UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARIANA SILVA PINHEIRO

AVALIAÇÃO DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS POR MEIO DA ANÁLISE MULTIESCALAR DO ÍNDICE SPI DE 1994 A 2023 PARA O PARQUE NATURAL MUNICIPAL PROFESSOR JOÃO VASCONCELOS SOBRINHO

Caruaru
2025

MARIANA SILVA PINHEIRO

AVALIAÇÃO DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS POR MEIO DA ANÁLISE MULTIESCALAR DO ÍNDICE SPI DE 1994 A 2023 PARA O PARQUE NATURAL MUNICIPAL PROFESSOR JOÃO VASCONCELOS SOBRINHO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves

Caruaru

2025

AGRADECIMENTOS

A jornada até este momento não foi fácil. Houve momentos em que me senti perdida, desanimada e, por diversas vezes, pensei em desistir. No entanto, agora, diante da conclusão dessa etapa, compreendo que cada dificuldade teve seu propósito e que tudo valeu a pena. Sou imensamente grata a Deus por ter me concedido força, paciência e perseverança para seguir em frente, mesmo quando tudo parecia impossível. Também agradeço pelas pessoas que Ele colocou em meu caminho, que aliviaram meu fardo com palavras, gestos e apoio, da maneira que puderam.

Agradeço profundamente à minha família, por todo o suporte, encorajamento e carinho ao longo dessa caminhada. Tenho o privilégio de pertencer a uma família construída sobre os alicerces de duas mulheres extraordinárias, que são exemplos de força e superação: minhas avós, Maria e "Cecinha". Aos meus pais, Cristiana e Eduardo, devo tudo o que sou e tudo o que conquistei. Apenas eles conhecem, em sua totalidade, os sacrifícios feitos para que eu pudesse chegar até aqui. Minha gratidão também à minha tia Marta, que sempre me apoiou incondicionalmente e se orgulhou de mim como se eu fosse sua própria filha. Estendo meus agradecimentos ao meu irmão, Guilherme, aos meus tios Cristiane e Francisco, e ao meu tio Jailson. Cada um de vocês contribuiu, direta ou indiretamente, para a mulher que me tornei. Esta conquista é de vocês também, e espero, do fundo do coração, ter deixado cada um orgulhoso.

Agradeço, com todo o carinho, aos meus amigos mais próximos: Luiza, Sabrina, Priscila e Filipi, por estarem ao meu lado em todos os momentos, mesmo nos mais difíceis. Sou imensamente grata pela paciência que sempre tiveram comigo, por nunca deixarem de acreditar no meu potencial, mesmo quando eu não acreditava, e por me lembrarem, com suas palavras e gestos, que eu era capaz de chegar até aqui. Obrigada por ouvirem meus desabafos, por cada conversa, cada risada e cada incentivo que me animou e fortaleceu ao longo dessa caminhada. Ter vocês comigo fez toda a diferença.

Agradeço, com muito apreço, aos meus colegas de curso, que estiveram comigo ao longo dessa intensa e inesquecível jornada na Engenharia Civil. Compartilhamos momentos de alegria, superação, cansaço e conquistas, sempre com companheirismo e apoio mútuo. Cada desafio se tornou mais leve graças à união e à força que construímos juntos. Espero, de coração, ter sido para vocês o apoio que encontrei em cada um, e que nossa trajetória siga marcada por essa parceria e amizade que levaremos para além da universidade.

Por fim, gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos ao corpo docente do curso de Engenharia Civil do CAA, que ao longo da minha trajetória acadêmica contribuíram de forma significativa para minha formação profissional e pessoal, transmitindo conhecimento, incentivando o pensamento crítico e servindo como modelo para a profissional que um dia pretendo ser. Em especial, agradeço ao meu professor orientador, Prof. Dr. Rodrigo Mikosz, pela orientação atenciosa, apoio constante e valiosas contribuições durante o desenvolvimento deste trabalho, cuja dedicação e comprometimento foram fundamentais para a realização deste projeto.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
CAA	Campus do Agreste
CHIRPS	*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MAE	Erro Absoluto Médio
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NOAA	*National Oceanic and Atmospheric Administration*
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PNMPJVS	Parque Natural Municipal Professor João Vasconcelos Sobrinho
RMSE	Erro Quadrático Médio
SPI	Índice Padronizado de Precipitação
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UCSB	*University of California, Santa Barbara*
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

N	Número de observações
O	Precipitação observada da estação meteorológica (mm)
P	Precipitação estimada pelo CHIRPS (mm)
$\overline{O}$	Média da precipitação observada da estação meteorológica (mm)
$\overline{\mathrm{P}}$	Média da precipitação estimada pelo CHIRPS (mm)
q	Probabilidade de ocorrência de precipitação zero
α	Parâmetro de forma da distribuição gama
β	Parâmetro de escala da distribuição gama
x	Total de precipitação (mm)
$\Gamma(x)$	Função Gama
F(x)	Função de distribuição acumulada ajustada
Z	Estatística padronizada do teste de Mann-Kendall
S	Estatística do teste de Mann-Kendall
r	Coeficiente de correlação de Pearson
d	Índice de concordância
MAE	Erro absoluto médio
RMSE	Raiz do erro quadrático médio
ϕ^{-1}	Função normal inversa padrão

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma metodológico. 11
Figura 2 - Localização da área de estudo. 12
Figura 3 - Mapa hipsométrico da região de estudo. 13
Figura 4 - Precipitação mensal de Caruaru (PE). 14
Figura 5 - Temperatura média, média máxima e média mínima de Caruaru (PE). 15
Figura 6 - Série temporal do índice SPI (a) SPI-1, (b) SPI-12. 24
Figura 7 - Distribuição de frequência dos eventos das categorias do SPI. 26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações da estação meteorológica. 17
Tabela 2 - Categorias do índice de precipitação padronizado. 21
Tabela 3 - Métricas estatísticas para validação dos dados de precipitação pluvial do CHIRPS. 23
Tabela 4 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Coeficiente de Inclinação de Sen para os índices SPI. 26

Avaliação de eventos climáticos extremos por meio da análise multiescalar do índice SPI de 1994 a 2023 para o Parque Natural Municipal Professor João Vasconcelos Sobrinho

Evaluation of extreme climate events through multiscale analysis of the SPI index from 1994 to 2023 for the Municipal Natural Park Professor João Vasconcelos Sobrinho

Mariana Silva Pinheiro[1]

RESUMO

O Parque Natural Municipal Professor João Vasconcelos Sobrinho, localizado em Caruaru (PE), é uma unidade de conservação inserida em uma região de elevadas altitudes, ambiente que propicia uma biodiversidade híbrida com características da Mata Atlântica e da Caatinga. Por ser ecologicamente sensível, a região está vulnerável às variações climáticas, o que torna o monitoramento de eventos extremos essencial para sua preservação. Este estudo analisou a variabilidade climática do parque no período de 1994 a 2023 por meio do Índice Padronizado de Precipitação (SPI), aplicado em escalas mensais (SPI-1) e anuais (SPI-12). Foram utilizados dados do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS), validados por comparação com uma estação meteorológica local, mediante métricas estatísticas como MAE, RMSE, índice de concordância e correlação de Pearson. A série histórica foi ajustada a uma distribuição gama e normalizada para obtenção dos valores do SPI. A análise revelou maior ocorrência de eventos extremos na escala mais ampla, com destaque para períodos secos relacionados ao fenômeno *El Niño* (1997-1998, 2012-2015) e períodos úmidos associados à *La Niña* (2020-2023).

O Teste de Mann-Kendall e o Coeficiente de Inclinação de Sen apontaram tendência crescente nos valores do SPI, especialmente no SPI-12, sugerindo um aumento gradual da umidade acumulada na região. Embora os desvios não representem mudanças abruptas, indicam possível alteração no regime pluviométrico local. Essas tendências podem impactar o equilíbrio ecológico do parque, ameaçando espécies adaptadas a condições mais secas. Os resultados reforçam a importância do monitoramento climático contínuo e da aplicação de índices como o SPI para subsidiar estratégias de preservação em áreas ambientalmente sensíveis.

Palavras-chave: monitoramento ambiental; SPI; variabilidade climática; precipitação.

[1]Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: marianasp180@gmail.com

ABSTRACT

The Municipal Natural Park Professor João Vasconcelos Sobrinho, located in Caruaru (PE), is a conservation unit situated in a high-altitude region, an environment that fosters a hybrid biodiversity with characteristics of both the Atlantic Forest and the Caatinga. Due to its ecological sensitivity, the area is vulnerable to climate variability, making the monitoring of extreme events essential for its preservation. This study analyzed the park's climate variability from 1994 to 2023 using the Standardized Precipitation Index (SPI), applied at monthly (SPI-1) and annual (SPI-12) scales. Data from Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) were used and validated by comparison with a local meteorological station, through statistical metrics such as MAE, RMSE, the concordance index, and Pearson correlation. The historical series was fitted to a gamma distribution and normalized to obtain SPI values. The analysis revealed a higher occurrence of extreme events at the broader scale, highlighting dry periods associated with the El Niño (1997-1998, 2012-2015) phenomenon and wet periods linked to La Niña (2020-2023). The Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimator indicated a rising trend in SPI values, particularly for SPI-12, suggesting a gradual increase in accumulated moisture in the region. Although these deviations do not represent abrupt changes, they indicate a potential shift in the local rainfall regime. Such trends may impact on the park's ecological balance, posing a threat to species adapted to drier conditions. The results underscore the importance of continuous climate monitoring and the application of indices such as SPI to support preservation strategies in environmentally sensitive areas.

Keywords: environmental monitoring; SPI; climate variability; rainfall.

DATA DE APROVAÇÃO: 15/04/2025

1 INTRODUÇÃO

Os biomas representam agrupamentos naturais de vegetação que refletem interações entre fatores climáticos, edáficos e ecológicos (Conradi *et al*., 2020). A preservação desses ecossistemas é essencial para a manutenção da biodiversidade e dos ciclos naturais, incluindo o ciclo hidrológico e a qualidade do ar (Primack; Rodrigues, 2001). No entanto, a integridade desses ambientes tem sido ameaçada por atividades antrópicas, como a expansão agropecuária, queimadas, extrativismo e urbanização, além dos impactos das mudanças climáticas globais (Aleixo *et al*., 2010).

Essas pressões ambientais resultam na perda de *habitat*, na alteração da dinâmica ecológica e na intensificação de eventos climáticos extremos. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), as emissões de gases de efeito estufa de origem antrópica estão acelerando o aquecimento global, alterando significativamente os padrões climáticos. Dados da Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2024) indicam que há 80% de probabilidade de que a temperatura média global anual ultrapasse temporariamente 1,5°C acima dos níveis pré-industriais nos próximos cinco anos, superando os limites estabelecidos pelo Acordo de Paris. A elevação da temperatura e as alterações nos regimes pluviométricos impactam diretamente ecossistemas sensíveis, tornando essencial o monitoramento das variações climáticas regionais para subsidiar estratégias de conservação.

Uma das ferramentas amplamente utilizadas para avaliar a variabilidade climática é o Índice de Precipitação Padronizado (SPI), que quantifica desvios da precipitação em relação à normal climatológica, permitindo identificar períodos de seca e excesso de chuva em diferentes escalas temporais. Estudos como os conduzidos por Silva *et al*. (2020), Silva *et al*. (2022) e Zarch *et al*. (2015) demonstram a eficácia do SPI na caracterização de eventos climáticos extremos, embora sua utilização como ferramenta preditiva demande a associação com outros índices. A aplicação do SPI possibilita a análise da dinâmica temporal desses eventos, identificando tendências de intensificação ou declínio ao longo do tempo.

No Brasil, o Parque Natural Municipal Professor João Vasconcelos Sobrinho (PNMPJVS), localizado em Caruaru, Pernambuco, destaca-se como uma unidade de conservação inserida em um Brejo de Altitude, ambiente caracterizado por vegetação e condições climáticas distintas das áreas circundantes. Essa formação híbrida entre Mata Atlântica e Caatinga pode ser classificado como um *hotspot* de biodiversidade, concentrando espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (Myers *et al*., 2000). No entanto, a vulnerabilidade desse ecossistema às mudanças climáticas torna essencial a análise de seus padrões climáticos para compreender

sua resiliência e riscos ambientais.

A combinação entre a destruição do *habitat* e alterações climáticas pode intensificar o risco de extinção de diversas espécies, como apontado por Canhos *et al*. (2004). Modelagens preditivas sugerem que espécies endêmicas podem perder áreas adequadas para sua sobrevivência, forçando sua migração para regiões já degradadas ou inadequadas. Além disso, estudos de Lapola *et al*. (2020) reforçam a necessidade de avaliar a vulnerabilidade de unidades de conservação diante das mudanças climáticas, destacando que fatores como tamanho, conectividade ecológica e integridade da vegetação influenciam sua resiliência.

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo analisar a variabilidade climática do PNMPJVS por meio da aplicação do SPI em uma série histórica de 30 anos, permitindo a identificação de padrões de seca e umidade na região. A compreensão dessas variações é fundamental para subsidiar ações de conservação e manejo sustentável, contribuindo para a preservação desse ecossistema único e sua biodiversidade.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a variação climática no Parque Natural Municipal Professor João Vasconcelos Sobrinho identificando a ocorrência de eventos climáticos extremos ao longo dos anos de 1994 a 2023 evidenciados pelo índice SPI.

