MAPBIOMAS. **Descrição das classes da legenda da coleção 7 do Mapbiomas Brasil, 2023**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/codigos-de-legenda/>. Acesso em: 4 set. 2023.

MAPBIOMAS. **Mapeamento da Superfície de Água do Brasil**, coleção 3. Disponível em: <https://plataforma.agua.mapbiomas.org>. Acesso em: 14 dez. 2023.

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project, 2024. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 20 out. 2024.

MARENGO, J. A. *et al.* Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2 suppl 1, p. 1973-1985, 2018. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>.

MARENGO, J. A. *et al.* Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. Disponível em: http://plutao.sid.inpe.br/attachment.cgi/dpi.inpe.br/plutao/2011/09.22.16.55/doc/Marengo_Variabilidade.pdf. Acesso em: 17 jun. 2023.

MASROOR, Md *et al.* Exploring climate variability and its impact on drought occurrence: Evidence from Godavari Middle sub-basin, India. **Weather and climate extremes**, v. 30, p. 100277, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100277>.

MIRANDA, E. E. de. Irrigação, tecnologia e "reexistência": pobreza no vale do rio São Francisco. 2017.

OLIVEIRA, J. B. de S. A. Desenvolvimento e sustentabilidade no Semiárido Brasileiro: A Política de Desenvolvimento Regional e o PISF. 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/4531>. Acesso em: 12 jul. 2022.

PINHEIRO, L. de S.; MEIRELES, A. J. de A.; ROSSI, S. Dinâmica do uso e cobertura da terra em microbacias no Nordeste brasileiro ao longo de uma década. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, 16(7), 8068-8089, 2023. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.7-230>.

PORTO, A. V. S.; VIANA, J. F. de S.; GALVÊNCIO, J. D. Análise da validação de dados dos CHIRPS na bacia hidrográfica do rio Pajeú. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing** v.13, n.07. 844-857, 2023. Disponível em: <http://www.periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs>. Acesso em: 12 ago. 2024.

RABELO, D. R.; SANTOS, M. R. da S.; FILHO, M. R. P. de S. Análise comparativa dos dados pluviométricos de satélite e de superfície em bacia hidrográfica semiárida. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 3, n. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6407151>.

ROBERTO *et al.* Monitoramento da área superficial do reservatório Milagres - PE, por meio da sensibilidade espectral dos índices de água: NDWI E MNDWI. **XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2023. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=15156>. Acesso em: 24 maio 2024.

RODRIGUES, AP; LUZ, VS A estruturação do espaço urbano e regional a partir de grandes projetos de “hidráulica de solução”: o caso da transposição do rio São Francisco (2007-2017). In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA URBANA – XVI SIMPURB**, 16., 2019, Espírito Santo. *Anais do XVI SIMPURB*. Espírito Santo: UFES, 2019. v. 3532-3551. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/simpurb2019/article/view/25980> Acesso em: 4 jan. 2024.

RODRIGUES, L. C. A. **Transposição do rio São Francisco na federação brasileira**: planejamento do território e materialidades do eixo. Dissertação-Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2020. 237f.: il.

RODRIGUES, L. de O. **Influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no regime de precipitação do Agreste pernambucano e a vulnerabilidade da população frente às variabilidades**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Pernambuco, 2018.

RODRIGUES, S. L.; GOMES, J. M. A.; CERQUEIRA, E. B. Dinâmica do uso e cobertura da terra nos municípios produtores da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) no Maranhão. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, 60, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v60i0.79091>.

SACONNI, C. J. D. A. **Transposição do rio São Francisco**: contradições da presença-ausência da obra ao longo de seus eixos. Dissertação de mestrado- Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Área de concentração: Habitat. São Paulo, 2019. p 231.

SILVA, A. R. *et al.* Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. **Journal of environmental analysis and progress**, p. 377-384, 2017. DOI: <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1420.377-384>.

SILVA, A. S. A. D. *et al.* Spatial and Temporal Variability of Precipitation Complexity in Northeast Brazil. *Sustainability*, 14(20), 13467, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su142013467>.

SILVA, D. T. *et al.* Precipitação estimada por sensoriamento remoto no estado de Sergipe. **Nativa**, 8(2), 198–204, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i2.7821>.

SILVA, R. O. B. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. D. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 22, 579-589, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017142481>.

SILVEIRA, N. T. *et al.* Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para a análise espaço-temporal da Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova, Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, 3(3), 2022. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7510928>.

SURYABHAGAVAN, K. V. GIS-Based Climate Variability and Drought Characterization in Ethiopia over three decades. **Weather and Climate Extremes** 15(1):11-23, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2016.11.005>.

TARGA, M. S. *et al.* Projeção do escoamento superficial, classes de uso e taxas de ocupação do solo no período de 2003 a 2033 na bacia Ribeirão Pouso Frio. **Revista Técnica Ciências Ambientais**, 1(1), 1-17, 2017. Disponível em: <https://ipabhi.org/repositorio/index.php/rca/article/view/6>. Acesso em: 9 set. 2023.

THOMAS, J.; JOSEPH, S. Impacts of recent rainfall changes on agricultural productivity and water resources within the Southern Western Ghats of Kerala, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, 196(2), 115, 2024. DOI: <https://doi-org.ez19.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10661-023-12270-x>.

THORNTON, P. K. *et al.* Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Global change biology*, 20(11), 3313-3328, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12581>.

TÓRNIO, C. A. A.; KEDE, M. L. F. M.; SOUZA, L. S. de. Avaliação do desempenho das estimativas de precipitação do produto CHIRPS para os municípios de São Gonçalo e Niterói (RJ). *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 34, p. 79-103, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55761/abclima.v34i20.17317>.

VAN DER WIEL, K., & BINTANJA, R. Contribution of climatic changes in mean and variability to monthly temperature and precipitation extremes. **Communications Earth & Environment**, 2(1), 1, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00077-4>.

VELASTEGUI-MONTOYA, A. *et al.* Google Earth Engine: a global analysis and future trends. **Remote Sensing**, 15(14), 3675, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15143675>.

VIANA, C. M. Reflexão sobre as abordagens geoespaciais da investigação geográfica aplicadas à modelação dos sistemas agrícolas. **Finisterra**, LVIII (124), pp. 181-19, 2023. DOI: <https://do.org/10.18055/Finis33462>.

Recebido em: 19/06/2024

Aceito para publicação em: 28/11/2024