1.1.2 Objetivos Específicos

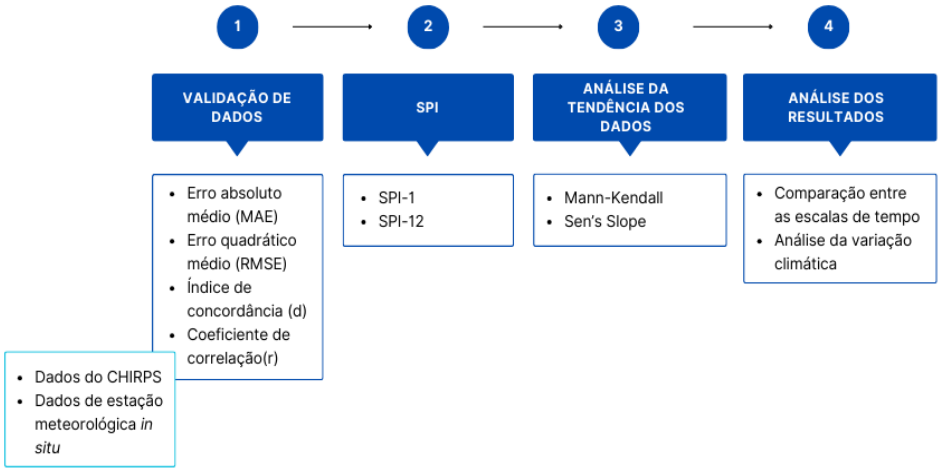
- Organizar as séries temporais disponibilizadas pelo CHIRPS para a área de interesse e região adjacente, visando à estruturação dos dados para análise;
- Validar os dados do CHIRPS comparando-os com observações in situ, por meio do cálculo do erro absoluto médio (MAE), erro quadrático médio (RMSE), índice de concordância (d) e coeficiente de correlação de Pearson (r).;
- Calcular o SPI nas escalas de tempo de 1 mês (SPI-1) e 12 meses (SPI-12) para identificar e classificar períodos de extremos climáticos;
- Avaliar a tendência e a magnitude dos dados pluviométricos obtidos, utilizando o Teste de Mann-Kendall e o Coeficiente de Inclinação de Sen, a fim de detectar possíveis mudanças no regime pluviométrico da região, bem como avaliar o impacto

climatológico da precipitação obtido com o SPI.

2 METODOLOGIA

A Figura 1 apresenta a metodologia adotada. A primeira etapa consiste na validação dos dados do CHIRPS através da estação meteorológica *in situ*, utilizando os indicadores estatísticos Erro Absoluto Médio (MAE), Erro Quadrático Médio (RMSE), Índice de Concordância (d) e Coeficiente de Correlação de Pearson (r). Em seguida, calcula-se o Índice de Precipitação Padronizado (SPI) em duas escalas temporais, SPI-1 e SPI-12. A terceira etapa envolve a análise de tendência dos dados, por meio do teste não paramétrico de Mann-Kendall e o Coeficiente de Inclinação de Sen. Por fim, realiza-se a análise dos resultados, com a comparação entre as escalas de tempo e a avaliação da variabilidade climática.

Figura 1 – Fluxograma metodológico.



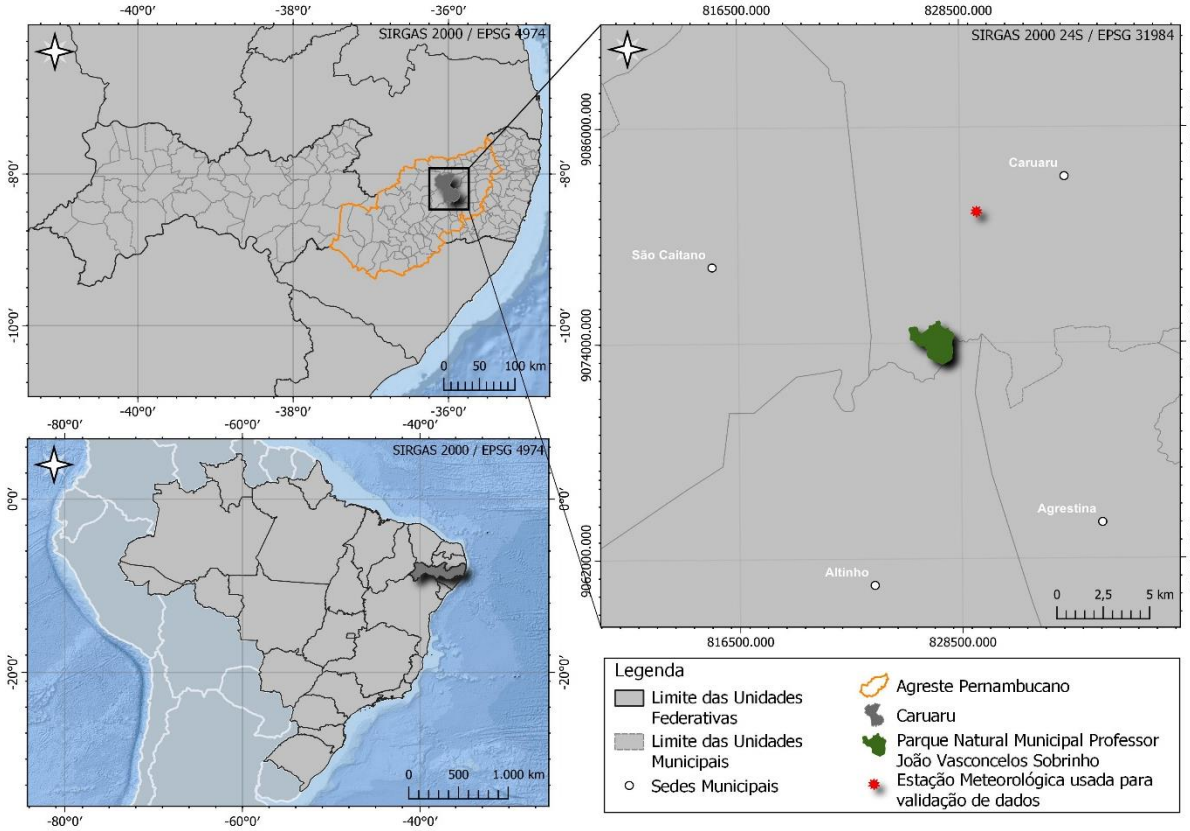
Fonte: Autora (2025)

2.1 Área de estudo

O Parque Natural Municipal Professor João Vasconcelos Sobrinho, também conhecido como Serra dos Cavalos, foi instituído pela Lei Municipal nº 2.776, de 7 de junho de 1983, e está situado no município de Caruaru, Pernambuco. A Unidade de Conservação Municipal abrange uma área de aproximadamente 352 hectares. Os dados levantados para a realização do estudo tomaram como referência a área do parque e o município no qual ele está localizado.

A Figura 2 representa o mapa de localização da área de estudo.

Figura 2 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autora (2024), IBGE (2022), ANA (2019)

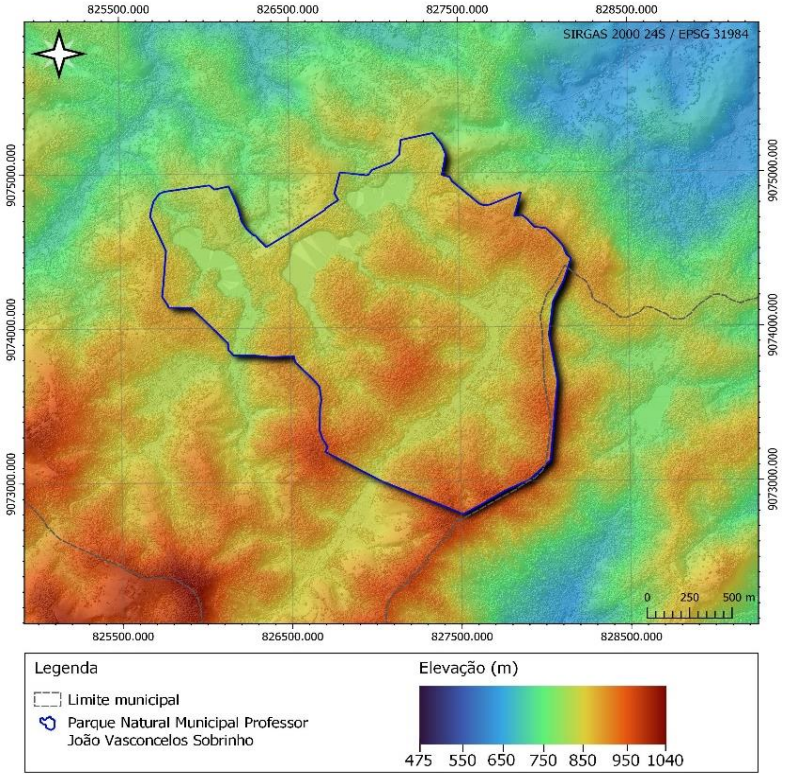
Desempenhando um papel crucial na esfera de conservação ambiental, a região é composta por características físicas que possibilitam a existência e manutenção de biodiversidade semelhante à presente na Mata Atlântica, um dos biomas mais ricos em biodiversidade e mais ameaçados do Brasil. Estudos indicam que essa floresta é um *hotspot* global de biodiversidade, abrigando um grande número de espécies endêmicas e desempenhando um papel essencial na regulação do clima, na manutenção dos recursos hídricos e na oferta de outros serviços ecossistêmicos fundamentais (Silva; Casteleti, 2005). No entanto, devido a séculos de desmatamento, restam apenas 24% da cobertura florestal original desse bioma (Amaral *et al*., 2025), tornando-se vital a preservação de todas as áreas remanescentes para garantir a preservação das espécies intrínsecas a ele. Por ser uma zona de transição ambiental, a região também possui características derivadas da Caatinga, bioma comumente negligenciado pelos esforços de conservação.

A hidrografia da área de preservação é caracterizada por três massas d'água artificiais: o Açude Guilherme de Azevedo, o Açude Serra dos Cavalos e o Açude Jaime Nejaim. Os dois primeiros são reservatórios de domínio federal, construídos pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), enquanto o último pertence ao estado de Pernambuco. Todos

os açudes possuem a finalidade de abastecimento humano.

Localizada no Planalto da Borborema, a região apresenta uma altitude que varia entre 750 e 950 metros, o que exerce uma influência significativa sobre seu clima. A elevação do terreno contribui para a ocorrência de temperaturas mais amenas ao longo do ano, diferenciando-a das áreas circundantes de menor altitude, onde prevalece o clima semiárido típico da Caatinga. Além disso, a altitude favorece a maior frequência de chuvas. A Figura 3 representa o mapa hipsométrico da Serra dos Cavalos e regiões adjacentes.

Figura 3 - Mapa hipsométrico da região de estudo.



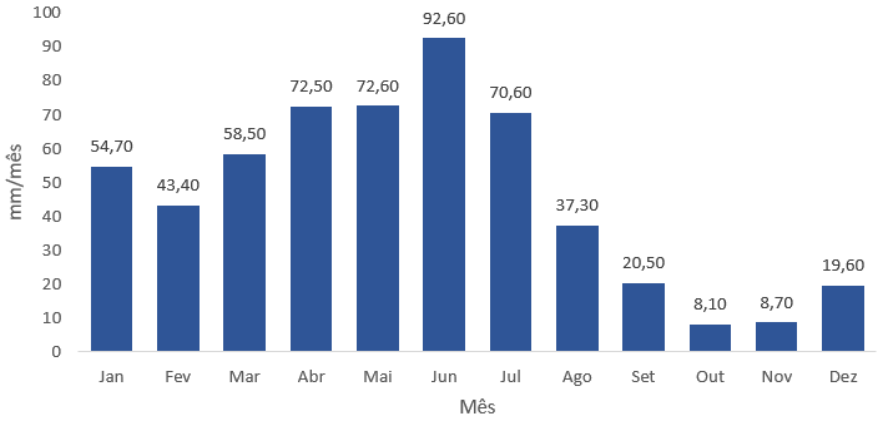
Fonte: Autora (2024), IBGE (2022), ANA (2019), PE3D (2014)

Segundo dados disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2023), a precipitação acumulada mensal em Caruaru, município no qual a área de interesse está contida, apresenta um padrão sazonal bem definido, com maior volume de chuvas concentrado no período que vai do outono ao início do inverno. O mês com maior volume de precipitação é junho, seguido pelos meses de maio, abril e julho, respectivamente. Já os meses de primavera registram os menores índices de precipitação, com destaque para outubro, que apresenta o menor volume de chuvas no ano, seguido por novembro.

É evidente a transição entre a estação chuvosa e a estação seca. Após junho, os volumes de precipitação começam a declinar gradualmente, mas ainda permanecem relativamente elevados

até agosto. A partir de setembro, observa-se uma redução mais acentuada, indicando a entrada do período de estiagem, que se estende até os últimos meses do ano. A Figura 4 traz os valores da precipitação acumulada mensal para o município de Caruaru segundo as normais climatológicas de 1991 a 2020.

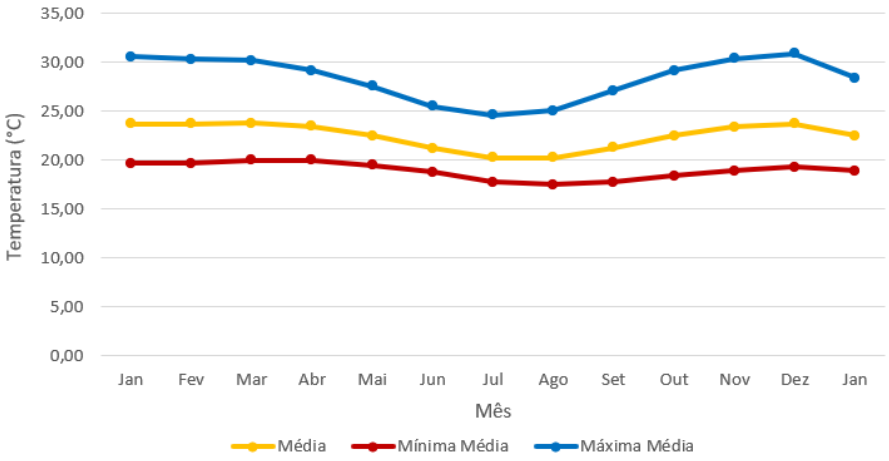
Figura 4 - Precipitação mensal de Caruaru (PE).



Fonte: Autora (2024), APAC (2023)

A temperatura média anual em Caruaru se mantém próxima dos 22,5°C, com variações mensais pouco expressivas. O mês com temperatura mais elevada é março, com média de 23,8°C, enquanto o com a temperatura mais baixa são julho e agosto, com 20,3°C. Essa estabilidade térmica é comum para a zona climática da região, tropical nordeste oriental (IBGE, 2006), onde a amplitude térmica anual é reduzida. Já ao considerar a temperatura mínima média, observa-se um padrão de resfriamento mais significativo entre os meses de julho e setembro, quando as mínimas ficam abaixo de 18°C. Esse comportamento pode estar relacionado à influência de massas de ar mais frias durante o inverno, além da perda de calor noturna típica de altitudes mais elevadas no Agreste pernambucano. Por outro lado, a temperatura máxima média indica períodos de maior aquecimento, sendo que dezembro registra o maior valor, seguido por janeiro. Isso demonstra a influência da radiação solar mais intensa nos meses de verão, contribuindo para dias mais quentes, enquanto nos meses de inverno a temperatura máxima tende a ficar próximo de 25°C, indicando um leve alívio térmico (APAC, 2023). A Figura 5 mostra o comportamento da temperatura média ao longo dos meses para o município de interesse conforme as normais climatológicas de 1991 a 2020.

Figura 5 - Temperatura média, média máxima e média mínima de Caruaru (PE).



Fonte: Autora (2024), APAC (2023)

A cobertura vegetal da região é predominantemente composta por Floresta Ombrófila Densa, que ocupa 93,5% da área, enquanto os 6,5% restantes correspondem à vegetação de Contato Savana-Estépica/Floresta Estacional. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2021), a Floresta Ombrófila Densa é um tipo de formação florestal caracterizada por elevada umidade, dossel fechado e alta biodiversidade, sendo típica de regiões com pluviosidade abundante e bem distribuída ao longo do ano. Já a vegetação de Contato Savana-Estépica/Floresta Estacional corresponde a uma transição entre formações vegetacionais, resultando em uma vegetação com características intermediárias (IBGE, 2012).

2.2 Série temporal

A utilização de uma série histórica de 30 anos é essencial para a análise climatológica, pois permite capturar as variações naturais do clima e estabelecer padrões de normalidade com maior precisão. Esse período se encaixa nas diretrizes estabelecidas pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2017) como o mínimo necessário para identificar tendências de longo prazo e separar eventos climáticos excepcionais das flutuações naturais. Além disso, ao considerar 30 anos de dados, é possível obter uma amostragem abrangente de variabilidades interanuais e sazonais, garantindo uma base sólida para o cálculo de índices como o SPI. O período escolhido foi o de 1994 a 2023, por tratar-se das últimas três décadas anteriores ao desenvolvimento do estudo.

2.3 Escalas de tempo do SPI

As escalas de tempo de mensal, SPI-1, e anual, SPI-12, foram empregadas para o estudo devido à complementaridade dessas métricas para identificação de padrões hídricos de curto e longo prazo. Enquanto o SPI-1 apresenta resposta rápida às anomalias mensais de precipitação, permitindo detectar eventos extremos imediatos, como secas-relâmpago e inundações repentinas, o SPI-12 suaviza as variações mensais e reflete tendências hidroclimáticas anuais, sendo essencial para avaliar a recorrência de secas prolongadas e alterações no regime pluviométrico associadas a oscilações climáticas globais, como *El Niño* e *La Niña*.

A análise conjunta dessas escalas possibilita compreender como déficits ou excessos de precipitação de curto prazo influenciam o balanço hídrico ao longo do tempo, podendo auxiliar tanto no monitoramento operacional quanto no planejamento hídrico estratégico da região estudada.

Essa abordagem é respaldada por diversos outros estudos que também empregam o índice SPI para análise climatológica de uma dada região. Destacam-se, nesse contexto, os trabalhos de Santos Junior *et al*. (2022) e Oliveira *et al*. (2022), que utilizaram, respectivamente, as escalas SPI-1 e SPI-12 para analisar tanto variações sazonais quanto eventos extremos de maior duração. Em ambas as pesquisas, a combinação entre escalas curtas e longas permitiram uma leitura mais abrangente da variabilidade climática, contribuindo para a identificação de secas-relâmpago, períodos úmidos intensos e secas persistentes.

2.4 Fontes de dados

2.4.1 Estação meteorológica

Para a validação estatística dos dados de precipitação do CHIRPS, foi selecionada uma estação pluviométrica automática de código 835106, localizada no município de Caruaru, Pernambuco. A estação está sob a responsabilidade da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), e está em funcionamento desde 31 de dezembro de 1963. Sua escolha ocorreu devido a localização no mesmo município no qual a área de interesse se encontra e pela consistência de sua série histórica.

Para a análise, considerou-se um período de dez anos, de 2014 a 2023, pois esse intervalo corresponde ao maior conjunto de dados ininterruptos dentro da série histórica estudada. Optou-se por não preencher as falhas com valores estimados.

A série histórica foi obtida através do HidroWeb, sistema de informações disponibilizado pela ANA que reúne e disponibiliza dados hidrometeorológicos do Brasil.

Tabela 1 - Informações da estação meteorológica.

NOME	CÓDIGO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
CARUARU	835.106	-8,30	-36,01	545,00

Fonte: ANA (2025)

2.4.2 CHIRPS

O *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS) é um conjunto de dados de precipitação desenvolvido pelo *Climate Hazards Group* da Universidade da Califórnia em Santa Barbara (UCSB). Sua abordagem híbrida combina estimativas de precipitação baseadas em imagens infravermelhas da cobertura de nuvens, obtidas de satélites geoestacionários como GOES, Meteosat, Himawari e INSAT, com dados pluviométricos de estações meteorológicas, quando disponíveis. Esse ajuste reduz incertezas e melhora a precisão espacial e temporal das informações. O CHIRPS fornece dados em diferentes escalas temporais, com resolução espacial de 0,05°, cerca de 5,5 km, abrangendo o período de 1981 até o presente. Devido à sua consistência temporal e ampla cobertura global, é amplamente utilizado em estudos climáticos, monitoramento de secas e modelagem hidrológica.

Para os cálculos do SPI, foram utilizados arquivos *GeoTIFF* (*Tagged Image File Format*), que consistem em imagens *raster* georreferenciadas que armazenam informações de precipitação acumulada em milímetros ao longo de um período específico. Os arquivos utilizam o sistema de coordenadas WGS84 e armazenam dados no formato *Float*32, garantindo compatibilidade com *softwares* de geoprocessamento, como QGIS e ArcGIS, além de possibilitar análises detalhadas por meio de códigos em *Python*. A escolha do CHIRPS se justifica por sua alta resolução espacial e pela metodologia de obtenção de dados, que asseguram maior confiabilidade na caracterização da variabilidade climática da região estudada.

2.4 Validação dos dados

A validação dos dados foi realizada por meio da comparação estatística entre a série histórica de precipitação proveniente do CHIRPS e registros da estação meteorológica escolhida. A comparação foi feita para o mesmo local e período de referência, utilizando métodos que

permitiram quantificar a concordância entre as duas fontes. Foram aplicadas métricas amplamente utilizadas na comparação de modelos ambientais, considerando a magnitude dos erros e a dispersão dos dados em relação aos valores observados. Segundo Willmott (1981), indicadores como o erro absoluto médio (MAE), a raiz do erro quadrático médio (RMSE) e o índice de concordância (d) são adequados para a interpretação e validação de dados estimados em relação aos observados. Em adição aos indicadores supracitados, também será calculado o coeficiente de correlação de Pearson (r).

O MAE, expresso pela Equação 1, foi empregado para medir a média das diferenças absolutas entre os dados do CHIRPS e os dados da estação meteorológica, expressando a magnitude do erro sem considerar sua direção. Quanto menor o seu valor, melhor são os dados disponibilizados pelo CHIRPS, pois significa que os erros médios das estimativas são pequenos.

$$\mathrm{MAE} = \mathrm{N}^{-1} \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}} |\mathrm{O_i} - \mathrm{P_i}| \quad (1)$$

Onde:

N – Número de anos sendo analisados;

$\mathrm{O_i}$ – Precipitação acumulada no ano i segundo a série histórica da estação meteorológica (mm);

$\mathrm{P_i}$ – Precipitação acumulada no ano i segundo a série histórica do CHIRPS (mm).

A Equação 2 é semelhante à Equação 1, salvo que, devido a elevação do erro a potência de dois, esta se torna mais sensível à diferença entre os dados reais e estimados.

$$\mathrm{RMSE} = [\mathrm{N}^{-1} \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}} (\mathrm{P_i} - \mathrm{O_i})^2]^{0.5} \quad (2)$$

O índice de concordância (Equação 3) é uma métrica estatística proposta por Willmott (1981). Ele mede o grau de concordância entre os dados do CHIRPS e os dados da estação meteorológica. Os valores do índice devem variar entre 0 e 1, que representam respectivamente baixa concordância e concordância perfeita entre os dados.

$$\mathrm{d} = 1 - \left[\frac{\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}} (\mathrm{P_i} - \mathrm{O_i})^2}{\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}} (|\mathrm{P_i} - \overline{\mathrm{O}}| + |\mathrm{O_i} - \overline{\mathrm{O}}|)^2} \right] \quad (3)$$

Onde:

$\overline{O}$ – Média da precipitação acumulada no ano i segundo a série histórica da estação meteorológica (mm).

A Equação 4 refere-se ao cálculo do coeficiente de correlação de Pearson. Ele é responsável por medir a força e a direção da relação linear entre as duas variáveis. Seu valor varia de −1 a 1, onde r = 1 indica uma correlação positiva perfeita, r = −1 representa uma correlação negativa perfeita, e r = 0 significa que não há correlação linear entre as variáveis.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-\overline{P})(O_i-\overline{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(P_i-\overline{P})^2}\sqrt{\sum_{i=i}^{n}(O_i-\overline{O})^2}} \quad (4)$$

Onde:

$\overline{P}$ – Média da precipitação acumulada no ano i segundo a série histórica do CHIRPS (mm).

2.6 Índice Padronizado de Precipitação (SPI)

A fundamentação teórica do cálculo do SPI baseia-se no ajuste dos dados da série histórica a uma distribuição de probabilidade, a qual é posteriormente transformada em uma distribuição normal padronizada. Dessa forma, a média do SPI para qualquer local e período é igual a zero e o desvio padrão é igual a um. Valores positivos e negativos correspondem a precipitações acima e abaixo da média climatológica, respectivamente, sendo expressos como desvios padrão em relação à média. Esse processo permite uma comparação consistente entre diferentes regiões e escalas temporais (McKee *et al.*, 1993).

Primeiramente, os dados da série histórica de precipitação foram ajustados a uma função gama, distribuição adequada para variáveis com valores positivos e distribuição assimétrica. Os parâmetros dessa função, conhecidos como forma e escala, foram estimados utilizando o método da máxima verossimilhança (Thom, 1958), que identifica os valores desses parâmetros que maximizam a probabilidade de a série observada pertencer a essa distribuição. A função de densidade de probabilidade da distribuição gama é definida pela Equação 5.

$$g(x;\alpha;\beta) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta\alpha}x^{\alpha-1}e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (5)$$

Onde:

$\alpha > 0$ – Parâmetro de forma;

$\beta > 0$ – Parâmetro de escala;

$x > 0$ – Total de precipitação (mm);

$\Gamma(x)$ - Função Gama.

A função gama é definida pela Equação 6.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (6)$$

Em seguida é realizada a normalização da precipitação de acordo com a Equação 7.

$$X_i^{norm} = \frac{X_i}{max(X)} \quad (7)$$

O tratamento de valores iguais a zero é feito através da incorporação da probabilidade empírica de ocorrência de valores zero, definida pela Equação 8.

$$q = \frac{\sum_{i=1}^{N} 1X_i=0}{N} \quad (8)$$

Onde:

q – Probabilidade de ocorrência de precipitação zero;

N – Número de observações.

Desta forma, a função de distribuição acumulada ajustada leva em conta essa fração de zeros (Equação 9).

$$F(X) = q + (1 - q) \times g(x; \alpha; \beta) \quad (9)$$

Após obter a função de distribuição acumulada ajustada, a conversão para o SPI é realizada aplicando a transformação inversa da distribuição normal padrão (Equação 10).

$$SPI = \Phi^{-1}(F(X)) \quad (10)$$

Todos os cálculos relacionados à obtenção dos valores do SPI-1 e SPI-12 foram realizados

através de um código (Apêndice A) desenvolvido na linguagem de programação *Python* com o uso de suas bibliotecas e funções inerentes.

Os resultados do SPI podem ser classificados como eventos moderados, severos ou extremos, seja de seca ou umidade conforme evidenciado na Tabela 2.

Tabela 2 - Categorias do índice de precipitação padronizado.

CATEGORIA	VALORES
Extremamente seco	SPI ≤ -2,0
Severamente seco	-2,0 < SPI ≤ -1,5
Moderadamente seco	-1,5 < SPI ≤ -1,0
Próximo ao normal	-1,0 < SPI < 1,0
Moderadamente úmido	1,0 ≤ SPI < 1,5
Severamente úmido	1,5 ≤ SPI < 2,0
Extremamente úmido	SPI ≥ 2,0

Fonte: McKee *et al.* (1993)

2.7 Análise de tendência

O Teste de Mann-Kendall e o Coeficiente de Inclinação de Sen são complementares na análise de tendência em séries temporais. Enquanto Mann-Kendall detecta se há uma tendência estatisticamente significativa, o Coeficiente de Inclinação de Sen estima sua magnitude.

O Teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1948) é um método estatístico que não faz suposições sobre a distribuição dos dados, ou seja, é não paramétrico. Ele avalia a existência de uma tendência monotônica crescente ou decrescente na série temporal.

O método baseia-se no cálculo do estatístico S, definido pela Equação 11. O somatório avalia todos os pares de valores na série temporal e verifica quantas vezes o valor atual é maior ou menor que o anterior. Caso S > 0, a tendência é crescente e no caso de S < 0, a tendência é decrescente.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \mathrm{sgn}(x_j - x_i) \tag{11}$$

Onde:

x_j e x_i – Valores de dados sequenciais;

$\mathrm{sgn}(\,)$ – Função sinal representada pela Equação 12.

$$\mathrm{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 \text{ se } x_j > x_i \\ 0 \text{ se } x_j = x_i \\ -1 \text{ se } x_j < x_i \end{cases} \quad (12)$$

Considerando que o número de observações (n) é satisfatoriamente grande (n > 10), a estatística S pode ser aproximada por uma distribuição normal com média zero e variância dada pela Equação 13. A variância mede a dispersão dos valores de S.

$$\mathrm{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{m} t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (13)$$

Onde:

n – Tamanho da amostra;

t_p – Quantidade de valores repetidos na série.

A Equação 14 define a estatística padronizada Z. Caso $|Z| > 1{,}96$ (considerando um nível de significância de 5%), rejeita-se a hipótese nula e conclui-se que há uma tendência significativa.

$$z \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\mathrm{Var}(S)}} \text{ se } S > 0 \\ 0 \text{ se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\mathrm{Var}(S)}} \text{ se } S < 0 \end{cases} \quad (14)$$

A significância da tendência ou Valor-p dela é dada pela Equação 15.

$$\mathrm{Valor} - p = 2(1 - \Phi(|Z|)) \quad (15)$$

Caso seja detectada uma tendência significativa em Mann-Kendall, o Coeficiente de Inclinação de Sen (1968) é utilizado para quantificar a inclinação da tendência. Ele é calculado como a mediana de todas as inclinações possíveis entre pares de pontos da série, como representado pela Equação 16. O coeficiente resultante indica a taxa de variação dos dados ao longo do tempo, sendo positivo para tendências crescentes e negativo para tendências decrescentes.

$$Q = mediana\left(\frac{x_j - x_i}{j - i}\right), \forall i < j \quad (16)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desta pesquisa são apresentados a seguir, iniciando pela análise da validação dos dados da base CHIRPS em relação aos dados observados na estação meteorológica selecionada. A Tabela 3 retrata os parâmetros estatísticos mensais resultantes da comparação dos dados de ambas as bases ao longo do período de 2014 a 2023.

Tabela 3 - Métricas estatísticas para validação dos dados de precipitação pluvial do CHIRPS.

MÊS	MEI (mm)	RMSE (mm)	d	r
Jan	9,96	13,56	0,91	0,94
Fev	28,42	32,31	0,36	0,03
Mar	25,39	31,83	0,81	0,84
Abr	25,62	35,11	0,58	0,64
Mai	42,29	67,02	0,49	0,36
Jun	20,15	23,15	0,87	0,85
Jul	33,20	43,36	0,20	0,19
Ago	38,57	41,66	0,52	0,63
Set	13,42	19,33	0,51	0,57
Out	8,84	13,89	0,33	0,21
Nov	9,56	13,90	0,93	0,96
Dez	14,63	17,02	0,71	0,65

Fonte: Autora (2025)

A validação dos dados revela uma variação significativa entre os meses, com alguns meses apresentando uma boa aderência entre os dados de precipitação pluvial do CHIRPS e os provenientes da estação meteorológica. No entanto, o mês de fevereiro se destaca como o mais crítico em termos de índice de concordância e índice linear de correlação, indicando uma menor correspondência entre os dois conjuntos de dados. Em relação ao erro absoluto médio, o mês de maio apresentou o maior valor.

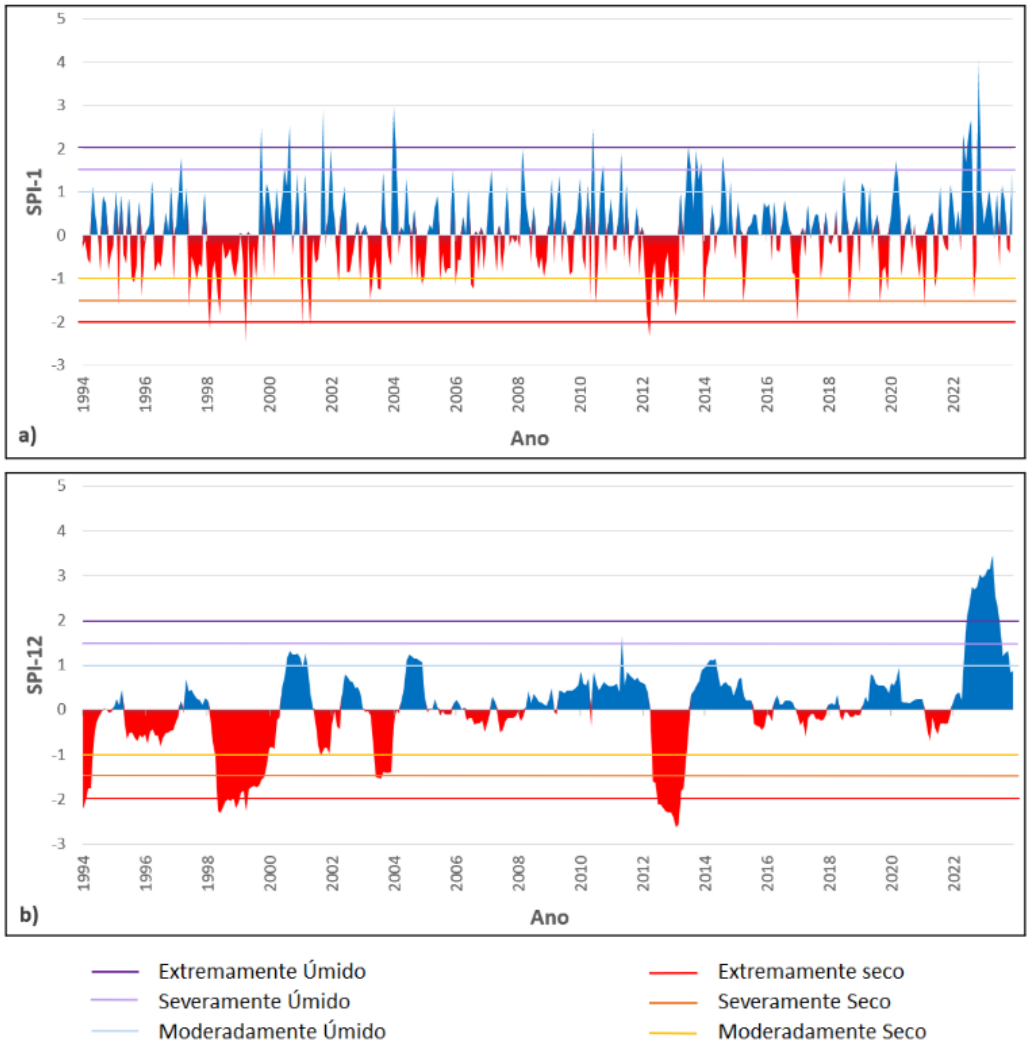
Essa variação nos dados pode ser explicada pela presença de chuvas convectivas, que são típicas por sua forte intensidade e ocorrência pontual, o que pode gerar discrepâncias nas medições de precipitação entre diferentes fontes de dados (Camparotto *et al*., 2013). Os erros constatados também podem ser acarretados pelo fato das células do produto do CHIRPS abrangerem uma área de aproximadamente 5,5 x 5,5 km enquanto a estação meteorológica realiza a medição da precipitação de forma local e pontual. Outro fator que pode ter influência

na variação dos resultados é a localização da estação meteorológica trabalhada, que está situada na área de transição entre duas células.

Apesar das variações mensais e das limitações observadas, especialmente nos meses com predominância de chuvas convectivas, os resultados indicam que os dados de precipitação do CHIRPS apresentam desempenho satisfatório na maioria dos meses do ano, com boa concordância e correlação com os dados observados. Dessa forma, considerou-se que o CHIRPS pode ser uma fonte confiável para análise climatológica da região, especialmente considerando que o estudo é de longo prazo e em um local com escassez de dados observacionais.

As Figuras 6(a) e 6(b) apresentam o índice SPI de 1 mês (SPI-1) e de 12 meses (SPI-12), respectivamente, para a região do Parque Natural Municipal Professor João Vasconcelos Sobrinho no período de 1994 a 2023.

Figura 6 - Série temporal do índice SPI (a) SPI-1, (b) SPI-12.



Fonte: Autora (2025)

Ao analisar os eventos extremos nas séries SPI-1 e SPI-12 (Apêndice B), observa-se uma diferença no comportamento de cada escala. Na série SPI-1, ocorreram 10 eventos extremamente úmidos (SPI > 2) nos anos 1999-2001, 2004, 2010, 2013 e 2022, enquanto 5 eventos extremamente secos (SPI < -2) foram registrados nos anos 1998/1999, 2001 e 2012. Esses resultados evidenciam que os extremos na escala mensal estão mais dispersos no tempo e podem ocorrer em anos isolados sem necessariamente indicar uma tendência de longo prazo. O maior desvio negativo foi registrado em abril de 1999, com valor de -2,48, enquanto o maior desvio positivo ocorreu em novembro de 2022, atingindo 4,04.

Por outro lado, na escala SPI-12, houve um número maior de eventos extremos, com 13 eventos extremamente úmidos concentrados nos anos 2022 e 2023, e 20 eventos extremamente secos ocorrendo nos anos 1994, 1998/1999 e 2012/2013. A presença de períodos extremos em múltiplos anos consecutivos na série SPI-12 sugere que secas ou períodos excessivamente úmidos tendem a se prolongar, o que não é captado pela escala mensal. O evento extremamente seco mais crítico ocorreu para fevereiro de 2013, registrando -2,64, já o evento extremamente úmido mais crítico ocorreu em abril de 2023, marcando 3,45.

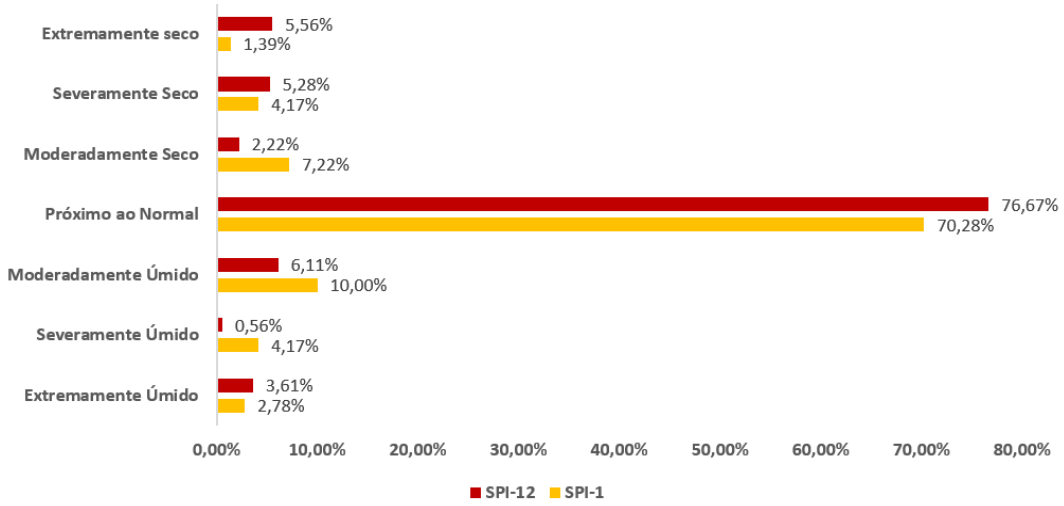
Segundo Melo (1999), o fenômeno *El Niño* tem uma relação direta com as secas no Nordeste brasileiro, influenciando a redução das chuvas na região devido ao aquecimento das águas do Oceano Pacífico. O autor destaca que, embora o *El Niño* não seja o único fator determinante das secas, ele contribui significativamente para a intensificação desses períodos de estiagem. Entre as secas históricas que marcaram o Nordeste brasileiro, destacam-se os eventos de 1997–1998 e 2012–2015, ambos caracterizados por sua intensidade excepcional. Enquanto a primeira esteve associada a um forte evento *El Niño*, a segunda é apenas parcialmente associada ao fenômeno (Marengo *et al*., 2017). Os períodos de seca histórica citados convergem com os períodos que apresentam o maior número de meses consecutivos com valores menores que -2 para o SPI-12. Nota-se também que o valor negativo mais crítico do SPI-1 ocorre no início de 1999, podendo ser relacionado a seca histórica dos anos anteriores.

O fenômeno *La Niña* aumenta a precipitação no Nordeste Brasileiro devido ao resfriamento anômalo das águas do Oceano Pacífico Equatorial, que influencia a circulação atmosférica global, fortalecendo os ventos alísios e favorecendo a aproximação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre a região. Esse deslocamento da ZCIT resulta em maior convergência de umidade e, consequentemente, chuvas mais frequentes e intensas, especialmente durante a estação chuvosa do semiárido nordestino. Segundo dados da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA, 2023), o fenômeno *La Niña* do período de 2020 a 2023 foi

classificado como de intensidade fraca a moderada, porém notável por sua duração atípica, estendendo-se por três anos consecutivos. Analisando a série temporal do SPI-12, é evidente o período de desvio positivo acima de 2 entre os anos de 2022 e 2023, criando uma conexão entre o resultado obtido e a ocorrência do fenômeno *El Niña.*

Os valores apresentados na Figura 7 refletem a distribuição percentual das categorias do SPI para as duas escalas de tempo trabalhadas. Para esta análise, considerou-se o critério de mês unitário, ou seja, a identificação de um evento foi realizada sempre que ao menos um único mês da série apresentou valor de SPI enquadrado diretamente em alguma das categorias de intensidade. Observa-se que a maioria dos registros está concentrada na categoria "Próximo ao Normal", com 70,28% no SPI-1 e 76,67% no SPI-12, indicando uma predominância de condições normais em ambos os períodos. A frequência dos eventos climáticos extremos, úmidos ou secos, aumentaram na escala mais longa comparada à mais curta, evidenciando suavização dos períodos identificados com anomalias extremas à medida que a escala temporal é estendida.

Figura 7 - Distribuição de frequência dos eventos das categorias do SPI.



Fonte: Autora (2025)

A Tabela 4 apresenta as estatísticas calculadas do Teste de Mann-Kendall e do Coeficiente de Inclinação de Sen para o índice SPI nas escalas trabalhadas.

Tabela 4 - Estatísticas dos testes de Mann-Kendall e Coeficiente de Inclinação de Sen para os índices SPI.

ÍNDICE	Z	SIGNIFICÂNCIA	INCLINAÇÃO DE SEN
SPI-1	2,6385	0,0083	0,0013
SPI-12	7,352	$1{,}94 \times 10^{-13}$	0,0030

Fonte: Autora (2025)

Segundo o teste de Mann-Kendall, o SPI-1 apresenta uma tendência crescente estatisticamente significativa ao longo do tempo. Isso indica que, ao longo dos anos, os valores médios do SPI-1 têm aumentado, sugerindo uma possível mudança no padrão da precipitação mensal. Existe uma leve tendência de aumento no SPI-1, mas sua magnitude é muito pequena para ter um impacto substancial na climatologia regional, como demonstrado pelo resultado do Coeficiente de Inclinação de Sen.

Há uma tendência crescente estatisticamente significativa no SPI-12 segundo os resultados do Teste de Mann-Kendall, o que indica que os valores têm aumentado ao longo do tempo. A interpretação do resultado do Coeficiente de Inclinação de Sen sugere que o aumento é pequeno, mas consistente. Embora o SPI-12 não esteja aumentando rapidamente, a tendência positiva sugere um padrão gradual de aumento nos períodos de umidade ao longo das décadas. Esse crescimento pode estar relacionado a mudanças nos padrões de precipitação, onde eventos de seca extrema podem estar se tornando menos frequentes.

A tendência crescente do SPI-12 confirma que há um padrão consistente de aumento da precipitação, mas a variabilidade do SPI-1 indica que essa mudança não ocorre de forma linear, sendo influenciada por oscilações sazonais.

Se a tendência de curto prazo do SPI-1 fosse fraca ou inexistente, mas o SPI-12 ainda mostrasse um aumento, isso poderia indicar que os períodos secos e úmidos estão ficando mais distribuídos ao longo do ano. Mas como ambas as escalas mostram um leve aumento, isso sugere que tanto os meses chuvosos individuais quanto os padrões anuais estão contribuindo para a tendência geral.

Silva *et al.* (2022) conduziram estudos acerca da variação nos padrões de precipitação para o estado de Pernambuco ao longo do período de 1990 a 2020 e tendo o SPI-12 como um dos índices empregados na pesquisa. Parte dos resultados obtidos pelo estudo aponta tendência crescente estatisticamente significativa para os valores do SPI-12 para a mesorregião Agreste. No entanto, com uma inclinação muito baixa, de 0,00103/mês, indicando que, embora haja uma mudança detectável nos padrões de precipitação, a intensidade dessa variação é pequena e pode não representar transformações abruptas no regime de chuvas da região.

Considerando as particularidades da biodiversidade do PNMPJVS, a variação climática pode induzir transições de grande escala nos tipos de vegetação dentro da área protegida, o que compromete a estabilidade dos ecossistemas e ameaça a permanência de espécies adaptadas às condições atuais (Lapola *et al*., 2020). Caso a tendência de aumento do volume de precipitação na área persista as espécies adaptadas à seca podem ser prejudicadas fazendo com que sua população diminua ou seja eliminada por completo da região.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da variabilidade climática no Parque Natural Municipal Professor João Vasconcelos Sobrinho, utilizando o Índice Padronizado de Precipitação (SPI), revelou tendências relevantes para a compreensão dos padrões de precipitação na região ao longo dos últimos 30 anos. As aplicações do SPI nas escalas mensal (SPI-1) e anual (SPI-12) permitiram identificar a ocorrência de eventos extremos de seca e umidade, evidenciando que, apesar da predominância de condições próximas à normalidade, existem períodos de eventos extremos, especialmente na escala de tempo mais ampla. Estes eventos podem estar relacionados á fenômenos como *El Niño* e *La Niña*.

Os testes estatísticos aplicados demonstraram a existência de uma tendência crescente significativa nos valores do SPI-12, sugerindo um possível aumento gradual da umidade acumulada na região, o que pode impactar diretamente a dinâmica ecológica do parque. A tendência observada no SPI-1, embora mais sutil, reforça essa percepção de mudança no regime pluviométrico.

A persistência dessas tendências pode provocar desequilíbrios ecológicos, uma vez que o parque abriga uma biodiversidade adaptada a condições específicas de umidade e temperatura. A intensificação dos períodos úmidos pode comprometer espécies adaptadas à escassez hídrica, características dos ecossistemas de transição entre Caatinga e Mata Atlântica.

Dessa forma, os resultados obtidos ressaltam a importância do monitoramento climático contínuo em áreas de conservação ambiental, especialmente frente aos cenários de mudanças climáticas globais. A aplicação de índices como o SPI, aliada a bases de dados consistentes e técnicas estatísticas robustas, revela-se uma ferramenta eficiente para a detecção de alterações climáticas regionais, subsidiando ações de planejamento e conservação ambiental.

REFERÊNCIAS

ALEIXO, Alexandre; ALBERNAZ, Ana Luisa; GRELL, Carlos Eduardo Viveiros; VALE, Mariana Moncassim; RANGEL, Thiago Fernando. **Mudanças climáticas e a biodiversidade dos biomas brasileiros: passado, presente e futuro**. Natureza e Conservação, v. 8, n. 2, p. 194-196, 2010.

AMARA, D. M. K.; ULLAH, K. **Quantification of precipitation deficits on different time scales in Sierra Leone using standard precipitation index**. Theoretical and Applied Climatology, v. 151, p. 1133–1150, 2023.

AMARAL, S.; METZGER, J. P.; ROSA, M.; EGENHOFF, S. O.; FREITAS, J. F.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. S.; AGUIAR, A. P. D.; PEREIRA, R.; CASTRO, A. C. **Alarming patterns of mature forest loss in the Brazilian Atlantic Forest.** Nature Sustainability, v. 8, p. 256–264, 2025.

ANA. HidroWeb: sistema de séries históricas. Dados da estação meteorológica [CARUARU/835.106]. Brasília: ANA, [s.d.]. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas. Acesso em: 20/01/2025.

APAC. **Atlas Climatológico do Estado de Pernambuco: Normais Climatológicas 1991-2020**. Recife: APAC, 2022. Disponível em: https://www.apac.pe.gov.br/images/webAtlas-Climatologico-do-Estado-de-Pernambuco-APAC.pdf. Acesso em: 04/03/2025.

CANHOS, Vanderlei Perez; SIQUEIRA, Marinez Ferreira de; CANHOS, Dora A. L. **Mudanças climáticas globais: consequências para a biodiversidade**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2004.

CAMPAROTTO, Ludmila B.; BLAIN, Gabriel C.; GIAROLLA, Angélica; ADAMI, Marcos; CAMARGO, Marcelo B. P. de. **Validação de dados termopluviométricos obtidos via sensoriamento remoto para o Estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 6, p. 640-647, 2013.

CHIRPS. Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) – Version 2.0. Santa Barbara: Climate Hazards Group, University of California, 2015. Disponível em: https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/. Acesso em: 17/01/2025.

CONRADI, Timo; SLINGSBY, Jasper A.; MIDGLEY, Guy F.; NOTTEBROCK, Henning; SCHWEIGER, Andreas H.; HIGGINS, Steven I**. An operational definition of the biome for global change research**. New Phytologist, v. 227, n. 5, p. 1294-1306, 2020.

DA SILVA, D. F.; LIMA, M. J. S.; SOUZA NETO, P. F.; GOMES, H. B.; SILVA, F. D. S. **Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 2, p. 449-464, 2020.

EMBRAPA. **Floresta Ombrófila Densa**. Agência de Informação Embrapa, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/vegetacao/floresta-ombrofila-densa. Acesso em: 05/02/2025.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. 2. ed. London: Griffin, 1948.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha digital do Brasil: Municípios – Pernambuco – 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html. Acesso em: 02/08/2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha digital do Brasil: Unidades da Federação – 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em:

https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html. Acesso em: 02/08/2024.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf. Acesso em: 05/02/2025.

IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Genebra: IPCC, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/. Acesso em: 03/08/2024.

ITEP. PE3D – Modelo Digital de Elevação (MDE) do Estado de Pernambuco. Recife: ITEP, [s.d.]. Disponível em: https://www.itep.br/pe3d. Acesso em: 10/01/2025.

LAPOLA, David M.; DA SILVA, José Maria C.; BRAGA, Diego R.; CARPIGIANI, Larissa; OGAWA, Fernanda; TORRES, Roger R.; BARBOSA, Luis C. F.; OMETTO, Jean P. H. B.; JOLY, Carlos A. **A climate-change vulnerability and adaptation assessment for Brazil's protected areas**. Conservation Biology, v. 34, n. 2, p. 427-437, 2020.

MANN, H. B. **Nonparametric tests against trend**. Econometrica: Journal of the Econometric Society, v. 13, p. 245-259, 1945.

MARENGO, José A.; TORRES, Roger Rodrigues; ALVES, Lincoln M**. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future**. Theoretical and Applied Climatology, [S.l.], v. 129, n. 3–4, p. 1189–1200, 2017.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. **The relationship of drought frequency and duration to time scale. Eighth conference on applied climatology**, p. 17-22, 1993.

MELO, Josemir Camilo de. **O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil**. Raízes, v. XVIII, n. 20, p. 13-21, nov. 1999.

MMA. Unidades de Conservação – Cadastro Nacional de Unidades de Conservação – CNUC (versão: 2019). Brasília: MMA, 2019. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/9407d38f-84d2-48ea-97dd-ee152c493043. Acesso em: 02/08/2024.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. Nature, v. 403, p. 853-858, 2000.

NOAA. **Recent triple-dip La Niña upends current understanding of ENSO**. 2023. Disponível em: https://research.noaa.gov/recent-triple-dip-la-nina-upends-current-understanding-of-enso/. Acesso em: 20/03/2025.

OLIVEIRA, Marina de; ROSÁRIO, Nilton Manuel Évora do; RIZZO, Luciana Varanda; REBOITA, Michelle Simões; DRUMOND, Anita. **Identificação e caracterização de eventos climáticos secos e úmidos no ABC Paulista no período de 2000–2020 usando o SPI**. Revista Brasileira de Climatologia, Dourados, MS, v. 31, p. 458–474, 2022.

OMM. **WMO Global Annual to Decadal Climate Update 2024 - 2028**. Genebra: OMM, 2024. Disponível em: https://library.wmo.int/records/item/68910-wmo-global-annual-to-decadal-climate-update. Acesso em: 03/08/2024.

OMM. **WMO Guidelines on the calculation of Climate Normals**. Genebra: OMM, n. 1203, p. 16, 2017. Disponível em: https://community.wmo.int/en/activity-areas/climate-services/climate-products-and-initiatives/wmo-climatological-normals. Acesso em: 20/10/2024.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. Londrina: Editora Planta, 2001.

SANTOS JUNIOR, Edimar Pereira dos; BLAIN, Gabriel Constantino; XAVIER, Ana Carolina Freitas**. Avaliação dos dados de reanálise do Climatic Research Unit (CRU) e do 5th Generation of European Reanalysis (ERA5) no monitoramento probabilístico padronizado da seca**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 37, n. 2, p. 243–260, 2022.

SEN, P. K. **Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau**. Journal of the American Statistical Association, v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968.

SILVA, José Maria Cardoso da; CASTELETI, Carlos Henrique M. **Estado da biodiversidade da Mata Atlântica brasileira**. In: GALINDO-LEAL, Carlos; CÂMARA, Ibsen de Gusmão (org.). Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas. Belo Horizonte: Fundação SOS Mata Atlântica; Conservação Internacional, 2005. p. 43–59.

SILVA, Tarciana; SANTOS, Carlos; SILVA, Delson; SANTOS, Celso; DA SILVA, Richarde; BRITO, José. **Climate indices-based analysis of rainfall spatiotemporal variability in Pernambuco State, Brazil**. Water, v. 14, p. 2190, 2022.

THOM, H. C. S. **A note on the gamma distribution**. Monthly Weather Review, v. 86, n. 4, p. 117-122, 1958.

WILLMOTT, C. J. **On the validation of models**. Physical Geography, v. 2, p. 184-194, 1981.

ZARCH, M. A. A.; SIVAKUMAR, B.; SHARMA, A. **Droughts in a warming climate: a global assessment of Standardized Precipitation Index (SPI) and Reconnaissance Drought Index (RDI)**. Journal of Hydrology, v. 526, p. 183-195, 2015.

APÊNDICE A – CÓDIGO EM *PYTHON* QUE REALIZA O CÁLCULO DO SPI.

```python
import numpy as np
from scipy.stats import gamma, norm
from scipy.optimize import minimize

def neg_log_likelihood(params, precip_pos_norm):
    """Calcula a verossimilhança negativa para a distribuição gama"""
    a, scale = params
    if a <= 0 or scale <= 0:
        return np.inf  # Evita valores inválidos
    return -np.sum(gamma.logpdf(precip_pos_norm, a, 0, scale))

def calculate_spi_gamma(precip_series):
    """Calcula SPI com ajustes robustos para casos extremos"""
    precip = np.array(precip_series)
    valid = ~np.isnan(precip)

    if np.sum(valid) < 30:
        return np.full_like(precip, np.nan)

    precip_valid = precip[valid]
    zeros = precip_valid == 0
    q = np.mean(zeros)

    if q == 1:
        return np.full_like(precip, -3.0)

    precip_pos = precip_valid[~zeros]
    if len(precip_pos) < 2:
        return np.full_like(precip, np.nan)

    max_precip = np.max(precip_pos)
    precip_pos_norm = precip_pos / max_precip


    try:
        result = minimize(
            neg_log_likelihood,
            x0=[1.0, 1.0],
            bounds=[(1e-6, None), (1e-6, None)],
            args=(precip_pos_norm,)  # Passa os dados normalizados como argumento extra
        )
        a, scale = result.x
        scale *= max_precip  # Desfaz a normalização

        cdf_pos = gamma.cdf(precip_pos, a, 0, scale)
        cdf_full = np.zeros_like(precip_valid)
        cdf_full[~zeros] = q + (1 - q) * cdf_pos
        cdf_full[zeros] = q

        spi = np.full_like(precip, np.nan)
        spi[valid] = norm.ppf(cdf_full)

    except Exception as e:
        print(f"Erro no cálculo do SPI: {e}")
        spi = np.full_like(precip, np.nan)

    return spi
```

APÊNDICE B – VALORES DO SPI-1 E SPI-12 PARA O PARQUE NATURAL MUNICIPAL PROFESSOR JOÃO VASCONCELOS SOBRINHO DE 1994 A 2023.

Mês, Ano	SPI-1	Classificação SPI-1	SPI-12	Classificação SPI-12
janeiro, 1994	-0,307126020	Próximo ao Normal	-2,218356400	Extremamente Seco
fevereiro, 1994	-0,128636400	Próximo ao Normal	-2,020881400	Extremamente Seco
março, 1994	-0,540202440	Próximo ao Normal	-1,762392800	Severamente Seco
abril, 1994	-0,667441840	Próximo ao Normal	-1,750989000	Severamente Seco
maio, 1994	1,123020200	Moderadamente Úmido	-0,759477260	Próximo ao Normal
junho, 1994	0,472296150	Próximo ao Normal	-0,312608420	Próximo ao Normal
julho, 1994	-0,008946293	Próximo ao Normal	-0,161745430	Próximo ao Normal
agosto, 1994	-0,831080700	Próximo ao Normal	-0,071072120	Próximo ao Normal
setembro, 1994	0,897985900	Próximo ao Normal	0,030235855	Próximo ao Normal
outubro, 1994	0,744152070	Próximo ao Normal	-0,001379472	Próximo ao Normal
novembro, 1994	-0,819380400	Próximo ao Normal	-0,064725190	Próximo ao Normal
dezembro, 1994	-0,443374720	Próximo ao Normal	-0,043794636	Próximo ao Normal
janeiro, 1995	-0,229336340	Próximo ao Normal	0,056403276	Próximo ao Normal
fevereiro, 1995	1,036191700	Moderadamente Úmido	0,236290800	Próximo ao Normal
março, 1995	-1,622922400	Severamente Seco	0,100391580	Próximo ao Normal
abril, 1995	0,912005900	Próximo ao Normal	0,456083450	Próximo ao Normal
maio, 1995	-0,455822620	Próximo ao Normal	-0,245385050	Próximo ao Normal
junho, 1995	-0,669659850	Próximo ao Normal	-0,665204050	Próximo ao Normal
julho, 1995	0,839936260	Próximo ao Normal	-0,501200800	Próximo ao Normal
agosto, 1995	-0,955737900	Próximo ao Normal	-0,513606300	Próximo ao Normal
setembro, 1995	-1,101331100	Moderadamente Seco	-0,623604200	Próximo ao Normal
outubro, 1995	-0,699492200	Próximo ao Normal	-0,694894250	Próximo ao Normal
novembro, 1995	0,782805740	Próximo ao Normal	-0,564821840	Próximo ao Normal
dezembro, 1995	-1,425233200	Moderadamente Seco	-0,621083260	Próximo ao Normal
janeiro, 1996	-0,358780600	Próximo ao Normal	-0,552019400	Próximo ao Normal
fevereiro, 1996	0,117128540	Próximo ao Normal	-0,764004900	Próximo ao Normal
março, 1996	0,256152800	Próximo ao Normal	-0,493686140	Próximo ao Normal
abril, 1996	1,240641100	Moderadamente Úmido	-0,427638920	Próximo ao Normal
maio, 1996	-0,844170630	Próximo ao Normal	-0,577392200	Próximo ao Normal
junho, 1996	-0,607648500	Próximo ao Normal	-0,575821760	Próximo ao Normal
julho, 1996	-0,737669940	Próximo ao Normal	-0,807794900	Próximo ao Normal
agosto, 1996	-0,185975280	Próximo ao Normal	-0,617427400	Próximo ao Normal
setembro, 1996	0,530533130	Próximo ao Normal	-0,529989900	Próximo ao Normal
outubro, 1996	0,081530620	Próximo ao Normal	-0,518566550	Próximo ao Normal
novembro, 1996	1,115434200	Moderadamente Úmido	-0,465003820	Próximo ao Normal
dezembro, 1996	-1,008426800	Moderadamente Seco	-0,445775450	Próximo ao Normal
janeiro, 1997	0,214517430	Próximo ao Normal	-0,274285440	Próximo ao Normal
fevereiro, 1997	1,000385600	Moderadamente Úmido	-0,137739500	Próximo ao Normal
março, 1997	1,801455000	Severamente Úmido	0,193923850	Próximo ao Normal
abril, 1997	0,313073870	Próximo ao Normal	-0,091740444	Próximo ao Normal
maio, 1997	1,102938500	Moderadamente Úmido	0,675025170	Próximo ao Normal
junho, 1997	-1,653364200	Severamente Seco	0,418418650	Próximo ao Normal
julho, 1997	-0,477783100	Próximo ao Normal	0,440959400	Próximo ao Normal
agosto, 1997	-0,681331300	Próximo ao Normal	0,310414080	Próximo ao Normal
setembro, 1997	-1,020565000	Moderadamente Seco	0,233977660	Próximo ao Normal
outubro, 1997	-0,659757550	Próximo ao Normal	0,216590400	Próximo ao Normal
novembro, 1997	-0,747844600	Próximo ao Normal	0,101466340	Próximo ao Normal

dezembro, 1997	0,965176700	Próximo ao Normal	0,260512740	Próximo ao Normal
janeiro, 1998	-0,974471000	Próximo ao Normal	0,221852080	Próximo ao Normal
fevereiro, 1998	-2,181157600	Extremamente Seco	-0,165419680	Próximo ao Normal
março, 1998	-0,852432300	Próximo ao Normal	-0,727240900	Próximo ao Normal
abril, 1998	-0,590583560	Próximo ao Normal	-1,020882700	Moderadamente Seco
maio, 1998	-1,269168700	Moderadamente Seco	-2,247810600	Extremamente Seco
junho, 1998	-1,848635900	Severamente Seco	-2,312053700	Extremamente Seco
julho, 1998	-0,160005930	Próximo ao Normal	-2,176396000	Extremamente Seco
agosto, 1998	-0,537992900	Próximo ao Normal	-2,049287800	Extremamente Seco
setembro, 1998	-0,465481100	Próximo ao Normal	-2,006158600	Extremamente Seco
outubro, 1998	-0,311923920	Próximo ao Normal	-2,041546300	Extremamente Seco
novembro, 1998	-0,776931600	Próximo ao Normal	-1,972671900	Severamente Seco
dezembro, 1998	-0,984103260	Próximo ao Normal	-2,200900600	Extremamente Seco
janeiro, 1999	-0,548387200	Próximo ao Normal	-2,072075100	Extremamente Seco
fevereiro, 1999	0,056058350	Próximo ao Normal	-1,845470800	Severamente Seco
março, 1999	-0,667326100	Próximo ao Normal	-1,806069900	Severamente Seco
abril, 1999	-2,476882000	Extremamente Seco	-2,265482700	Extremamente Seco
maio, 1999	0,074428970	Próximo ao Normal	-1,772957900	Severamente Seco
junho, 1999	-1,643308300	Severamente Seco	-1,732533200	Severamente Seco
julho, 1999	-0,253198980	Próximo ao Normal	-1,693834500	Severamente Seco
agosto, 1999	-1,006601900	Moderadamente Seco	-1,737061900	Severamente Seco
setembro, 1999	-0,034696580	Próximo ao Normal	-1,701072100	Severamente Seco
outubro, 1999	2,513247700	Extremamente Úmido	-1,555805400	Severamente Seco
novembro, 1999	-0,912333550	Próximo ao Normal	-1,506899700	Severamente Seco
dezembro, 1999	1,204038600	Moderadamente Úmido	-1,240858200	Moderadamente Seco
janeiro, 2000	0,983579340	Próximo ao Normal	-0,859880800	Próximo ao Normal
fevereiro, 2000	0,433570800	Próximo ao Normal	-0,832565370	Próximo ao Normal
março, 2000	-0,968179460	Próximo ao Normal	-0,880033250	Próximo ao Normal
abril, 2000	1,074582800	Moderadamente Úmido	-0,227658140	Próximo ao Normal
maio, 2000	0,261269570	Próximo ao Normal	-0,166417240	Próximo ao Normal
junho, 2000	0,739503900	Próximo ao Normal	0,509707800	Próximo ao Normal
julho, 2000	1,546842800	Severamente Úmido	0,755572560	Próximo ao Normal
agosto, 2000	1,114852400	Moderadamente Úmido	1,175182200	Moderadamente Úmido
setembro, 2000	2,540631500	Extremamente Úmido	1,315437300	Moderadamente Úmido
outubro, 2000	-0,226624130	Próximo ao Normal	1,229212500	Moderadamente Úmido
novembro, 2000	0,157557860	Próximo ao Normal	1,239934700	Moderadamente Úmido
dezembro, 2000	1,451182700	Moderadamente Úmido	1,249567200	Moderadamente Úmido
janeiro, 2001	-0,371627900	Próximo ao Normal	1,157105900	Moderadamente Úmido
fevereiro, 2001	-2,079823300	Extremamente Seco	0,945675300	Próximo ao Normal
março, 2001	1,390618700	Moderadamente Úmido	1,278536000	Moderadamente Úmido
abril, 2001	-1,071557400	Moderadamente Seco	0,897924200	Próximo ao Normal
maio, 2001	-2,076137300	Extremamente Seco	0,333563030	Próximo ao Normal
junho, 2001	-0,066246870	Próximo ao Normal	0,022714610	Próximo ao Normal
julho, 2001	-0,638970300	Próximo ao Normal	-0,316126000	Próximo ao Normal
agosto, 2001	-0,564507300	Próximo ao Normal	-0,821231960	Próximo ao Normal
setembro, 2001	0,003664954	Próximo ao Normal	-1,025126700	Moderadamente Seco
outubro, 2001	2,900372300	Extremamente Úmido	-0,853754200	Próximo ao Normal
novembro, 2001	-0,294592500	Próximo ao Normal	-0,849294000	Próximo ao Normal
dezembro, 2001	0,506178000	Próximo ao Normal	-0,986948600	Próximo ao Normal

janeiro, 2002	1,997099300	Severamente Úmido	-0,324084760	Próximo ao Normal
fevereiro, 2002	0,616515460	Próximo ao Normal	-0,037302725	Próximo ao Normal
março, 2002	-0,240258100	Próximo ao Normal	-0,383657800	Próximo ao Normal
abril, 2002	-1,076815600	Moderadamente Seco	-0,427370220	Próximo ao Normal
maio, 2002	0,675842700	Próximo ao Normal	0,375075550	Próximo ao Normal
junho, 2002	1,144114600	Moderadamente Úmido	0,785881160	Próximo ao Normal
julho, 2002	-0,860082570	Próximo ao Normal	0,739972830	Próximo ao Normal
agosto, 2002	-0,843443930	Próximo ao Normal	0,645886660	Próximo ao Normal
setembro, 2002	-0,488598880	Próximo ao Normal	0,618043960	Próximo ao Normal
outubro, 2002	-0,124073250	Próximo ao Normal	0,478512500	Próximo ao Normal
novembro, 2002	0,306568950	Próximo ao Normal	0,502288200	Próximo ao Normal
dezembro, 2002	-1,037981600	Moderadamente Seco	0,380245570	Próximo ao Normal
janeiro, 2003	0,109238480	Próximo ao Normal	0,032924872	Próximo ao Normal
fevereiro, 2003	0,260185870	Próximo ao Normal	-0,041151340	Próximo ao Normal
março, 2003	-0,122134930	Próximo ao Normal	-0,035729020	Próximo ao Normal
abril, 2003	-1,516025700	Severamente Seco	-0,120678730	Próximo ao Normal
maio, 2003	-0,896492400	Próximo ao Normal	-0,775148700	Próximo ao Normal
junho, 2003	-0,505827200	Próximo ao Normal	-1,512038500	Severamente Seco
julho, 2003	-1,231924200	Moderadamente Seco	-1,520607500	Severamente Seco
agosto, 2003	-1,251386600	Moderadamente Seco	-1,542847800	Severamente Seco
setembro, 2003	1,430942300	Moderadamente Úmido	-1,392666300	Moderadamente Seco
outubro, 2003	0,217353080	Próximo ao Normal	-1,412200900	Moderadamente Seco
novembro, 2003	-0,476142230	Próximo ao Normal	-1,416125800	Moderadamente Seco
dezembro, 2003	-0,698772700	Próximo ao Normal	-1,382094400	Moderadamente Seco
janeiro, 2004	2,987015500	Extremamente Úmido	-0,328991030	Próximo ao Normal
fevereiro, 2004	1,883179400	Severamente Úmido	-0,012898861	Próximo ao Normal
março, 2004	-0,483585450	Próximo ao Normal	-0,081052970	Próximo ao Normal
abril, 2004	0,188249350	Próximo ao Normal	0,204446810	Próximo ao Normal
maio, 2004	0,080127604	Próximo ao Normal	0,505894240	Próximo ao Normal
junho, 2004	1,304177000	Moderadamente Úmido	1,091123300	Moderadamente Úmido
julho, 2004	0,278861580	Próximo ao Normal	1,232957700	Moderadamente Úmido
agosto, 2004	-0,990857060	Próximo ao Normal	1,193346400	Moderadamente Úmido
setembro, 2004	0,578202700	Próximo ao Normal	1,136666500	Moderadamente Úmido
outubro, 2004	-1,029039000	Moderadamente Seco	1,131947600	Moderadamente Úmido
novembro, 2004	-0,476194920	Próximo ao Normal	1,103136000	Moderadamente Úmido
dezembro, 2004	-1,146900200	Moderadamente Seco	1,064526400	Moderadamente Úmido
janeiro, 2005	-0,920383500	Próximo ao Normal	0,300326900	Próximo ao Normal
fevereiro, 2005	-0,026614117	Próximo ao Normal	-0,074117190	Próximo ao Normal
março, 2005	0,260569780	Próximo ao Normal	0,032606766	Próximo ao Normal
abril, 2005	0,122213280	Próximo ao Normal	-0,002785467	Próximo ao Normal
maio, 2005	0,644216900	Próximo ao Normal	0,235423150	Próximo ao Normal
junho, 2005	0,914362670	Próximo ao Normal	0,044974767	Próximo ao Normal
julho, 2005	-1,043263200	Moderadamente Seco	-0,133240910	Próximo ao Normal
agosto, 2005	-0,407978100	Próximo ao Normal	-0,033528810	Próximo ao Normal
setembro, 2005	-0,893295600	Próximo ao Normal	-0,109627165	Próximo ao Normal
outubro, 2005	-0,757795700	Próximo ao Normal	-0,107313480	Próximo ao Normal
novembro, 2005	-0,751222700	Próximo ao Normal	-0,109004470	Próximo ao Normal
dezembro, 2005	1,538064500	Severamente Úmido	0,144125040	Próximo ao Normal
janeiro, 2006	-1,156215800	Moderadamente Seco	0,220295320	Próximo ao Normal

fevereiro, 2006	-0,563317200	Próximo ao Normal	0,143888340	Próximo ao Normal
março, 2006	-0,589652200	Próximo ao Normal	-0,003741302	Próximo ao Normal
abril, 2006	0,423765660	Próximo ao Normal	0,051996780	Próximo ao Normal
maio, 2006	0,042710274	Próximo ao Normal	-0,234657180	Próximo ao Normal
junho, 2006	1,063416700	Moderadamente Úmido	-0,187369510	Próximo ao Normal
julho, 2006	-1,127000500	Moderadamente Seco	-0,188884240	Próximo ao Normal
agosto, 2006	-1,226606100	Moderadamente Seco	-0,340192300	Próximo ao Normal
setembro, 2006	0,090034590	Próximo ao Normal	-0,292384500	Próximo ao Normal
outubro, 2006	-0,866521400	Próximo ao Normal	-0,303382070	Próximo ao Normal
novembro, 2006	0,182321900	Próximo ao Normal	-0,238615260	Próximo ao Normal
dezembro, 2006	-0,809967340	Próximo ao Normal	-0,497645470	Próximo ao Normal
janeiro, 2007	-0,080720720	Próximo ao Normal	-0,298287500	Próximo ao Normal
fevereiro, 2007	0,890783700	Próximo ao Normal	-0,090816860	Próximo ao Normal
março, 2007	1,503406800	Severamente Úmido	0,291094330	Próximo ao Normal
abril, 2007	-0,056565642	Próximo ao Normal	0,171245220	Próximo ao Normal
maio, 2007	-0,840534500	Próximo ao Normal	-0,131660210	Próximo ao Normal
junho, 2007	0,224993240	Próximo ao Normal	-0,500081800	Próximo ao Normal
julho, 2007	-0,833848830	Próximo ao Normal	-0,442908100	Próximo ao Normal
agosto, 2007	-0,267602680	Próximo ao Normal	-0,255808380	Próximo ao Normal
setembro, 2007	1,168819000	Moderadamente Úmido	-0,189027060	Próximo ao Normal
outubro, 2007	-0,254941640	Próximo ao Normal	-0,178064570	Próximo ao Normal
novembro, 2007	-0,033320792	Próximo ao Normal	-0,179090870	Próximo ao Normal
dezembro, 2007	-0,155829650	Próximo ao Normal	-0,137229100	Próximo ao Normal
janeiro, 2008	-0,081130840	Próximo ao Normal	-0,047324073	Próximo ao Normal
fevereiro, 2008	-0,274586400	Próximo ao Normal	-0,256879500	Próximo ao Normal
março, 2008	1,975932100	Severamente Úmido	-0,138137400	Próximo ao Normal
abril, 2008	0,753730300	Próximo ao Normal	0,047417033	Próximo ao Normal
maio, 2008	0,320014900	Próximo ao Normal	0,434035700	Próximo ao Normal
junho, 2008	-0,637284400	Próximo ao Normal	0,148372140	Próximo ao Normal
julho, 2008	0,668315500	Próximo ao Normal	0,352072330	Próximo ao Normal
agosto, 2008	-0,474411880	Próximo ao Normal	0,280233900	Próximo ao Normal
setembro, 2008	-0,786929000	Próximo ao Normal	0,173358490	Próximo ao Normal
outubro, 2008	-0,496124570	Próximo ao Normal	0,169304430	Próximo ao Normal
novembro, 2008	-0,961368860	Próximo ao Normal	0,130131890	Próximo ao Normal
dezembro, 2008	-0,583787140	Próximo ao Normal	0,092600720	Próximo ao Normal
janeiro, 2009	0,243469300	Próximo ao Normal	0,232008030	Próximo ao Normal
fevereiro, 2009	1,311140900	Moderadamente Úmido	0,484381300	Próximo ao Normal
março, 2009	-0,680236900	Próximo ao Normal	-0,055724650	Próximo ao Normal
abril, 2009	0,679065940	Próximo ao Normal	-0,102134130	Próximo ao Normal
maio, 2009	1,378539800	Moderadamente Úmido	0,437860940	Próximo ao Normal
junho, 2009	-0,631860700	Próximo ao Normal	0,417225240	Próximo ao Normal
julho, 2009	0,358904900	Próximo ao Normal	0,362840180	Próximo ao Normal
agosto, 2009	0,002508989	Próximo ao Normal	0,432557370	Próximo ao Normal
setembro, 2009	-0,924607800	Próximo ao Normal	0,422436120	Próximo ao Normal
outubro, 2009	-0,832187900	Próximo ao Normal	0,423087480	Próximo ao Normal
novembro, 2009	0,143298550	Próximo ao Normal	0,464870540	Próximo ao Normal
dezembro, 2009	0,589766700	Próximo ao Normal	0,547853950	Próximo ao Normal
janeiro, 2010	1,318106700	Moderadamente Úmido	0,849839870	Próximo ao Normal
fevereiro, 2010	-0,482687230	Próximo ao Normal	0,590655500	Próximo ao Normal

março, 2010	-0,823598400	Próximo ao Normal	0,553510370	Próximo ao Normal
abril, 2010	1,154999900	Moderadamente Úmido	0,699381200	Próximo ao Normal
maio, 2010	-1,457327600	Moderadamente Seco	-0,393327180	Próximo ao Normal
junho, 2010	2,443884800	Extremamente Úmido	0,855227600	Próximo ao Normal
julho, 2010	-1,564519800	Severamente Seco	0,605314500	Próximo ao Normal
agosto, 2010	-0,662134770	Próximo ao Normal	0,430842430	Próximo ao Normal
setembro, 2010	1,119493700	Moderadamente Úmido	0,527170240	Próximo ao Normal
outubro, 2010	1,614411700	Severamente Úmido	0,627593760	Próximo ao Normal
novembro, 2010	-0,872674700	Próximo ao Normal	0,570021500	Próximo ao Normal
dezembro, 2010	0,305698570	Próximo ao Normal	0,530307650	Próximo ao Normal
janeiro, 2011	0,858220340	Próximo ao Normal	0,522410500	Próximo ao Normal
fevereiro, 2011	-0,345213600	Próximo ao Normal	0,539130570	Próximo ao Normal
março, 2011	-0,345350920	Próximo ao Normal	0,579292240	Próximo ao Normal
abril, 2011	0,426156580	Próximo ao Normal	0,387248930	Próximo ao Normal
maio, 2011	1,879419600	Severamente Úmido	1,657380200	Severamente Úmido
junho, 2011	-0,553257200	Próximo ao Normal	0,520429500	Próximo ao Normal
julho, 2011	1,157048100	Moderadamente Úmido	0,851684630	Próximo ao Normal
agosto, 2011	-0,765043100	Próximo ao Normal	0,781491500	Próximo ao Normal
setembro, 2011	-0,168494370	Próximo ao Normal	0,707396200	Próximo ao Normal
outubro, 2011	-0,019145470	Próximo ao Normal	0,655774900	Próximo ao Normal
novembro, 2011	0,669889600	Próximo ao Normal	0,718576970	Próximo ao Normal
dezembro, 2011	-0,948760800	Próximo ao Normal	0,620461200	Próximo ao Normal
janeiro, 2012	0,193539440	Próximo ao Normal	0,601597550	Próximo ao Normal
fevereiro, 2012	-0,746106800	Próximo ao Normal	0,561477300	Próximo ao Normal
março, 2012	-1,850342200	Severamente Seco	0,383184100	Próximo ao Normal
abril, 2012	-2,317068800	Extremamente Seco	-0,062363233	Próximo ao Normal
maio, 2012	-0,912218030	Próximo ao Normal	-1,594931800	Severamente Seco
junho, 2012	-0,626915930	Próximo ao Normal	-1,634602900	Severamente Seco
julho, 2012	-1,676474900	Severamente Seco	-2,109744300	Extremamente Seco
agosto, 2012	-1,209056500	Moderadamente Seco	-2,124297600	Extremamente Seco
setembro, 2012	-1,499946000	Moderadamente Seco	-2,193675500	Extremamente Seco
outubro, 2012	-0,674975500	Próximo ao Normal	-2,275445700	Extremamente Seco
novembro, 2012	-0,389261700	Próximo ao Normal	-2,294717300	Extremamente Seco
dezembro, 2012	-1,234197600	Moderadamente Seco	-2,294444000	Extremamente Seco
janeiro, 2013	-0,811473550	Próximo ao Normal	-2,404889000	Extremamente Seco
fevereiro, 2013	-1,867112500	Severamente Seco	-2,643694200	Extremamente Seco
março, 2013	-1,426044200	Moderadamente Seco	-2,567374200	Extremamente Seco
abril, 2013	0,967102800	Próximo ao Normal	-1,839027500	Severamente Seco
maio, 2013	-0,477407200	Próximo ao Normal	-1,736034300	Severamente Seco
junho, 2013	0,985887940	Próximo ao Normal	-1,041724600	Moderadamente Seco
julho, 2013	2,078934200	Extremamente Úmido	-0,388737800	Próximo ao Normal
agosto, 2013	1,518238000	Severamente Úmido	0,343300880	Próximo ao Normal
setembro, 2013	0,565965200	Próximo ao Normal	0,428272500	Próximo ao Normal
outubro, 2013	1,967977800	Severamente Úmido	0,543995800	Próximo ao Normal
novembro, 2013	1,277534700	Moderadamente Úmido	0,641109050	Próximo ao Normal
dezembro, 2013	1,667823700	Severamente Úmido	0,879670700	Próximo ao Normal
janeiro, 2014	-1,559480400	Severamente Seco	0,937286440	Próximo ao Normal
fevereiro, 2014	-0,746002260	Próximo ao Normal	1,033496900	Moderadamente Úmido
março, 2014	-0,307346080	Próximo ao Normal	1,125681200	Moderadamente Úmido

abril, 2014	0,733257400	Próximo ao Normal	1,107799000	Moderadamente Úmido
maio, 2014	-0,464315600	Próximo ao Normal	1,128869300	Moderadamente Úmido
junho, 2014	0,098713060	Próximo ao Normal	0,802344000	Próximo ao Normal
julho, 2014	0,258457600	Próximo ao Normal	0,502144000	Próximo ao Normal
agosto, 2014	1,820986700	Severamente Úmido	0,584646170	Próximo ao Normal
setembro, 2014	1,163101000	Moderadamente Úmido	0,613654730	Próximo ao Normal
outubro, 2014	-0,010429224	Próximo ao Normal	0,539310400	Próximo ao Normal
novembro, 2014	1,250870500	Moderadamente Úmido	0,526679300	Próximo ao Normal
dezembro, 2014	-0,044947546	Próximo ao Normal	0,319851370	Próximo ao Normal
janeiro, 2015	-0,583565530	Próximo ao Normal	0,476627140	Próximo ao Normal
fevereiro, 2015	0,778587800	Próximo ao Normal	0,681101260	Próximo ao Normal
março, 2015	0,141250180	Próximo ao Normal	0,724958900	Próximo ao Normal
abril, 2015	-1,561599400	Severamente Seco	0,312347140	Próximo ao Normal
maio, 2015	-0,831538260	Próximo ao Normal	0,202345560	Próximo ao Normal
junho, 2015	0,189769580	Próximo ao Normal	0,212315810	Próximo ao Normal
julho, 2015	0,258457600	Próximo ao Normal	0,209151210	Próximo ao Normal
agosto, 2015	0,480807420	Próximo ao Normal	-0,314087600	Próximo ao Normal
setembro, 2015	0,478646700	Próximo ao Normal	-0,360099200	Próximo ao Normal
outubro, 2015	-0,010429224	Próximo ao Normal	-0,370006530	Próximo ao Normal
novembro, 2015	0,020273337	Próximo ao Normal	-0,451731800	Próximo ao Normal
dezembro, 2015	0,757399440	Próximo ao Normal	-0,365626840	Próximo ao Normal
janeiro, 2016	0,621043600	Próximo ao Normal	-0,094391250	Próximo ao Normal
fevereiro, 2016	0,723593800	Próximo ao Normal	-0,122669320	Próximo ao Normal
março, 2016	-0,604130270	Próximo ao Normal	-0,253068400	Próximo ao Normal
abril, 2016	0,760383400	Próximo ao Normal	0,190062120	Próximo ao Normal
maio, 2016	-0,340309830	Próximo ao Normal	0,326938600	Próximo ao Normal
junho, 2016	-0,382860930	Próximo ao Normal	0,123345470	Próximo ao Normal
julho, 2016	0,258457600	Próximo ao Normal	0,122872610	Próximo ao Normal
agosto, 2016	0,806162600	Próximo ao Normal	0,202664600	Próximo ao Normal
setembro, 2016	0,478646700	Próximo ao Normal	0,199171140	Próximo ao Normal
outubro, 2016	0,141232670	Próximo ao Normal	0,207652900	Próximo ao Normal
novembro, 2016	-0,856567100	Próximo ao Normal	0,168081130	Próximo ao Normal
dezembro, 2016	-0,927410000	Próximo ao Normal	0,021418190	Próximo ao Normal
janeiro, 2017	-1,988333200	Severamente Seco	-0,148406280	Próximo ao Normal
fevereiro, 2017	-0,486240000	Próximo ao Normal	-0,359175000	Próximo ao Normal
março, 2017	0,167674740	Próximo ao Normal	-0,243622660	Próximo ao Normal
abril, 2017	-0,488819500	Próximo ao Normal	-0,605646400	Próximo ao Normal
maio, 2017	0,684241650	Próximo ao Normal	-0,176506550	Próximo ao Normal
junho, 2017	-0,083414170	Próximo ao Normal	-0,099232250	Próximo ao Normal
julho, 2017	0,258457600	Próximo ao Normal	-0,092971645	Próximo ao Normal
agosto, 2017	0,480807420	Próximo ao Normal	-0,206445860	Próximo ao Normal
setembro, 2017	0,478646700	Próximo ao Normal	-0,207499920	Próximo ao Normal
outubro, 2017	-1,035507600	Moderadamente Seco	-0,248186780	Próximo ao Normal
novembro, 2017	-0,479417260	Próximo ao Normal	-0,218065630	Próximo ao Normal
dezembro, 2017	0,542491700	Próximo ao Normal	-0,101688760	Próximo ao Normal
janeiro, 2018	-0,119042896	Próximo ao Normal	0,124304210	Próximo ao Normal
fevereiro, 2018	-0,219639990	Próximo ao Normal	0,146407590	Próximo ao Normal
março, 2018	-0,021739488	Próximo ao Normal	0,099609270	Próximo ao Normal
abril, 2018	0,589898770	Próximo ao Normal	0,333208600	Próximo ao Normal

maio, 2018	-0,410696180	Próximo ao Normal	-0,120984930	Próximo ao Normal
junho, 2018	-0,382860930	Próximo ao Normal	-0,237554950	Próximo ao Normal
julho, 2018	1,350899800	Moderadamente Úmido	-0,048474032	Próximo ao Normal
agosto, 2018	0,480807420	Próximo ao Normal	-0,059905834	Próximo ao Normal
setembro, 2018	-1,580421000	Severamente Seco	-0,155639780	Próximo ao Normal
outubro, 2018	-0,814100700	Próximo ao Normal	-0,155614750	Próximo ao Normal
novembro, 2018	0,184240270	Próximo ao Normal	-0,107935090	Próximo ao Normal
dezembro, 2018	0,439257260	Próximo ao Normal	-0,123673150	Próximo ao Normal
janeiro, 2019	-0,886262400	Próximo ao Normal	-0,116012240	Próximo ao Normal
fevereiro, 2019	1,197052400	Moderadamente Úmido	0,108876120	Próximo ao Normal
março, 2019	1,058968900	Moderadamente Úmido	0,297348230	Próximo ao Normal
abril, 2019	0,039787784	Próximo ao Normal	0,155177580	Próximo ao Normal
maio, 2019	1,099826200	Moderadamente Úmido	0,785815060	Próximo ao Normal
junho, 2019	-0,382860930	Próximo ao Normal	0,762123940	Próximo ao Normal
julho, 2019	0,258457600	Próximo ao Normal	0,583236500	Próximo ao Normal
agosto, 2019	0,480807420	Próximo ao Normal	0,542114730	Próximo ao Normal
setembro, 2019	-1,580420600	Severamente Seco	0,536596060	Próximo ao Normal
outubro, 2019	-0,814096150	Próximo ao Normal	0,547974600	Próximo ao Normal
novembro, 2019	-0,713078600	Próximo ao Normal	0,495556900	Próximo ao Normal
dezembro, 2019	-1,277333600	Moderadamente Seco	0,369909900	Próximo ao Normal
janeiro, 2020	0,313675850	Próximo ao Normal	0,599846300	Próximo ao Normal
fevereiro, 2020	0,901547100	Próximo ao Normal	0,548257400	Próximo ao Normal
março, 2020	1,741744200	Severamente Úmido	0,680942650	Próximo ao Normal
abril, 2020	1,041874500	Moderadamente Úmido	0,947204950	Próximo ao Normal
maio, 2020	-0,944110300	Próximo ao Normal	0,185362180	Próximo ao Normal
junho, 2020	-0,382860930	Próximo ao Normal	0,164462580	Próximo ao Normal
julho, 2020	0,258457600	Próximo ao Normal	0,162745790	Próximo ao Normal
agosto, 2020	0,480807420	Próximo ao Normal	0,141389310	Próximo ao Normal
setembro, 2020	-0,351922930	Próximo ao Normal	0,185595800	Próximo ao Normal
outubro, 2020	0,265606400	Próximo ao Normal	0,220444280	Próximo ao Normal
novembro, 2020	-0,483761600	Próximo ao Normal	0,229430290	Próximo ao Normal
dezembro, 2020	-0,992713100	Próximo ao Normal	0,233671950	Próximo ao Normal
janeiro, 2021	-0,259320860	Próximo ao Normal	0,245868400	Próximo ao Normal
fevereiro, 2021	-1,664974700	Severamente Seco	-0,086886320	Próximo ao Normal
março, 2021	0,172771410	Próximo ao Normal	-0,458753020	Próximo ao Normal
abril, 2021	0,433396520	Próximo ao Normal	-0,703014600	Próximo ao Normal
maio, 2021	0,533676700	Próximo ao Normal	-0,160994720	Próximo ao Normal
junho, 2021	-1,198896200	Moderadamente Seco	-0,408474830	Próximo ao Normal
julho, 2021	-0,798134450	Próximo ao Normal	-0,549017500	Próximo ao Normal
agosto, 2021	1,126436800	Moderadamente Úmido	-0,309146050	Próximo ao Normal
setembro, 2021	-0,041515082	Próximo ao Normal	-0,293601540	Próximo ao Normal
outubro, 2021	-0,280194640	Próximo ao Normal	-0,321302240	Próximo ao Normal
novembro, 2021	-0,370588960	Próximo ao Normal	-0,299183760	Próximo ao Normal
dezembro, 2021	1,186716300	Moderadamente Úmido	-0,095635430	Próximo ao Normal
janeiro, 2022	0,774460200	Próximo ao Normal	0,165697100	Próximo ao Normal
fevereiro, 2022	0,117060400	Próximo ao Normal	0,342426540	Próximo ao Normal
março, 2022	0,569015740	Próximo ao Normal	0,394506800	Próximo ao Normal
abril, 2022	-0,364536640	Próximo ao Normal	0,215510220	Próximo ao Normal
maio, 2022	2,324077600	Extremamente Úmido	1,250299700	Moderadamente Úmido

junho, 2022	1,678598900	Severamente Úmido	2,059224800	Extremamente Úmido
julho, 2022	2,307808200	Extremamente Úmido	2,369285000	Extremamente Úmido
agosto, 2022	2,673412000	Extremamente Úmido	2,744078200	Extremamente Úmido
setembro, 2022	-1,428369500	Moderadamente Seco	2,684975000	Extremamente Úmido
outubro, 2022	-0,652515900	Próximo ao Normal	2,740216500	Extremamente Úmido
novembro, 2022	4,037078400	Extremamente Úmido	3,008907600	Extremamente Úmido
dezembro, 2022	1,016794600	Moderadamente Úmido	2,953188400	Extremamente Úmido
janeiro, 2023	0,258201180	Próximo ao Normal	3,004094000	Extremamente Úmido
fevereiro, 2023	0,608852700	Próximo ao Normal	3,133764500	Extremamente Úmido
março, 2023	1,035704700	Moderadamente Úmido	3,148725300	Extremamente Úmido
abril, 2023	0,538918900	Próximo ao Normal	3,448085500	Extremamente Úmido
maio, 2023	-0,091398366	Próximo ao Normal	2,562192400	Extremamente Úmido
junho, 2023	0,957861240	Próximo ao Normal	2,285621600	Extremamente Úmido
julho, 2023	-0,745229360	Próximo ao Normal	1,848845100	Severamente Úmido
agosto, 2023	1,171537600	Moderadamente Úmido	1,190728400	Moderadamente Úmido
setembro, 2023	0,809295060	Próximo ao Normal	1,270807600	Moderadamente Úmido
outubro, 2023	-0,284005820	Próximo ao Normal	1,308120400	Moderadamente Úmido
novembro, 2023	-0,428993970	Próximo ao Normal	0,831760900	Próximo ao Normal
dezembro, 2023	1,439181700	Moderadamente Úmido	0,868414200	Próximo ao Normal

MARIANA SILVA PINHEIRO

Avaliação de eventos climáticos extremos por meio da análise multiescalar do índice SPI de 1994 a 2023 para o Parque Natural Municipal Professor João Vasconcelos Sobrinho

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, com defesa realizada por videoconferência.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Aprovado em 15 de abril de 2025.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

_____

Prof. Dr. Gilson Lima da Silva (Avaliador)
Universidade Federal de Pernambuco

_____

Me. Fábio Vinícius Marley Santos Lima (Avaliador)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte