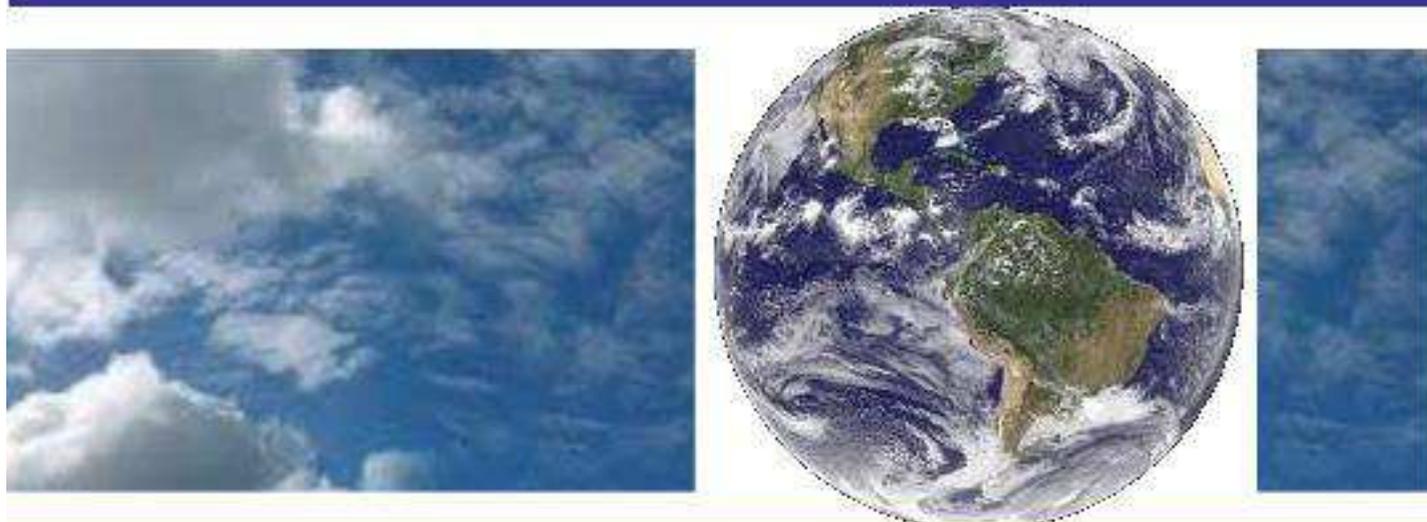


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Francisco Fabrício Damião de Oliveira

**Análise das Secas Meteorológicas Recentes no Estado da Paraíba utilizando o
Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (Spei)**

Campina Grande (PB), Dezembro de 2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA**

**ANÁLISE DAS SECAS METEOROLÓGICAS RECENTES NO ESTADO
DA PARAIBA UTILIZANDO O ÍNDICE PADRONIZADO DE
PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO (SPEI)**

FRANCISCO FABRÍCIO DAMIÃO DE OLIVEIRA

Campina Grande – PB

Maio/2023

FRANCISCO FABRICIO DAMIAO DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DAS SECAS METEOROLÓGICAS RECENTES NO ESTADO
DA PARAIBA UTILIZANDO O ÍNDICE PADRONIZADO DE
PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO (SPEI)**

Trabalho de Dissertação de Curso de Mestrado apresentado à Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala

Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos

Campina Grande – PB

Maio/2023

O148a Oliveira, Francisco Fabrício Damiano de.
Análise das secas meteorológicas recentes do Estado da Paraíba utilizando o índice padronizado de precipitação e evapotranspiração (SPEI) / Francisco Fabrício Damiano de Oliveira. - Campina Grande, 2023.
80 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2023.
"Orientação: Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos."
Referências.

1. Secas. 2. Gestão de Recursos Hídricos. 3. Paraíba. 4. Semiárido. 5. SPEI. 6. Tendência. 7. Eventos Climáticos. I. Santos, Carlos Antônio Costa dos de. II. Título.

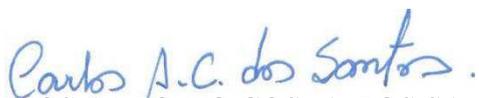
CDU 551.577.38(043)

FRANCISCO FABRÍCIO DAMIÃO DE OLIVEIRA

ANÁLISE DAS SECAS METEOROLÓGICAS RECENTES NO ESTADO DA
PARAIBA UTILIZANDO O ÍNDICE PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO E
EVAPOTRANSPIRAÇÃO (SPEI)

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 14/12/2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. HELBER BARROS GOMES
Instituto de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Alagoas



Prof. Dr. CELSO AUGUSTO GUIMARÃES SANTOS
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Universidade Federal da Paraíba

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por estar sempre comigo, iluminando-me, guiando-me e dando graça, força e sabedoria para que possa fazer sempre as escolhas certas em toda a minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos por não ter medido esforços para auxiliar-me neste trabalho, aconselhando-me para que pudesse fazer o melhor possível sempre.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) com o apoio de bolsa estudantil para realização da pesquisa.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia pelo conhecimento transmitido ao longo do curso.

A todos os meus amigos que tiveram comigo ao longo desta jornada em especial ao amigo Rodolpho Luiz (in memória) que sempre esteve presente, dando suporte no auxílio dos programas utilizados.

Aos familiares Luzinete de Oliveira, Alfredo de Oliveira Neto, Francisco Fábio, Francisco Geniberg, Maria Raphaela, minha esposa Aurélia pela paciência e companheirismo e a todos que colaboraram direta ou indiretamente na execução do trabalho.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de R^2 Satisfatórios	27
Tabela 2 – Classificação dos eventos de seca	29
Tabela 3 - Valores de R^2 calculado nas Estações e SPEIbase	33
Tabela 4 - Quantidade média de eventos, duração, severidade, intensidade e frequência dos eventos secos na Mata Paraibana	35
Tabela 5 - Quantidade de eventos, duração, severidade, intensidade e frequência dos eventos secos na mesorregião do Agreste Paraibano	35
Tabela 6 - Quantidade de eventos, duração, severidade, intensidade e frequência dos eventos secos na mesorregião da Borborema	36
Tabela 7 - Quantidade de eventos, duração, severidade, intensidade e frequência dos eventos secos na Mesorregião do Sertão Paraibano	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da Área de estudo	21
Figura 2 - Distribuição Espacial das localizações dos pontos da Área em estudo por Mesorregião	23
Figura 3 - Distribuição Temporal do SPEI para Campina Grande	31
Figura 4 - Distribuição Temporal do SPEI para Patos	31
Figura 5 - Distribuição Temporal do SPEI para São Gonçalo . Error! Bookmark not defined.	
Figura 6 - Distribuição Temporal do SPEI da Mesorregião da Mata Paraibana Error! Bookmark not defined.	
Figura 7 - Espacialização dos Resultados de Duração, Severidade e Intensidade média dos eventos.....	39
Figura 8 - Analise das tendências SPEI_3 Mann-kendall (A), Sen (B) e Sen 95% (C)	47
Figura 9 - Analise das tendências SPEI_6 Mann-kendall (A), Sen (B) e Sen 95% (C)	49
Figura 10 - Analise das tendências SPEI_9 Mann-kendall (A), Sen (B) e Sen 95% (C)	51
Figura 11 - Analise das tendências SPEI_12 Mann-kendall (A), Sen (B) e Sen 95% (C).....	53
Figura 12 - Analise das tendências SPEI_24 Mann-kendall (A), Sen (B) e Sen 95% (C).....	55

LISTA DE ABREVIATURAS

ETP	Evapotranspiração Potencial
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NEB	Nordeste do Brasil
PDSI	Palmer Drought Severity Index
SPEI	Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
SPI	Standardized Precipitation Index
WMO	Organização Meteorológica Mundial

ANÁLISE DAS SECAS METEOROLÓGICAS RECENTES NO ESTADO DA PARAÍBA UTILIZANDO O ÍNDICE PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO (SPEI)

RESUMO

O estado da Paraíba está inserido na região Semiárida do Nordeste do Brasil e é muito propenso a secas. Esses eventos climáticos geralmente desenvolvem tremendos efeitos negativos na agricultura, meio ambiente, setor industrial, meio social entre outros. Este trabalho avaliou as variações espaço – temporais de ocorrências de secas no Estado da Paraíba entre 1961 – 2019, conforme quantificado pelo Índice Padronizado de Precipitação e Evapotranspiração (SPEI). Esse índice é uma ferramenta desenvolvida para caracterizar as secas, por meio da definição da sua duração, severidade, intensidade e frequência. Estas foram analisadas usando o SPEI para escalas de tempo múltiplas como: 3, 6, 9, 12 e 24 meses. Foram realizadas análises de tendências com base nos testes não paramétricos de Mann-Kendall e Sen. Os resultados indicam que as secas de curto prazo ocorrem em maior quantidade, duram menos tempo, são mais intensas e estão se tornando mais frequentes. As secas de longo prazo ocorrem em menor quantidade, duram mais tempo, são mais severas, são menos intensas e estão se tornando menos frequentes. A análise de tendência observou que quanto maior é a escala temporal, maiores foram as declividades de tendência indicando aumento de tendências no índice. Por fim, concluiu-se que o SPEI é uma ferramenta importante para caracterização de eventos de seca, pois o mesmo identificou o comportamento dos episódios de secas em diferentes escalas de tempo de forma satisfatória servindo desta forma no auxílio e na gestão dos recursos hídricos assim como, na realização da proteção ambiental, na produção de alimentos e também no auxílio dos tomadores de decisão na adoção de estratégias de convivência com as secas.

PALAVRAS-CHAVE: Secas, Paraíba, semiárido, tendência, SPEI.

**RECENT METEOROLOGICAL DRY ANALYSIS IN THE STATE OF PARAIBA
USING THE STANDARDIZED INDEX OF PRECIPITATION AND
EVAPOTRANSPIRATION (SPEI)**

ABSTRACT

The state of Paraíba is located in the semiarid region of northeastern Brazil and is very prone to drought. These climatic events usually have tremendous negative effects on agriculture, the environment, the industrial sector, and the social environment, among others. This work evaluated the spatio-temporal variations of drought occurrences in the State of Paraíba between 1961 and 2019, as quantified by the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI). This index is a tool developed to characterize droughts by defining their duration, severity, intensity, and frequency. These were analyzed using the SPEI for multiple time scales, such as 3, 6, 9, 12, and 24 months. Trend analyses were performed based on the Mann-Kendall and Sen non-parametric tests. The results indicate that short-term droughts occur in greater quantity, last less time, are more intense, and are becoming more frequent. Long-term droughts occur in fewer amounts, last longer, are more severe, are less intense, and are becoming less frequent. The trend analysis observed that the greater the time scale, the greater the trend declivity, indicating an increase in trends in the index. Finally, it is concluded that the SPEI is an important tool for the characterization of drought events as it has satisfactorily identified the behavior of drought episodes at different time scales. In the assistance and management of water resources, in carrying out environmental protection, in the production of food, and also in helping decision-makers adopt strategies to cope with droughts.

KEYWORDS: Drought, Paraíba, semiarid, trends, SPEI.

Sumário

1.INTRODUÇÃO	10
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo Geral.....	11
1.2.2 Objetivos Específicos	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1 Precipitação.....	12
2.2 Índices de Seca.....	13
2.3 Secas no Nordeste Brasileiro	16
2.4 Análises de Tendências	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 Área de Estudo.....	21
3.2 Dados.....	22
3.3 Metodologias	25
3.4 Caracterizações dos Eventos de Seca.....	28
4. RESULTADOS	31
4.1 Validações dos dados	31
4.2 Espacialização dos resultados de Duração, Severidade e Intensidade média dos eventos.....	38
5. ANALISE DAS TENDÊNCIAS	44
5.1 Apresentações dos Resultados das Analise das Tendências.....	Error! Bookmark not defined.
6. CONCLUSÕES	57
7. REFERÊNCIAS.....	578
APENDICE	67

1. INTRODUÇÃO

As secas fazem parte da variabilidade natural do clima na região Nordeste do Brasil (NEB), e ocorreram no passado, estão ocorrendo no presente e de acordo com as projeções de mudanças climáticas, é provável que continuem e se intensifiquem no futuro (Marengo et al., 2016). As secas têm tido, historicamente, grande influência em todos os aspectos da vida no (NEB). Embora elas aconteçam com maior intensidade na região semiárida brasileira e, em seguida, no Agreste, todas as regiões acabam sendo afetadas (De Nys et al., 2016). Podemos citar como um dos maiores impactos causados pela seca a falta de água para o consumo humano e dessedentação animal (Marengo, 2010). Segundo Favero (2008), as secas forçam as famílias a tomarem decisões de abandonar plantações, migrar para os centros urbanos ou fazer empréstimos financeiros, com o objetivo de minimizar os prejuízos, mudando seus projetos de vida do presente e do futuro. Desta forma, causando problemas econômicos, ambientais e sociais. No entanto, ferramentas e metodologias surgiram com o objetivo de ajudar na tomada de decisões que contribuam para a convivência com este fenômeno. Entre estas o SPEI (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*) (Vicente Serrano et al., 2010) se apresenta como um promissor indicador para a identificação e monitoramento das secas.

O SPEI pode medir a severidade da seca de acordo com sua intensidade e duração. Ele permite comparar a severidade da seca através do tempo e do espaço, uma vez que pode ser calculada em diferentes condições de climas, assim como o SPI (*Standardized Precipitation Index*) (Serrano, 2010). Além disso, o SPEI atende aos requisitos de um índice de seca, pois seu caráter multi-escalar permite que ele seja usado por diferentes disciplinas científicas para detectar, monitorar e analisar secas. Desta forma fica perceptível a importância do uso desse índice para monitoramento de secas uma vez que, o PDSI (*Palmer Drought Severity Index*) (Palmer, 1965), tem falhas no que se refere a sua escala temporal fixa (entre 9 e 12 meses) e uma característica auto-regressiva, na qual os valores do índice são afetados pelas condições de até quatro anos no passado (Guttman, 1998). Já o SPI tem sua principal crítica em seu cálculo, pois é baseado apenas em dados de precipitação. O índice não considera outras variáveis que podem influenciar as secas, como temperatura, evapotranspiração, velocidade do vento, e capacidade de retenção de água no solo (Serrano, 2010). Portanto, é preferível o uso de índices de seca que incluam dados de temperatura em sua formulação O SPEI combina a sensibilidade do PDSI a mudanças na demanda de evaporação (causadas por

flutuações e tendências de temperatura) com a simplicidade do cálculo e a natureza multitemporal do SPI (Serrano, 2010).

De acordo com Fechine (2015), as adversidades causadas pela seca podem ser minimizadas a partir de estratégias que podem ser desenvolvidas, se os períodos de secas forem conhecidos. Dessa forma, este trabalho destina-se a aplicação do SPEI no Estado da Paraíba tendo em vista que o SPI não pode identificar o papel do aumento da temperatura em futuras condições de seca e, independentemente dos cenários de aquecimento global, não pode explicar a influência da variabilidade da temperatura e o papel das ondas de calor. Assim destaca a importância deste trabalho para uma melhor gestão dos recursos hídricos e estratégias e serem tomadas para convivência com as secas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar o comportamento espaço-temporal dos eventos de seca meteorológica de 1961 a 2019 no Estado da Paraíba utilizando o *Standard Precipitation Evapotranspiration Index* (SPEI).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar, o comportamento espaço-temporal dos eventos de seca que têm afetado o Estado da Paraíba;
- Quantificar os eventos, assim como a duração, severidade, intensidade e frequência;
- Baseado nos resultados obtidos, avaliar se o SPEI pode ser um índice útil para os tomadores de decisão na região de estudo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Precipitação

As regiões semiáridas são uma das mais vulneráveis às mudanças climáticas porque em condições de aumento de temperatura e mudanças na precipitação podem se tornar regiões áridas, implicando em alterações não só climáticas, mas fitogeográficas, econômicas e sociais. Na América do Sul existem três grandes áreas semiáridas: a região de Guajira, na Venezuela e Colômbia, a diagonal seca do Cone Sul ao longo de Argentina, Chile e Equador; e a região do Nordeste do Brasil, caracterizada por temperaturas médias anuais elevadas e alta variabilidade espaço temporal da precipitação, com predomínio fitogeográfico da caatinga (Silva; Gabriela, 2016).

A precipitação pluvial é amplamente reconhecida por muitos pesquisadores como a variável climatológica mais importante na Região Tropical (Oliveira et al., 2014). A precipitação representa a entrada de água na superfície terrestre, sendo de crucial importância para a manutenção dos estoques hídricos, como lençóis freáticos, rios e lagos (Loitzenbauer; Katiucia, 2011). Comércio, indústria, turismo, práticas agrícolas, defesa civil e planejamento urbano (morfologia urbana) (Dereczynski et al., 2009). No entanto, é importante destacar que a precipitação apresenta alta variabilidade espaço temporal, principalmente nas regiões áridas e semiáridas do planeta (Farhangi et al., 2016), tornando seu monitoramento mais complexo.

Segundo Huffman et al., (2007) O estudo do regime de chuvas de uma região é tradicionalmente realizado a partir de dados de postos pluviométricos. De fato, dados pluviométricos podem apresentar baixo grau de confiabilidade em áreas extensas no Brasil, uma vez que a distribuição dos pluviômetros não abrange todo o território (Nobrega et al., 2008). Acredita-se que as maiores dificuldades encontradas são as instalações e manutenções de redes pluviométricas.

Segundo Franchito et al., (2009) áreas extensas como o território Brasileiro, a distribuição das estações meteorológicas não abrange todas as particularidades da dinâmica espacial das chuvas, além disto, precipitações isoladas que podem ocorrer em determinada área da bacia hidrográfica e que não são contabilizadas na estação meteorológica mais próxima, podem influenciar significativamente na análise do escoamento superficial, do déficit hídrico e do balanço de energia.

Segundo Soares et al., (2016) alguns setores que usam informações de chuva, como navegação, agricultura e controle de inundações, a agilidade e o acesso aos dados mais recentes, quase instantâneos, trazem a possibilidade de adequar e otimizar decisões quase em tempo real. Redes de estações pluviométricas automatizadas podem atender a essa demanda.

Segundo Araújo et al., (2003) a Paraíba é o Estado que apresenta a maior variabilidade espacial nas chuvas. Com relação à distribuição anual observa-se a alta variabilidade espacial de precipitação no setor central do Estado, região do cariri/curimataú, a precipitação fica torno de 300 a 500mm, no sertão e alto sertão em torno de 700 a 900 mm, no brejo e agreste a precipitação varia de 700 a 1.200mm, e no Litoral em média de 1.200 a 1.600mm. Sua variabilidade oscila entre 300 a 1.900mm, os menores índices pluviométricos ocorrem na área oeste e na região central (Francisco et al., 2015).

2.2 Índices de Seca

As secas são aparentes após um longo período sem precipitação, mas é difícil determinar seu início, extensão e fim. Assim, é muito difícil quantificar objetivamente suas características em termos de intensidade, magnitude, duração e extensão espacial. Por esse motivo, muito esforço foi dedicado ao desenvolvimento de técnicas para análise e monitoramento de secas (Heim, 2002).

A maioria dos estudos relacionados aos sistemas de análise e monitoramento de secas foi realizada usando i) o índice de severidade da seca de Palmer (PDSI), com base na equação do balanço hídrico do solo (Palmer, 1965) ou ii) o índice de precipitação padronizada (SPI) com base em uma abordagem probabilística de precipitação (Mckee et al., 1993).

O PDSI foi um marco no desenvolvimento de índices de seca. Permite a medição da umidade (valor positivo) e da segura (valores negativos), com base no conceito de oferta e demanda da equação do balanço hídrico e, portanto, incorpora a demanda anterior de precipitação, fornecimento de umidade, escoamento e evaporação no nível da superfície (Serrano, 2010).

No entanto, o PDSI apresenta várias deficiências, incluindo a forte influência do período de calibração, sua utilidade limitada em outras áreas além da usada para calibração, problemas de comparabilidade espacial e subjetividade na relação das condições de seca com os valores do índice. Muitos desses problemas foram resolvidos pelo desenvolvimento do

PDSI autocalibrado (Wells et al., 2004), mas a principal falha do PDSI não foi resolvida. Isso se refere à sua escala temporal fixa (entre 9 e 12 meses) e uma característica auto-regressiva, na qual os valores do índice são afetados pelas condições de até quatro anos no passado (Guttman, 1998).

É geralmente aceito que a seca é um fenômeno multiscalar (Mckee et al., 1993) mostra essa característica das secas através da consideração de recursos hídricos, incluindo umidade do solo, água subterrânea, neve, descargas fluviais e armazenamento de reservatórios. O período entre a chegada dos insumos de água e a disponibilidade de um determinado recurso utilizável difere consideravelmente. Assim, a escala de tempo em que os déficits hídricos se acumulam se torna extremamente importante e diferencia funcionalmente as secas hidrológicas, ambientais, agrícolas e outras secas.

O ciclo hidrológico é constituído de uma variável de entrada, a precipitação, e diversas variáveis de saída como a evapotranspiração, a infiltração e o escoamento. Quando se considera o conceito de seca, vários termos são encontrados na literatura. A Organização Meteorológica Mundial (WMO; GWP, 2016), define seca como um fenômeno natural e comum, que erroneamente é considerado como raro e como um evento randômico.

Chanda, Maity (2015) definem seca como a ausência de precipitação ou como um volume insuficiente de precipitação sobre uma região em um determinado período. Caloeiro et al., (2016) a descrevem como um desequilíbrio natural temporário na disponibilidade de água em níveis abaixo da média histórica, que podem causar impactos na agricultura, no abastecimento de água e na economia.

Eventos de seca geralmente estão associados à escassez hídrica e altas temperaturas. Otkin et al. (2016) analisaram os efeitos da seca na região central dos Estados Unidos em 2012 e verificaram uma alteração da umidade do solo nos primeiros 10 cm do solo, camada que a maioria das culturas utiliza para retirada de água.

Segundo Campos e Studart (2002), seca pode ser conceituado de várias formas, sendo intimamente relacionado ao ponto de vista do observador. Elas podem ser divididas em: seca climatológica, seca edáfica, seca hidrológica e a seca social.

A seca climatológica refere-se à ocorrência, em um dado espaço de tempo, em uma deficiência no total de chuvas em relação às necessidades. Este tipo de seca pode resultar em redução na produção agrícola e no fornecimento de água para abastecimento e demais fins.

A seca edáfica tem como causas básicas a insuficiência ou distribuição irregular das chuvas e pode ser identificada como uma deficiência da umidade. Este tipo de seca, associado à agricultura de sequeiro, é a que causa maiores impactos no Nordeste semi-árido.

A seca hidrológica por sua vez pode ser compreendida como a insuficiência de águas nos rios ou reservatórios para atendimento das demandas de águas já estabelecidas em uma dada região. Ela pode ser causada por uma sequência de anos com deficiência no escoamento superficial ou, também por um mau gerenciamento dos recursos hídricos acumulados nos açudes. Como resultado desse tipo de seca temo racionamento ou colapso, em sistemas de abastecimento d'água das cidades ou das áreas de irrigação. Estes tipos de secas acarretam em severas perdas econômicas, causando grandes transtornos sociais como por exemplo, a fome, migração e desagregação familiar. É a seca Social.

A seca edáfica ocorre quando a permanência de umidade no solo não é suficiente para que as culturas completem seus ciclos vegetativos. Esta pode ter como causa primária a escassez ou uma má distribuição das chuvas ao longo do tempo. Como consequência dessa seca, são afetadas atividades econômicas da agricultura de sequeiro, as quais resultam no flagelo dos camponeses. O resultado do flagelo é a migração para os centros urbanos ou para as frentes de serviço. Nessa sequência, a seca climatológica tem como efeito a seca edáfica; e a seca edáfica tem como causa a seca climatológica e como efeito a seca social (Campos, 2009).

A seca hidrológica é decorrente da falta de água nos rios e reservatórios durante épocas críticas, e pode ser gerada por três motivos: uso do reservatório por falta de conhecimentos de como gerenciar; uso mais rápido do recurso hídrico; e a falta de informações hidrológicas (Campos, 1995).

Por esse motivo, os índices de seca devem ser associados a uma escala de tempo específica para serem úteis no monitoramento e gerenciamento dos diferentes recursos hídricos utilizáveis. Isso explica a ampla aceitação do SPI, que é comparável em tempo e espaço (Guttman, 1998; Hayes et al., 1999), e pode ser calculado em diferentes escalas de

tempo para monitorar secas em relação a diferentes recursos hídricos. Vendo a necessidade de adicionar variáveis como a temperatura foi criado o SPEI.

Esse índice integra as informações de precipitação e de evapotranspiração sobre uma determinada região e considera uma condição de igual sensibilidade entre essas duas variáveis, o que torna o SPEI um índice adequado para captar os efeitos combinados da precipitação e da evapotranspiração (Serrano et al., 2010).

Os dados do SPEI são calculados em várias escalas de tempo, variando de 1 a 48 meses. Este índice é amplamente utilizado para aplicações ecológicas, agrícolas e hidrológicas (Vicente-Serrano et al., 2012a, Vicente-Serrano et al., 2012b). Nas escalas de tempo de 1, 3 e 6 meses, a seca é geralmente considerada relevante para a agricultura, aos 12 meses, para a hidrologia, e aos 24 meses para os impactos socioeconômicos (Potop et al., 2014).

Das et al., (2016) estudaram o comportamento e tendência das secas entre 1901 e 2008 para diversos locais da Índia em busca de analisar se a presença de secas foi devido ao déficit de precipitação ou à evapotranspiração potencial. Eles concluíram que o SPEI é sensível na identificação de secas extremas e que as secas na parte leste da Índia foram causadas, em sua maioria, pela ausência de chuva, enquanto a maioria das secas, na parte oeste do país, foi oriunda do aumento da evapotranspiração.

Serrano et al., (2010) aplicaram a metodologia SPEI para analisar os eventos de seca em São Paulo de 1910 e 2010 e verificaram eventos de seca muito proeminentes no começo do século XX, na década de 1960 e no começo do século XXI.

Com o objetivo de estudar as regiões áridas na China, Chen e Sun (2015) aplicaram o SPEI para monitorar as características da seca na região para o período de 1961 a 2012. Os autores encontraram um aumento da severidade das secas nas últimas décadas, bem como verificaram que as flutuações da temperatura representam um impacto maior nos episódios de seca do que o déficit de precipitação. Isso mostra a importância de adicionar dados de temperatura nos estudos sobre seca.

2.3 Secas no Nordeste Brasileiro

Segundo Blain; Mary (2011) dentre as adversidades meteorológicas que mais afetam o ser humano, a seca ocupa posição de destaque. As dificuldades associadas à mitigação e

combate dos efeitos dessa anomalia climática têm início desde o estabelecimento de uma definição clara do termo seca, até o conhecimento da vulnerabilidade de cada atividade, região ou sociedade apresenta em relação a essa condição climática adversa.

A ocorrência de seca é secular, desde as primeiras décadas do século XVI, há registros de secas. Sua concepção como fenômeno natural inevitável tem gerado um discurso unificado de vitimização, sendo aproveitado pelas elites para seu fortalecimento político, social e para a reinversão de capital através de políticas públicas (Melo, 1999).

Os primeiros registros de secas na história do Brasil são devido ao padre jesuíta Fernão Cardim em companhia do padre Cristovão Gouvêa. De 1583 a 1590 eles viajaram na costa de Pernambuco ao Rio de Janeiro e fez um relato epistolar que se constitui no primeiro documento a registrar uma seca no Nordeste. Segundo ele, desceram dos sertões para o litoral de quatro a cinco mil índios apertados pela fome (Cardim, 2009).

No século XVIII com a ocupação mais intensa do sertão, principalmente com a atividade pecuária, cresceram a população e os rebanhos no interior. Vários episódios de secas, com graves consequências sociais foram registrados, entre esses: 1707; 1710-1711; 1721-1727; 1730; 1736-1737; 1744-1747; 1751; 1754; 1760; 1766; 1771-1772; 1777-1778; 1783-1784 e 1791-1793. No século XIX reporta - se secas em 1804; 1808-1809; 1814; 1824-1825; 1829; 1830; 1833; 1844-1845; 1870; 1877-1878; 1879; 1888-1889; 1898. O século XX iniciou com uma seca abrangendo todo o Nordeste. Foram ainda registradas secas em 1903; 1915; 1919; 1932; 1942; 1951-1953; 1958; 1966; 1970; 1976; 1979-1983 e 1990-1993. Contudo esse século caracterizou-se por instalação de política de formação de uma infraestrutura hídrica de estradas, energia e a criação de instituições regionais para enfrentar o problema (Campos, 1995).

O semiárido brasileiro é caracterizado pela frequente incidência de secas que ocorrem, em média a cada cinco anos. Fenômeno que se deve à má distribuição das chuvas, baixa capacidade de retenção de água no solo e altas taxas de evaporação e evapotranspiração (Freitas, 1999).

Segundo Campos (2009), o regime de chuvas da região é altamente concentrado em uma única estação: cerca de 90% dos totais anuais ocorrem em seis meses e aproximadamente 50% da área do Polígono das Secas são formados por terrenos com embasamento cristalino (praticamente impermeáveis), com capacidade de acumulação de águas restrita às zonas

fraturadas. A maioria dos rios apresenta regime intermitente devido às irregularidades do regime pluvial e às demais condições fisiográficas.

Segundo Andrade et al., (2010), as secas que assolam a região nordeste, são as bases de sustentação do estado de pobreza rural. E esta situação, no entanto, não inviabiliza tentativas de mitigar tal cenário adverso que se agrava pelo aumento populacional e degradação dos recursos naturais utilizados.

A água é um dos maiores problemas que se enfrenta na região semiárida. Embora a construção de açudes tenha sido a política número um, até a metade do século XX, não se havia um sistema adequado de irrigação naquela época, piorando a situação (Melo, 1999).

No NEB a maioria dos agricultores sobrevive da agricultura de sequeiro, dependendo da regularidade e quantidade das chuvas para terem resultados positivos em seus plantios. Existe a agricultura irrigada, modelos seguidos pelos perímetros irrigados que contam com infraestrutura de irrigação, disponibilizando água para os pequenos, médios e grandes produtores. Hoje contamos com novas tecnologias de irrigação, a exemplo, a micro aspersão, o gotejamento entre outros. Todos com o objetivo de atender a demanda hídrica das culturas sem o gasto excessivo do recurso água e buscando neutralizar os problemas das secas e os curtos períodos chuvosos.

Segundo Favero (2008), as secas forçam as famílias a tomarem decisões como abandonar plantações, migrar ou fazer empréstimos, com o objetivo de minimizar os prejuízos, mas desta forma acabam contraindo mais dívidas, mudando desta forma seus projetos de vida do presente e do futuro.

Este fenômeno, que pode ter origem natural causa impactos econômicos, ambiental, psicológico e social de forma negativa e visível por onde passa. Perdas na agricultura irrigada, na produção de leite devido à má alimentação dos animais, escassez de alimentos, falta de água para consumo humano, industrial, animal, entre outros, são impactos dados como certos.

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization – WMO, 2006) uma condição primordial para a ocorrência de uma seca meteorológica, é quando se evidencia uma deficiência de precipitação em relação aos valores normais de uma região. Já a seca agrícola ocorre caso essa carência se mantenha por um longo período, sendo

verificada uma redução da umidade do solo até um ponto que comece a prejudicar o desenvolvimento dos cultivos, ocasionando o estresse hídrico.

A WMO (2006) define que a seca hidrológica é desencadeada por uma diminuição da infiltração e do escoamento e, conseqüentemente, da recarga do lençol freático e das reservas hídricas superficiais. Essa situação tende a desencadear uma redução do volume de reservatórios, como rios, lagos, aquíferos, dentre outros.

2.4 Análises de Tendências

Analisar tendências de séries temporais é importante para o desenvolvimento de vários estudos, pois proporciona um entendimento mais amplo sobre o comportamento futuro das variáveis analisadas. Nesse sentido, séries históricas de variáveis climatológicas, meteorológicas e hidrológicas têm sido avaliadas ao longo dos últimos tempos, dando maior segurança aos pesquisadores. A identificação da existência de tendências de uma série temporal é possível a partir da aplicação de técnicas paramétricas e não paramétricas, e a diferença básica entre tais métodos é que enquanto a primeira técnica requer que os dados se adequem a uma distribuição padrão e sejam independentes entre si, as técnicas não paramétricas não possuem tal exigência.

Dentre as técnicas disponíveis, os testes de Mann-Kendall e de Sen são uns dos mais usuais (Byakatonda et al., 2018; Santos et al., 2018; Santos et al., 2019b). A partir dessas técnicas não paramétricas, o padrão de séries temporais de diferentes origens e tipos vem sendo analisado, permitindo que os efeitos danosos dos fenômenos climáticos e extremos como as secas possam ser, na melhor das hipóteses, um pouco amenizados. O teste de Mann-Kendall foi primordialmente sugerido por Mann (1945) e modificado por Kendall (1975) e representa a etapa inicial quanto ao processo de avaliação de tendências das séries temporais, já que a partir de sua aplicação, é possível determinar a declividade da tendência e seu nível de significância.

Esse método se baseia no teste da hipótese nula H_0 , de que não existe tendência na série, contra a hipótese alternativa não nula H_1 , que há tendência crescente ou decrescente dos dados e assim, a depender dos resultados, a hipótese nula passa a ser rejeitada ou aceita. Além disso, destaca-se também que o teste não-paramétrico de Mann-Kendall avalia as tendências das séries temporais que podem conter falhas em sua composição, o que aumenta o leque de

aplicabilidade dessa técnica, especialmente ao se utilizar séries de precipitação e de variáveis meteorológicas, que geralmente apresentam elevado percentual de falhas. Além do mais, o teste não paramétrico de Mann-Kendall não é sensível quanto à existência de valores extremos e não há necessidade de que os dados utilizados se adequem a uma distribuição padrão, o que torna esse teste um dos mais recomendado pelo WMO para detectar a existência de significância estatística em estudos climatológicos (Mitchell et al., 1966).

Considerando a quantidade de dados existentes nas séries temporais, pode-se estabelecer se determinada série apresenta ou não uma tendência a um determinado nível de significância. Essa capacidade de analisar séries e suas tendências com diferentes níveis de significância garante maior propriedade aos estudiosos e embasam ainda mais as conclusões obtidas a partir da aplicação desse teste. Ao assumir que determinada série temporal tem uma tendência estatisticamente significativa a um nível de significância de 0,01, que é o mesmo que admitir que há 99% de confiança, conclui-se que de fato há um alto percentual de rejeição da hipótese nula e daí, espera-se que a série realmente apresente tal tendência.

O teste da Curvatura de Sen tem a finalidade de obter a magnitude da tendência na série histórica. Este método foi proposto por Sen (1968) e foi aprimorado por Hirsch et al., (1984), sendo insensível a *outliers* e dados inexistentes, sendo mais rigoroso que a curva de regressão acima citada, provendo uma medida realística das tendências, que porventura venham a existir em uma série histórica (Ferrari, 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A pesquisa foi desenvolvida para o estado da Paraíba (Figura 1), região que representa uma das 27 Unidades Federativas do Brasil e um dos nove estados do (NEB). Limitado pelas latitudes 5,875°S e 8,375°S e pelas longitudes 38,875°O e 34,625°O, o Estado da Paraíba faz fronteira com o estado do Ceará (a oeste), com o estado do Rio Grande do Norte (ao norte), com o Oceano Atlântico (a leste), e com o estado de Pernambuco (ao sul). Tem área total de 56.469,78 km². Com uma população de cerca de quatro milhões de habitantes, o estado é formado por 223 municípios e subdividido em quatro mesorregiões, (IBGE, 2016).

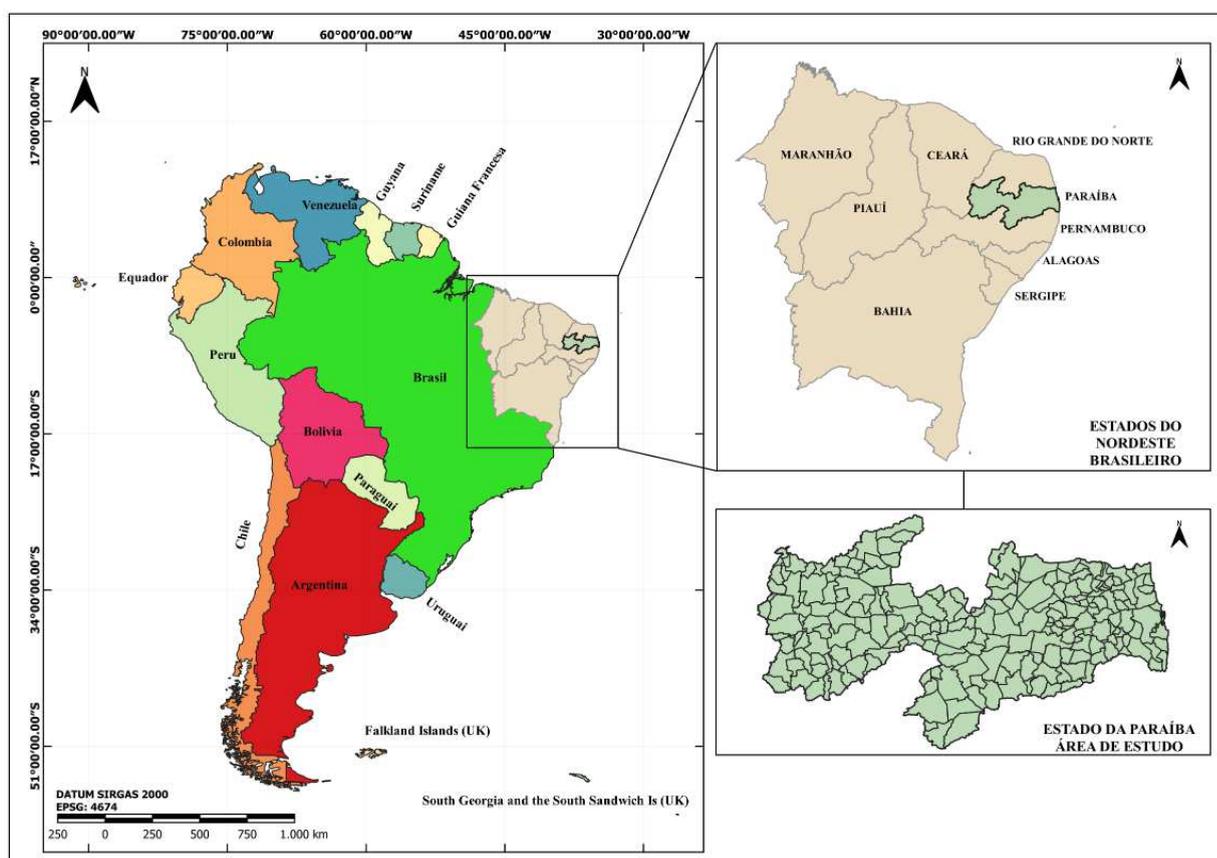


Figura 1- Localização da Área de estudo

3.2 Dados

Este trabalho adotou o SPEI recuperado do banco de dados do SPEI Global Drought Monitor (<https://spei.csic.es>) para o período de 1961 – 2019. O banco de dados (SPEIbase) fornece informações concretas de longo prazo sobre as condições de seca em todo o mundo. Esses índices tem uma resolução espacial de 0,5 grau e uma resolução temporal de um mês (Begueria et al., 2010). Com base na resolução de 0,5 graus, os dados das localizações geográficas foram recuperados para a Paraíba.

O banco de dados SPEIbase é baseado no método FAO-56 Penman-Monteith (Zotarelli et al., 2010) de estimativa da evapotranspiração potencial (ETp) que tem melhor desempenho que método de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948). O método de Thornthwaite tem como principal desvantagem a superestimação e subestimação da ETp em locais com baixas temperaturas. O SPEI reflete um déficit hídrico estimado pela diferença entre a precipitação (P) e a ETp no período considerado ($P - ETp$) Vicente Serrano et al., (2009).

Foram utilizados dados para o cálculo da ETp com base no método de Thornthwaite, visando à aplicação do SPEI, por se tratar de cálculos mais simples e com dados de entrada mais básicos como: precipitação e temperatura média mensal conforme Vicente-Serrano et al., (2009), esta metodologia foi aplicada para fins de validação dos dados calculados nas estações meteorológicas e dados do site SPEIbase. Para verificação de tendência temporal na série histórica o teste de Mann-Kendall foi aplicado (Mann, 1945; Kendall, 1975). Apesar da eficiência do teste de Mann-Kendall, ele não fornece a magnitude das tendências detectadas, podendo ser complementado pelo estimador de declive proposto por Sen (1968) descrito por Portela et al., (2011) e Tao et al., (2014).

Os dados de precipitação e temperatura foram obtidos do site INMET, com série histórica de 1961 a 2019, para a validação dos resultados. Os valores de SPEI foram recuperados para os pontos dentro do Estado da Paraíba, como mostra a Figura 2.

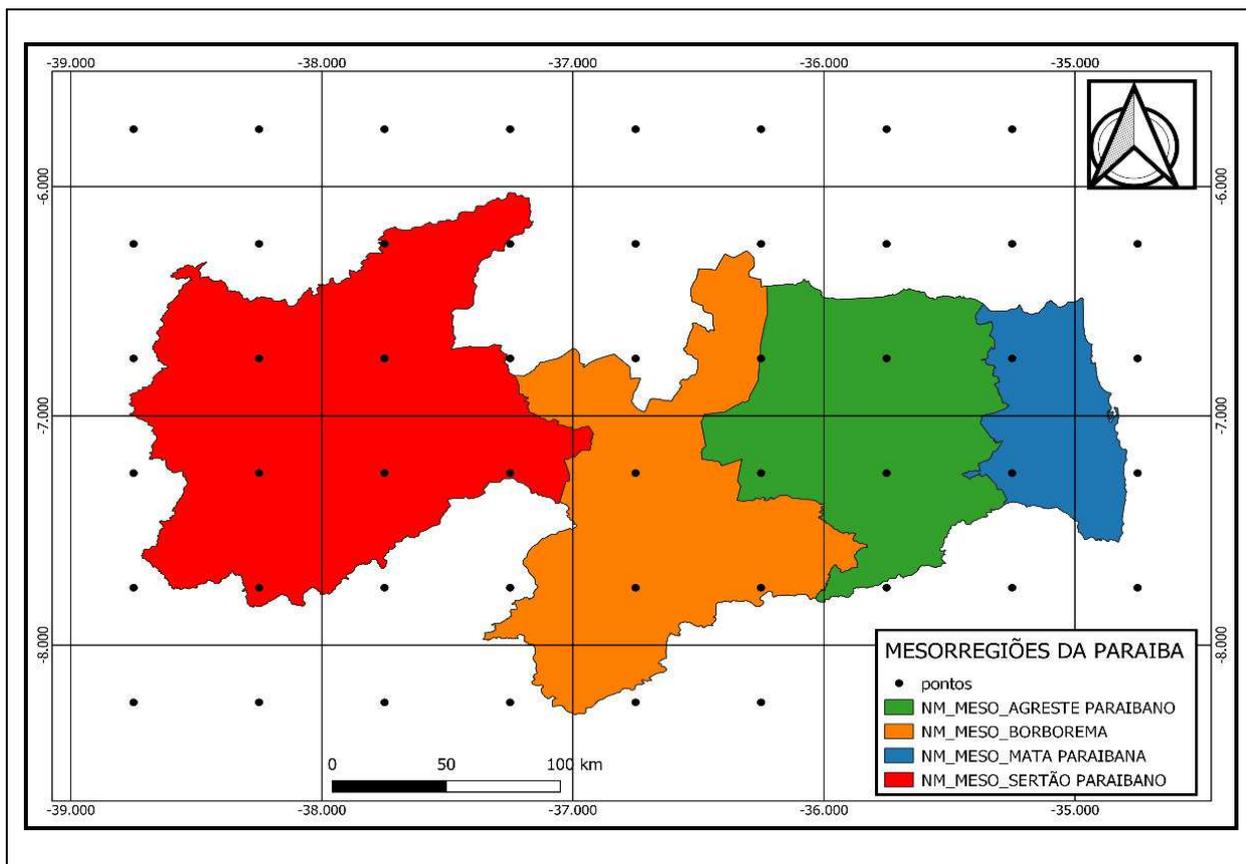


Figura 2 - Distribuição Espacial das localizações dos pontos da área em estudo por Mesorregião

Os pontos recobrem todo o estado da Paraíba, possibilitando uma boa distribuição e caracterização espacial robusta de toda a área analisada. Para melhor visualização dos resultados, o estado da Paraíba foi dividido por mesorregiões.

Segue a baixo os municípios que compõem cada mesorregião:

- **Agreste Paraibano:** Campina Grande, Guarabira, Queimadas, Esperança, Alagoa Grande, Lagoa Seca, Solânea, Itabaiana, Areia, Bananeiras, Alagoa Nova, Cuité, Araruna, Remígio, Aroeiras, Pocinhos, Ingá, Belém, Cacimba de Dentro, Araçagi, Barra de Santa Rosa, Soledade, Alagoinha, Gurinhém, Massaranduba, Puxinanã, Arara, Mongeiro, Salgado de São Felix, São Sebastião de Lagoa de Roça, Fagundes, Itatuba, Tacima, Nova Floresta, Pirpirituba, Natuba, Dona Inês, Umbuzeiro, Mulungu, Gado Bravo, Juarez Távora, Lagoa de Dentro, Casserengue, Caiçara, Boa Vista, Serra Redonda, Areal, Cuitegi, Pilões, Santa Cecília, Serraria, Caldas Brandão, Montadas, Damião, Borborema, Sertãozinho, Pilõezinhos, Riachão do Bacamarte, Matinhas, Logradouro, Olivados, Duas Estradas, Riachão, Sossêgo, Serra da Raiz e Algodão de Jandaira.

- **Borborema:** Monteiro, Picui, Juazeirinho, Boqueirão, Sumé, Santa Luzia, Taperoá, Serra Branca, Seridó, Barra de Santana, Pedra Lavrada, Cubati, São Mamede, Livramento, Junco do Seridó, Barra de São Miguel, Camalaú, Cabaceiras, Alcantil, Nova Palmeira, Baraúna, Caturité, Congo, São João do Tigre, Prata, São João do Cariri, Caraúbas, São José do Sabugi, Assunção, Salgadinho, São José dos Cordeiros, São Sebastião do Umbuzeiro, Gurjão, Tenorio, Ouro Velho, Frei Martinho, Varzea, São Domingos do Cariri, Santo Andre, Zabelê, Amparo, Riacho de Santo Antonio, Coxixola e Parari.
- **Mata Paraibana:** João Pessoa, Santa Rita, Bayeux, Cabedelo, Sapé, Mamanguape, Pedras de Fogo, Conde, Rio Tinto, Mari, Caaporã, Alhandra, Pitimbu, Itaporoca, Cruz do Espírito Santo, Jacaraú, Lucena, Pilar, Juripiranga, Baía da Traição, Marcação, Mataraca, Sobrado, São Miguel de Taipu, Capim, Cuité de Mamanguape, Pedro Regis, São José dos Ramos, Cural de Cima e Riachão do Poço.
- **Sertão Paraibano:** Patos, Sousa, Cajazeiras, São Bento, Pombal, Catolé do Rocha, Itaporanga, Princesa Isabel, São José de Piranhas, Conceição, São João do Rio do Peixe, Piancó, Coremas, Uirauna, Teixeira, Tavares, Brejo do Cruz, Paulista, Bonito de Santa Fé, Imaculada, Manaira, Cachoeira dos Índios, Água Branca, Juru, Triunfo, Riacho dos Cavalos, Aparecida, Desterro, Jerico, São José da Lagoa Tapada, Belém do Brejo do Cruz, Nazarezinho, Cacimbas, Santana dos Garotes, Condado, Marizopolis, Santa Cruz, Matureia, Diamante, Olho D' água, Brejo dos Santos, São José de Caiana, Igaracy, Nova Olinda, Ibiara, Santa Helena, Malta, Aguiar, Boa Ventura, Vieiropolis, Santana de Mangueira, Bom Sucesso, Catingueira, Monte Horebe, São José de Espinharas, Lagoa, Santa Teresinha, São Bentinho, Poço de José de Moura, Mãe D' Água, São José de Princesa, Poço Dantas, Pedra Branca, Vista Serrana, Cacimba de Areia, Santa Inês, São José do Bonfim, Emas, Bernardino Batista, São Francisco, Cajazeirinhas, São Domingos, Serra Grande, Mato Grosso, Lastro, Carrapateira, Joca Claudino, Bom Jesus, Cural Velho, Passagem, Areia de Baraúnas, Quixaba e São José do Brejo do Cruz.

A Mata Paraibana é a mesorregião que compreende todo o litoral da Paraíba e se estende em direção ao interior do estado por uma distância aproximada de 80 km (Soares et al., 2016). É a região mais populosa do estado e quanto as suas características físicas, a Mata Paraibana é predominantemente composta por planícies litorâneas e coberta por restos de Mata Atlântica.

O Agreste é a segunda menor mesorregião da Paraíba e a que apresenta a segunda maior população do estado, é a mesorregião de transição entre as regiões da Mata Paraibana (a leste) e da Borborema (a oeste) e por isso, sua vegetação varia entre a Mata Atlântica da região litorânea e a vegetação arbustiva do interior da Paraíba.

A Borborema é mesorregião menos populosa do estado e onde se encontra uma das formações geológicas mais características do nordeste do Brasil: o Planalto da Borborema. É nesta mesorregião que os níveis pluviométricos são os menores do estado, com destaque à cidade de Cabaceiras, município que recebe o título de cidade mais seca do Brasil, com precipitação média anual de 300 mm.

Na região oeste do estado está localizada a mesorregião do Sertão Paraibano, esta tem a maior extensão territorial e abrange várias cidades importantes como Patos e Sousa, por exemplo. No Sertão, a precipitação anual média varia de 400 a 1000 mm.

3.3 Metodologias

Foi adotado para o cálculo do índice de SPEI foram utilizados os dados mensais de temperatura e precipitação e a taxa de evapotranspiração potencial (ETP). Seguindo o método de Thornthwaite (1948) como sugerido por Vicente-Serrano et al., (2009). A equação representa o cálculo do balanço hídrico, utilizando os dados acima mencionados 1:

$$D_i = P_i - PET_i \quad (1)$$

Onde: P_i é a precipitação acumulada e PET é a taxa de evapotranspiração potencial.

No cálculo desse índice é utilizado a função densidade de probabilidade de uma variável com distribuição log-logística baseada em três parâmetros (α , β e γ). Essa função é representada pela equação 2:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left(1 + \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right)^{-2} \quad (2)$$

Onde: α , β e γ são parâmetros de escala, forma e origem, respectivamente para valores de D no intervalo ($\gamma > D > \infty$).

Seguindo a metodologia de Vicente-Serrano et al., (2010), para calcular os parâmetros log-logísticos α , β e γ utilizou-se o método dos momentos ponderados de probabilidade (PWMs), que foi baseado na abordagem plotting-position (Hosking, 1990) onde são calculados como, equação 3:

$$WS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\left(\frac{N-i}{s}\right) D_i}{\left(\frac{N-i}{s}\right)} \quad (3)$$

Onde: N é o número de dados e D_i é a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial para o mês i .

Dessa forma, a distribuição de probabilidade de D de acordo com a distribuição log-logística é calculada por equação 4:

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (4)$$

Seguindo a aproximação clássica de Abramowitz e Stegun (1965), com os valores de F(x) padronizados o SPEI pode ser obtido facilmente através da equação 5:

$$SPEI = W - \frac{c_0 + c_1W + c_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^2} \quad (5)$$

Onde: $W = -2\ln(P)$

Foi utilizado o SPEI Global Drought Monitor com o SPEI obtido por estações meteorológicas com o objetivo de ver a aplicabilidade da informação para os tomadores de decisões.

De forma a estruturar a discussão deste trabalho foi seguido algumas etapas aos quais foram: (a) analisar os dados de duração, (b) severidade, (c) intensidade e (d) frequência das secas.

Os índices foram calculados em escalas de 3, 6, 9, 12 e 24 meses para identificação dos períodos secos a partir do índice padronizado SPEI para o período de 1961 a 2019. Em

escalas de tempo de 1, 3 e 6 meses, a seca é geralmente considerada relevante para agricultura, em 12 meses, para hidrologia, e em 24 meses para impactos socioeconômicos (Potop et al., 2014).

Para validar os dados analisados foi escolhido coordenadas próximas de algumas estações meteorológicas sendo calculadas pelo SPEIbase e dados calculados das estações obtidos no site do INMET e calculados com a ajuda do software R para correlacionar os resultados. Para processar os dados e calcular os índices, fez-se uso do compilador R. O R é uma linguagem e ambiente de desenvolvimento integrado para cálculos estatísticos e gráficos. Um conjunto de pacotes é incluído com a instalação de R, com muitos outros disponíveis na rede de distribuição do R. Para o cálculo dos índices, fez-se uso do RStudio. Este é um software livre de ambiente de desenvolvimento integrado para R, uma linguagem de programação para gráficos e cálculos estatísticos.

Foi construída uma tabela para mostrar os resultados encontrados de R^2 com valores calculados na estação meteorológica de Campina Grande, Patos e São Gonçalo para correlacionar com valores encontrados no SPEIbase recuperado em coordenadas próximas as estações supracitadas.

Segundo Brito et al., (2003) julga-se satisfatória a linearidade do gráfico quando o coeficiente de correlação:

Tabela 1 - Valores de R^2 Satisfatórios

R = 1	Correlação Perfeita
0,91 < R < 0,99	Correlação Fortíssima
0,61 < R < 0,91	Correlação Forte
0,31 < R < 0,60	Correlação Média
0,01 < R < 0,30	Correlação Fraca
R = 0	Correlação Nula

Fonte: Brito et al., (2003)

3.4 Caracterizações dos Eventos de Seca

De posse das séries de SPEI, foram utilizadas grandezas da literatura para realizar a caracterização dos eventos de secas sobre o estado da Paraíba. Desta forma, assumiu-se que um evento de seca é caracterizado pelo período em que há continuidade de SPEI com valores que são negativos ou iguais a zero, ou seja, de eventos secos, foi realizada a caracterização de cada um dos eventos mediante a quantificação, duração, severidade, intensidade média, frequência.

A duração (DD) de um evento de seca representa o número de meses entre o período de início e o período de fim da continuidade dos valores de SPEI negativos ou iguais a zero ao longo da série. Assim, a duração média (MDD) dos eventos foi calculada para cada uma dos SPEI disponíveis e representa a razão entre o somatório da duração de todos os eventos de seca pela quantidade de eventos de seca N existentes, conforme a Equação 9:

$$MDD = \sum_{i=1}^n \frac{DD_i}{N} \quad (6)$$

Quanto à duração, por exemplo, nota-se que secas mais duradouras tendem a afetar o potencial agrícola e a influenciar o nível dos rios e dos reservatórios de diferentes regiões desta forma é importante entender o padrão espacial e temporal da duração das secas e de seus eventos é um processo importante para estimar quais setores da sociedade tendem a ser mais influenciados (MOURA et al., 2020).

A severidade (DS) de um evento de seca, por sua vez, representa o somatório dos valores SPEI ao longo da duração de cada evento e a severidade média (MDS) desses eventos é a razão entre o somatório da severidade de cada evento de seca pela quantidade de eventos N existentes, conforme a Equação 10:

$$MDS = \sum_{i=1}^n \frac{DS_i}{N}, DS = - \sum_{i=1}^{DD} SPEI_i \quad (7)$$

A severidade das secas é uma das principais características desses fenômenos (Dashtpajardi et al., 2018), e é a partir da qual que se mensura quão forte foi um determinado evento de seca, quando comparado aos eventos passados.

Já a intensidade (DI) de cada evento de seca é calculada pela razão entre a severidade de cada evento e sua duração. De modo análogo ao cálculo da duração e da severidade média,

a intensidade média (MDI) dos eventos representa a razão entre o somatório da intensidade dos eventos pela quantidade de eventos N, conforme a Equação 11:

$$MDI = \sum_{i=1}^n \frac{DI_i}{N}, DI = - \sum_{i=1}^{DD} SPEI_i / DD \quad (8)$$

Além da duração, severidade e intensidade média dos eventos de seca, também foi avaliada a frequência com que os eventos secos atingiram o Estado da Paraíba, Desse modo, utilizando as classes de severidade definidas, e.g., eventos suaves, moderados, severos e extremos, a frequência (DF) dos eventos foi calculada pela razão entre o número de vezes em que houve um evento seco de determinado tipo (f) pela quantidade de eventos secos e úmidos existentes (F) conforme a Equação 12:

$$DF = \frac{f}{F} \quad (9)$$

A frequência dos eventos de seca representa a quantidade de eventos secos que atingiram determinada região ao longo de determinado período. Essa característica tem alto valor no processo de caracterização das secas, especialmente por estar relacionada ao período de recorrência. Em outras palavras, nas regiões onde os eventos de seca são mais frequentes, o período de retorno dos eventos é menor, o que indica que esses fenômenos são mais recorrentes sobre determinada região (Moura et al., 2020).

Esses conceitos foram adotados para o índice do SPEI, já que o mesmo segue os mesmos princípios do SPI (Brito et al., 2017).

Segundo Bae et al. (2018) o SPEI pode ser classificado em várias categorias, de acordo com seus valores e intensidades conforme indicado na tabela 3:

Tabela 2 – Classificação dos Índices (SPEI)

VALOR SPEI	CLASSE
Mais de 2,00	Extremamente Úmido (Úmido)
1,50 a 1,99	Muito Molhado
1,00 a 1,49	Moderadamente Molhado
0,50 a 0,99	Ligeiramente Molhado
-0,49 a 0,49	Quase Normal
-0,99 a -0,50	Seco Leve

-1,49 a -1,00	Moderadamente Seco
-1,99 a -1,50	Severamente Seco
Menos de -2,00	Extremamente Seco

Fonte: Bae et al., (2018)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Validações dos dados

Os valores descritos na linha azul, são dados calculados com valores adquiridos na estação meteorológica de Campina Grande, já os dados em vermelhos são os dados calculados pelo SPEIbase recuperado em coordenada próximo à estação citada. Com os SPEI calculados obtivemos os seguintes resultados como mostra a Figura (3).

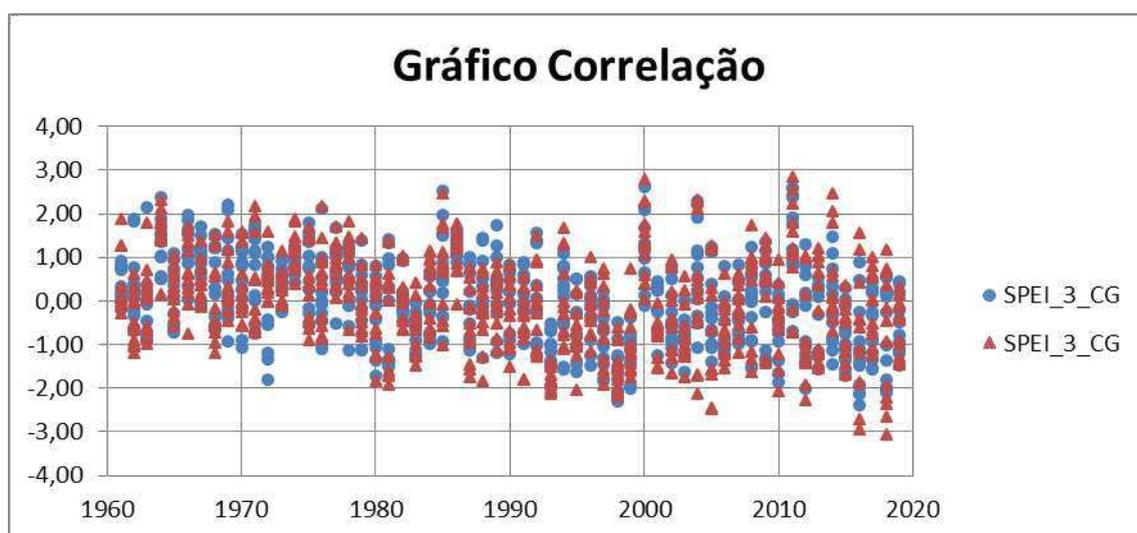


Figura 3 – Distribuição temporal do SPEI para Campina Grande - PB

O gráfico mostra que os valores apresentaram uma certa similaridade nos resultados, os valores mínimos e máximos encontrados foram: para a Estação Meteorológica de Campina Grande, -3,07 (novembro de 2018), caracterizando um mês extremamente seco e 2,86 (junho de 2011), caracterizando um mês extremamente úmido. Já o SPEIbase recuperado apresentou -2,40 agosto de 2016), caracterizando um mês extremamente seco e 2,63 (outubro de 2000), caracterizando um mês extremamente úmido. Os demais gráficos se encontram no Apêndice.

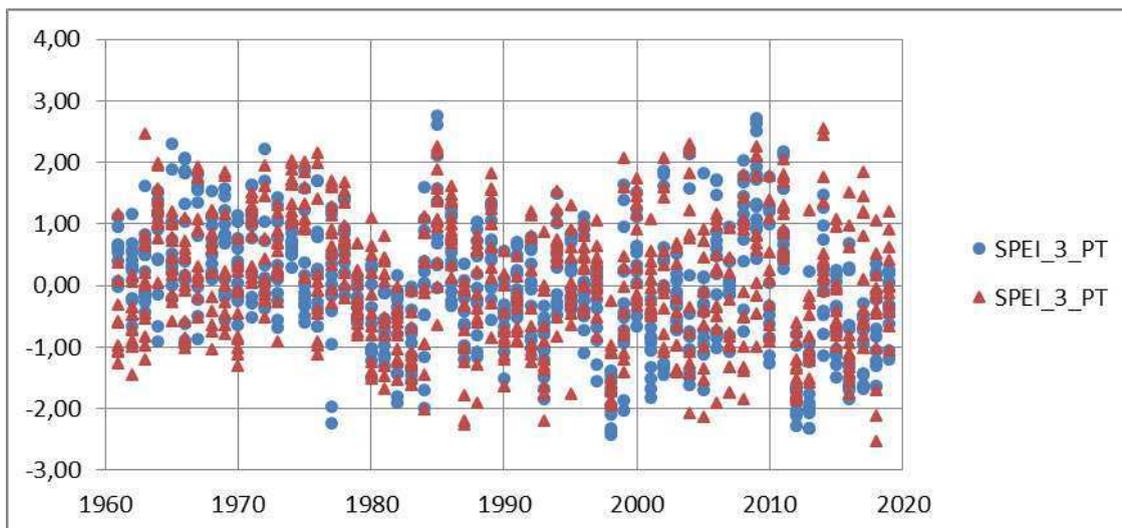


Figura 4 – Distribuição temporal do SPEI para Patos - PB

O gráfico mostra que os valores apresentaram uma certa similaridade nos resultados, os valores mínimos e máximos encontrados foram: para a Estação Meteorológica de Patos, -2,41 (abril de 1998), caracterizando um mês extremamente seco e 2,75 (abril de 1975), caracterizando um mês extremamente úmido. Já o SPEIbase recuperado apresentou -2,53 (setembro de 2018), caracterizando um mês extremamente seco e 2,55 (outubro de 2014), caracterizando um mês extremamente úmido. Os demais gráficos se encontram no Apêndice.

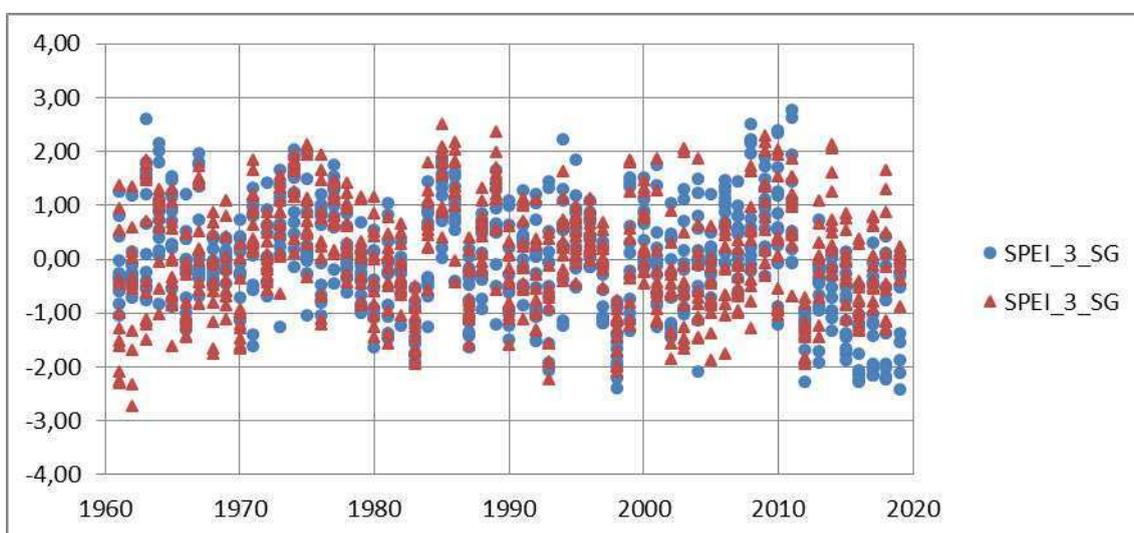


Figura 5 – Distribuição temporal do SPEI para São Gonçalo - PB

O gráfico mostra que os valores apresentaram uma certa similaridade nos resultados, os valores mínimos e máximos encontrados foram: para a Estação Meteorológica de São Gonçalo, -2,41 (outubro de 2019), caracterizando um mês extremamente seco e 2,76 (agosto de 2011), caracterizando um mês extremamente úmido. Já o SPEIbase recuperado apresentou

-2,73 julho de 1962), caracterizando um mês extremamente seco e 2,51 (fevereiro de 1985), caracterizando um mês extremamente úmido. Os demais gráficos se encontram no Apêndice.

Tabela 3 - Valores de R^2 calculado nas estações meteorológicas e oriundos do SPEIbase

ESTAÇÕES	VALORES R^2				
	SPEI_3	SPEI_6	SPEI_9	SPEI_12	SPEI_24
Campina Grande	0,699	0,751	0,766	0,763	0,779
Patos	0,433	0,529	0,620	0,665	0,718
São Gonçalo	0,520	0,600	0,649	0,667	0,658

Na Tabela 3 estão apresentados os valores de R^2 calculados para as estações meteorológicas de Campina Grande, Patos e São Gonçalo com os dados do SPEIbase. É possível perceber que os valores encontrados na estação de Campina grande tiveram correlação forte em todas as escalas de tempo com base na Tabela (1). Possivelmente devido ao fato das coordenadas utilizadas no site do SPEIbase recuperado ser o mais próximo das coordenadas da estação meteorológica de Campina Grande. Os valores encontrados na estação meteorológica de Patos mostraram correlação média nos SPEI_3; SPEI_6 e correlação forte nos SPEI_9; SPEI_12 e SPEI_24. Já os valores encontrados na estação meteorológica de São Gonçalo apresentaram correlação média no SPEI_3 e correlação forte nos SPEI_6; SPEI_9; SPEI_12 e SPEI_24.

Com os dados validados e de forma a estruturar a discussão, foram realizadas análises para as mesorregiões do Estado da Paraíba. Inicialmente, foi feita uma avaliação dos períodos secos a partir dos índices padronizados. A primeira análise busca verificar se todos os índices apresentam a mesma característica para os resultados dos índices em termos de ocorrência de seca através das figuras que apresentam os SPEI nas escalas de 3, 6, 9, 12 e 24 meses.

As colunas (1) e (2) da Figura 6 apresentam os gráficos de SPEI ao longo do período em estudo na mesorregião da Mata Paraibana. Cada coluna representa os pontos compreendidos dentro da Mesorregião. Foi calculado os índices de SPEI_3, SPEI_6, SPEI_9, SPEI_12 e SPEI_24 para o período de 1961 a 2019.

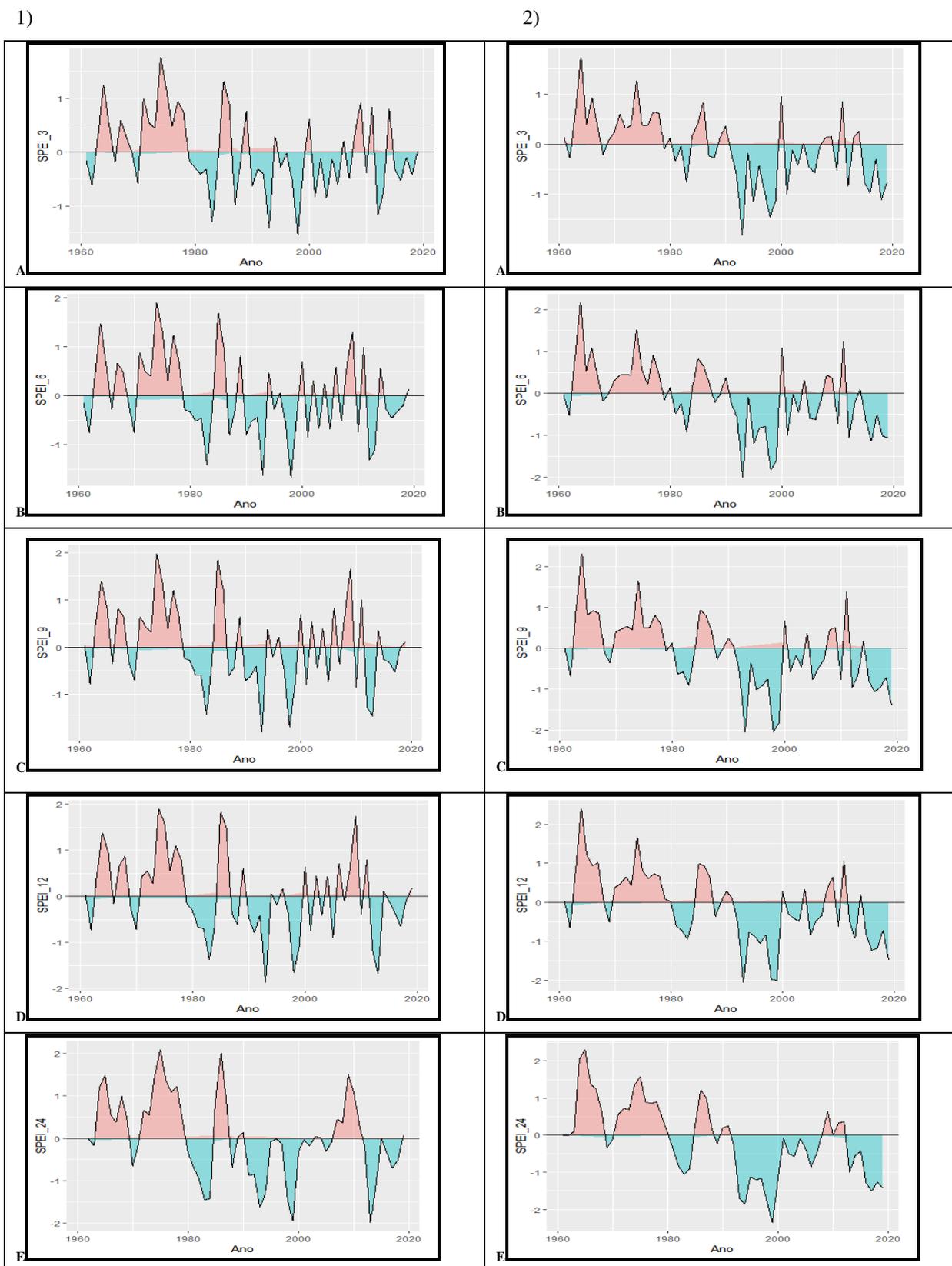


Figura 6 – Distribuição Temporal do SPEI da Mesorregião da Mata Paraibana

Os dados analisados mostram semelhanças nos resultados dos SPEI calculados, identificando períodos secos praticamente nos mesmos períodos analisados, desta forma caracterizando semelhanças entre si em termos de ocorrências de secas.

A segunda análise compreendeu em considerar a quantidade média de eventos secos, duração, severidade, intensidade e frequência dos eventos que atingiram as mesorregiões do Estado da Paraíba.

Tabela 4 - Quantidade média de eventos, duração, severidade, intensidade e frequência dos eventos secos na Mata Paraibana no período de 1961 a 2019.

EVENTOS	SPEI_3	SPEI_6	SPEI_9	SPEI_12	SPEI_24
Quantidade Média de					
Eventos Secos	41	28	21	17	10
(meses)					
Duração Média dos					
Eventos (meses)	9	14	17	19	27
Severidade Média					
dos Eventos	-7,84	-12,41	-15,75	-15,85	-23,18
Intensidade Média					
dos Eventos	-0,77	-0,75	-0,73	-0,69	-0,57
Frequência dos					
Eventos (%)	0,05	0,03	0,03	0,02	0,01

Tabela 5 - Quantidade de eventos, duração, severidade, intensidade e frequência dos eventos secos na mesorregião do Agreste Paraibano.

EVENTOS	SPEI_3	SPEI_6	SPEI_9	SPEI_12	SPEI_24
Quantidade Média de					
Eventos Secos	44	32	25	18	10
(meses)					
Duração Média dos					
Eventos (meses)	8	10	13	24	36
Severidade Média					
dos Eventos	-6,78	-9,55	-11,23	-17,18	-32,18
Intensidade Média					
dos Eventos	-0,82	-0,77	-0,70	-0,75	-0,72
Frequência dos					
Eventos (%)	0,06	0,04	0,04	0,02	0,01

Tabela 6 - Quantidade de eventos, duração, severidade, intensidade e frequência dos eventos secos na mesorregião da Borborema.

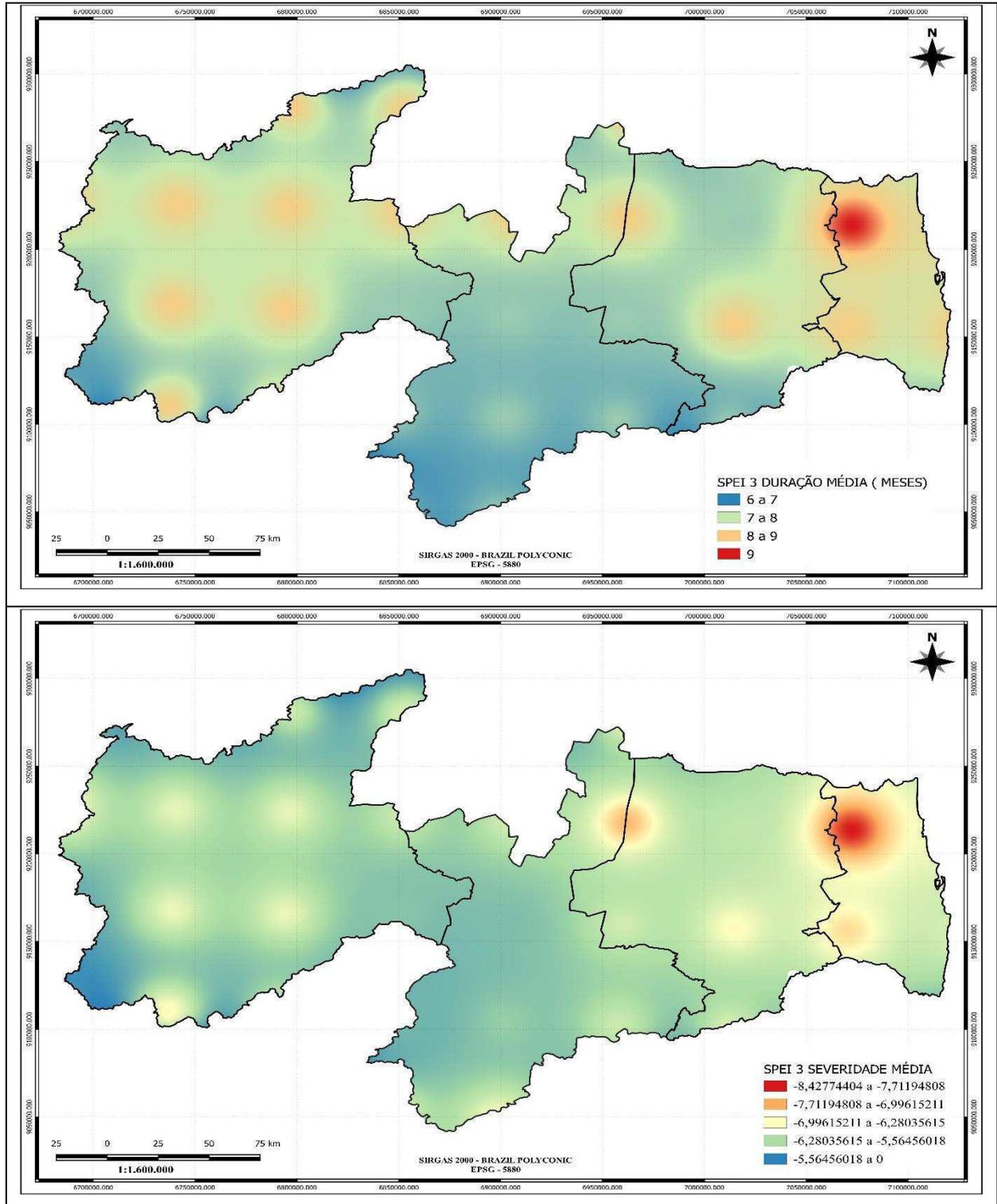
EVENTOS	SPEI_3	SPEI_6	SPEI_9	SPEI_12	SPEI_24
Quantidade Média de					
Eventos Secos (meses)	45	29	26	20	13
Duração Média dos Eventos (meses)	7	11	13	17	27
Severidade Média dos Eventos	-6,25	-9,67	-11,01	-14,18	-22,45
Intensidade Média dos Eventos	-0,78	-0,72	-0,69	-0,71	-0,52
Frequência dos Eventos (%)	0,06	0,04	0,04	0,03	0,02

Tabela 7 - Quantidade de eventos, duração, severidade, intensidade e frequência dos eventos secos na Mesorregião do Sertão Paraibano.

EVENTOS	SPEI_3	SPEI_6	SPEI_9	SPEI_12	SPEI_24
Quantidade Média de					
Eventos Secos (meses)	40	28	24	19	13
Duração Média dos Eventos (meses)	8	12	14	18	24
Severidade Média dos Eventos	-6,69	-9,40	-10,43	-13,75	-19,23
Intensidade Média dos Eventos	-0,79	-0,70	-0,64	-0,65	-0,57
Frequência dos Eventos (%)	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02

4.2 Espacialização dos Resultados de Duração, Severidade e Intensidade média dos eventos

A espacialização foi realizada com os dados do SPEI_3 devido essa escala ser considerada relevante para agricultura.



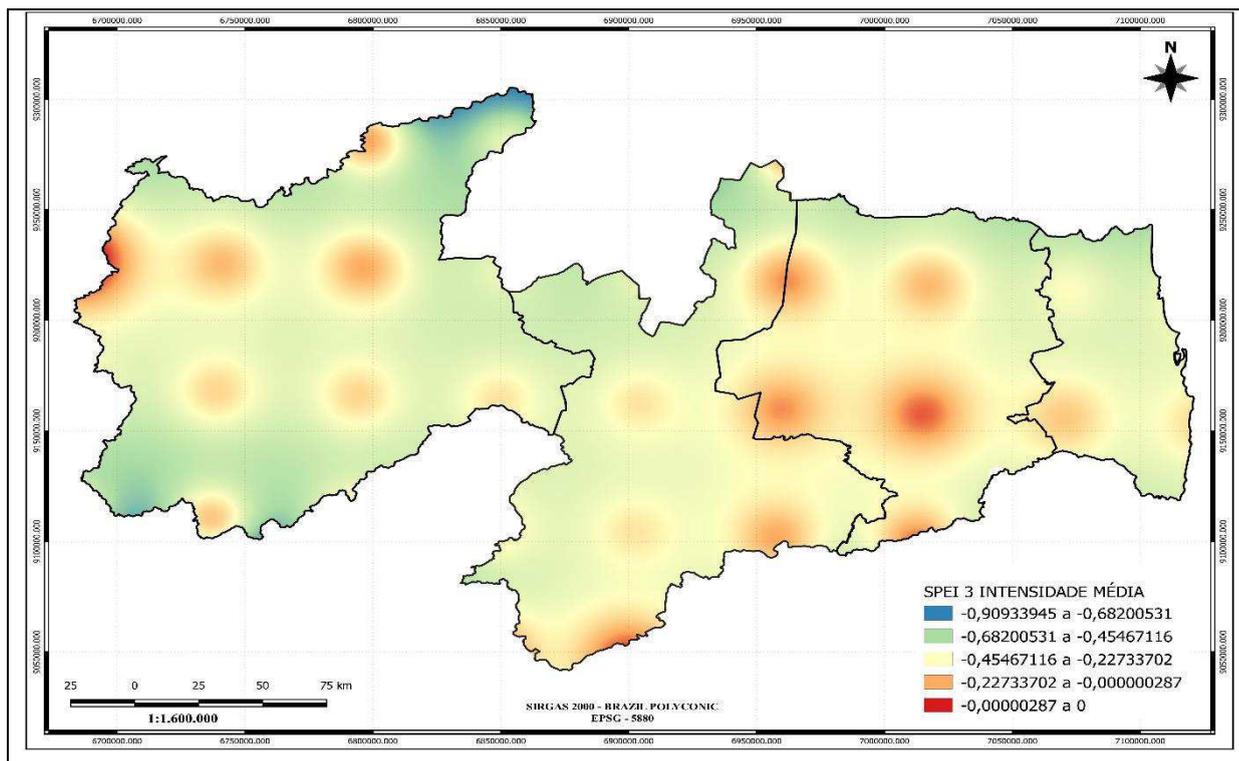


Figura 7 - Espacialização dos Resultados de Duração, Severidade e Intensidade média dos eventos

Em relação a quantidade média de eventos de seca que atingiram as mesorregiões Paraibanas ao longo dos últimos 58 anos, foi possível observar as variações entre os valores em diferentes tipos de secas, quando se analisa secas de curto prazo a quantidade de eventos é bem maior com relação as secas de longo prazo. Com base no SPEI_3, se observou na mesorregião da Borborema que ocorreram em média 45 eventos secos, enquanto o SPEI_24 apresentou uma média de 13 eventos secos. A possível causa dessa configuração pode estar ligada ao período de acumulação de cada índice, quanto menor ele for mais sensível as variações são identificadas. Foi possível perceber que os números de eventos diminuem com o aumento da escala temporal, corroborando com os resultados apresentados por Neto et al., (2021). Essa diferença também foi verificada nas demais mesorregiões.

Ao avaliar a duração e a severidade média dos eventos, notou-se que os resultados entre as características são mais parecidos entre si, mas diferem dos resultados da quantidade de eventos. Com isso os eventos mais duradouros foram os mais severos, mas quanto maior for a quantidade de eventos, mais provável é que esses eventos sejam menos duradouros e severos. Desta forma, enquanto a seca de curto prazo apresentou uma quantidade elevada de eventos se seca, os índices SPEI que caracterizam as secas de médio e longo prazo obtiveram os maiores valores de duração e severidade média.

Ao calcular a intensidade média dos eventos de seca, observou-se que os valores obtidos para os diferentes tipos de seca, curto, médio e longo prazo não são tão diferentes uns dos outros. Para as secas de curto prazo, o evento com maior intensidade média ocorreu ao avaliar o SPEI_3, destacando a mesorregião do Agreste Paraibano com maior intensidade média observada. Esse padrão se manteve para os índices de SPEI_6, SPEI_9, SPEI_12 e SPEI_24 com queda nos valores de intensidade média nessa região se comparado aos dados de SPEI_3. De modo geral as demais mesorregiões apresentaram valores de intensidade média com pouca variação para secas de curto prazo. Para as secas de longo prazo, percebe-se um aumento na variabilidade entre os valores de intensidade média, estes valores se enquadrariam como **Secas Leves** segundo a classificação de Bae et al., (2018) (Tabela 2), porém esses valores médios do período avaliado.

Foi desenvolvida também uma análise do comportamento de cada mesorregião. As tabelas anteriores mostram a quantidade, duração, severidade e intensidade média dos eventos de seca para as mesorregiões da Paraíba em múltiplas escalas temporais. A partir das tabelas é possível perceber que em relação ao número de eventos, há queda considerável nos valores à medida que a escala temporal aumenta.

Para a mesorregião da Mata Paraibana os índices calculados demonstram um período seco recente iniciado em 2018 até final de 2019, nas escalas de 6, 9 e 12 meses. Para escala de 3 meses o período seco mais recente ocorreu de abril de 2019 a dezembro do mesmo ano. Já na escala de 24 meses foi identificado uma seca recente de maio de 2015 a dezembro de 2019.

Esta mesma mesorregião apresentou também como períodos mais severos na escala de 3 meses o período de junho de 1997 a outubro de 1999 com valor de (-41,37), este evento teve intensidade de (-1,47) ficando classificado como moderadamente seco. Na escala de 6 meses o período de dezembro de 1994 a dezembro de 1999 apresentou valor de (-72,37), este evento teve intensidade de (-1,18) ficando classificado como moderadamente seco. Na escala de 9 meses o período de março de 1995 a maio de 2000 apresentou valor de (-77,19), este evento teve intensidade de (-1,22) ficando classificado como moderadamente seco. Na escala de 12 meses o período de abril de 1987 a junho de 1994 apresentou valor de (-101,32), este evento teve intensidade de (-1,16) ficando classificado como moderadamente seco. Na escala de 24 meses agosto o período de 1987 a dezembro de 2003 apresentou valor de (-219,64), este evento teve intensidade de (-1,11) ficando classificado como moderadamente seco.

Analisando a quantidade de meses secos seguidos nesta mesorregião destacou-se a porção norte desta mesorregião. Na escala de 3 meses foi observado 39 meses seguidos secos, estes ocorreram de 05/1987 a 07/1990. Na escala de 6 meses foi observado 61 meses secos seguidos entre 12/1994 a 12/1999. Na escala de 9 meses foi observado 63 meses secos seguidos entre 03/1995 a 05/2000. Na escala de 12 meses foi observado 87 meses secos seguidos entre 04/1987 a 06/1994. Na escala de 24 meses foi observado 197 meses secos seguidos entre 08/1987 a 12/2003. Foi possível observar também que a década dos anos 2000 foi a que mais ocorreu eventos secos em ambas as escalas de tempo na Mesorregião da Mata Paraibana.

Para a mesorregião do Agreste Paraibano (porção Sul) os índices calculados demonstram um período seco recente iniciado em abril de 2019 a dezembro do mesmo ano na escala de 3 meses. Nas escalas de 6, 9 e 12 meses foi observado de julho de 2018 até dezembro de 2019. Já na escala de 24 meses foi identificado uma seca recente de maio de 2015 a dezembro de 2019. Na porção Norte desta mesorregião os índices calculados demonstram um período seco recente iniciado maio de 2019 a dezembro do mesmo ano na escala de 3 e 6 meses. Nas escalas de 9 e 12 meses em julho de 2018 até dezembro de 2019. Já na escala de 24 meses foi identificado uma seca recente de agosto de 2015 a dezembro de 2019.

Esta mesma mesorregião apresentou também como períodos mais severos na escala de 3 meses o período de junho de 1997 a novembro de 1999 (-38,46), este evento teve intensidade de (-1,28) ficando classificado como moderadamente seco. Na escala de 6 meses o período de agosto 1997 a dezembro de 1999 apresentou o valor de (-46,40), este evento teve intensidade de (-1,60) ficando classificado como severamente seco. Na escala de 9 meses o período julho de 1997 a março de 2000 apresentou o valor de (-51,10), este evento teve intensidade de (-1,54) ficando classificado como severamente seco. Na escala de 12 meses o período junho de 1995 a maio de 2000 apresentou o valor de (-61,30), este evento teve intensidade de (-1,02) ficando classificado como moderadamente seco. Na escala de 24 meses o período fevereiro de 1990 a agosto de 2000 apresentou valor de (-144,64), este evento teve intensidade de (-1,13) ficando classificado como moderadamente seco.

Ao analisar a quantidade de meses secos seguidos nesta mesorregião a porção norte apresentou os principais valores: na escala de 3 meses foi encontrado 30 meses seguidos secos, estes ocorreram de 06/1997 a 11/1999 na porção sul da mesorregião. Na escala de 6

meses foi encontrado 32 meses secos seguidos entre 06/1997 a 01/2000. Na escala de 9 meses observou 34 meses secos seguidos entre 06/1997 a 03/2000 e 07/1981 a 04/1984. Na escala de 12 meses foi identificado 87 meses secos seguidos entre 06/1995 a 05/2000. Por fim na escala de 24 meses foi identificado 197 meses secos seguidos entre 04/1988 a 06/1995.

Foi possível verificar que a década dos anos 2000 e 2010 foram as que mais ocorreram eventos secos na escala de 3 meses. Na escala de 6 meses as décadas de 1980, 1990, 2000 e 2010 foram as que mais ocorreram eventos secos. Na escala de 9 meses a década dos anos 2000 e 2010 foi as que mais ocorreram eventos secos. Na escala de 12 meses a década de 1980 foi a que mais ocorreu eventos secos. Por fim na escala de 24 meses destacou a década dos anos 2000 como a que mais ocorreu eventos secos.

Para a mesorregião da Borborema (porção central) os índices calculados demonstram um período seco recente iniciado em maio de 2019 até julho de 2019, na escala de 3 meses. Para escala de 6 meses o período seco mais recente ocorreu de agosto de 2018 a janeiro de 2019. Já a escala de 9 meses identificou uma seca recente de novembro de 2018 a março de 2019. Para escala de 12 meses o período seco mais recente ocorreu de abril de 2019 a julho de 2019. A escala de 24 meses o período seco mais recente ocorreu de dezembro de 2017 a março de 2018. Na porção sul desta mesorregião os índices calculados demonstram um período seco recente iniciado em maio de 2019 até dezembro de 2019 na escala de 3 meses. Para as escalas de 6, 9 e 12 meses o período seco mais recente ocorreu de agosto de 2018 a dezembro de 2019. Já na escala de 24 meses foi identificado uma seca recente de junho de 2015 a dezembro de 2019.

Esta mesorregião apresentou como período seco mais severo na escala de 3 meses junho de 1997 a dezembro de 1999 apresentou valor de (-38,46), este evento teve intensidade de (-1,28) ficando classificado como moderadamente seco. Na escala de 6 meses setembro de 1997 a janeiro de 2000 apresentou valor de (-46,40), este evento teve intensidade de (-1,60) ficando classificado como severamente seco. Na escala de 9 meses agosto de 1997 a abril de 2000 apresentou valor de (-51,10), este evento teve intensidade de (-1,54) ficando classificado como severamente seco. Na escala de 12 meses setembro de 1997 a junho de 2000 apresentou valor de (-54,70), este evento teve intensidade de (-1,60) ficando classificado como severamente seco. Na escala de 24 meses março de 1990 a julho de 2000 apresentou valor de (-144,64), este evento teve intensidade de (-1,13) ficando classificado como moderadamente seco.

Ao analisar a quantidade de eventos secos seguidos nesta mesorregião verificou-se que: na escala de 3 meses foi encontrado 30 meses seguidos secos, estes ocorreram de 07/1997 a 12/1999. Na escala de 6 meses identificou 34 meses seguidos secos entre 09/1981 a 06/1984. Na escala de 9 meses observou 33 meses seguidos secos entre 12/1981 a 08/1984. Na escala de 12 meses observou 33 meses seguidos secos entre 01/1982 a 01/1985. Por fim na escala de 24 meses observou 127 meses seguidos secos entre 03/1990 a 09/2000.

A década dos anos 2000 e 2010 foi a que ocorreu mais eventos secos na escala de 3 meses na mesorregião da Borborema. Na escala de 6 meses a década de 1980 foi a que mais ocorreu eventos secos. Na escala de 9 meses a década dos anos 2000 foi a que mais ocorreu eventos secos. Na escala de 12 meses as décadas de 1990 e 2010 foram as que mais ocorreram eventos secos. Por fim na escala de 24 meses a década dos anos 2000 foi a que mais ocorreu eventos secos.

A mesorregião do Sertão (porção leste) os índices calculados demonstram um período seco recente iniciado em maio de 2019 até julho de 2019 na escala de 3 meses. Para as escalas de 6 meses o período seco mais recente ocorreu de agosto de 2018 a janeiro de 2019. Já a escala de 9 meses identificou uma seca recente de novembro de 2019 a março de 2019. Para escala de 12 meses o período seco mais recente ocorreu de abril de 2019 a julho de 2019. Já na escala de 24 meses foi identificado uma seca recente de dezembro de 2017 a março de 2018.

Na porção norte os índices calculados demonstram um período seco recente iniciado em novembro de 2019 até dezembro de 2019 na escala de 3 meses. Para a escala de 6 meses o período seco mais recente ocorreu de setembro de 2019 a dezembro de 2019. Já a escala de 9 meses identificou uma seca recente de abril de 2016 a janeiro de 2018. Para escala de 12 meses o período seco mais recente ocorreu de setembro de 2018 a novembro de 2018. Já na escala de 24 meses foi identificado uma seca recente de abril de 2016 a março de 2019.

Na porção centro – sul da mesorregião os índices calculados demonstram um período seco recente iniciado em outubro de 2019 até dezembro de 2019, na escala de 3 meses. Para escala de 6 meses o período seco mais recente ocorreu de maio de 2019 a novembro de 2019. Já a escala de 9 meses identificou uma seca recente de setembro de 2019 a dezembro de 2019. Para escala de 12 meses o período seco mais recente ocorreu de julho de 2018 a setembro de

2019. A escala de 24 meses o período seco mais recente ocorreu de abril de 2016 a dezembro de 2019.

A região a leste desta mesorregião apresentou os períodos secos mais severos nas escalas de 3 meses o valor de (-36,75), este evento teve intensidade de (-1,26) ficando classificado como moderadamente seco. Na escala de 6 meses o valor encontrado foi (-42,40), este evento teve intensidade de (-1,57) ficando classificado como severamente seco. Na escala de 9 meses o valor encontrado foi (-43,99), este evento teve intensidade de (-1,41) ficando classificado como moderadamente seco. Na escala de 12 meses o valor encontrado foi (-51,71), este evento teve intensidade de (-0,79) ficando classificado como seco leve. Na escala de 24 meses o valor encontrado foi (-140,47), este evento teve intensidade de (-1,12) ficando classificado como moderadamente seco.

Foi possível observar também a quantidade de meses seguidos secos nesta mesorregião. A porção leste desta mesorregião ocorreu 29 meses seguidos secos na escala de 3 meses, estes ocorreram de 06/1997 a 10/1999. Na escala de 6 meses a região central e norte da mesorregião apresentaram 36 meses seguidos secos entre 05/1981 a 04/1984 e 10/1996 a 09/1999 respectivamente. Já na escala de 9 e 12 meses a região central da mesorregião ocorreram 36 e 64 meses seguidos secos entre 05/1981 a 04/1984 e 05/1979 a 04/1984 respectivamente. A região a leste da mesorregião identificou na escala de 24 meses 125 meses seguidos secos entre 03/1990 a 07/2000.

Foi identificado também que na mesorregião do Sertão a década dos anos 2000 e 2010 foram as que mais ocorreram eventos secos nas escalas de 3 e 6 meses. Nas escalas de 9 e 12 meses a década de 2010 foi a que mais ocorreu eventos secos. Por fim a escala de 24 meses observou a década de 2000 como a que mais ocorreu eventos secos seguidos.

Ao realizar uma breve discussão sobre os resultados obtidos neste trabalho com outros estudos, podemos observar que não foi encontrado muitas diferenças nos resultados. Brito et al (2018) caracterizaram eventos de seca no NEB com base no SPI₁₂ e concluiu uma relação entre a secas prolongadas, intensas e severas entre 1996 – 2001 e 2011 e 2016. Brito et al. (2017) que avaliaram a duração, severidade e frequência de secas no semiárido por quinquênios no período de 1981 a 2016 identificou que o período de 2011 a 2016 foi o que mais sofreu com a seca severa. Outro estudo com pontos semelhantes foi observado no trabalho de Neto et al, (2021) onde eventos com maior intensidade ocorreram ao analisar os

índices nas escalas menores e a mesorregião da Borborema e Agreste foram as mais atingidas pelos eventos secos, se identificando com resultados deste trabalho. Marengo et al., (2017), identificou 6 eventos secos em seu estudo: 1992-1993; 1997-1998; 2001-2002; 2005; 2010 e 2012 – 2016, período também identificado neste trabalho. Neto (2017) identificou em seu trabalho que no período de 2012 a 2016 foi o que ocorreu as secas mais intensas dos últimos 70 anos.

5. ANALISES DAS TENDÊNCIAS

5.1 Apresentações dos Resultados das Análises das Tendências

As Figuras de 8 a 12 exibem os resultados referente as tendências e magnitudes dos eventos de seca no estado da Paraíba no período de 1961 a 2019 nas escalas temporais de 3, 6, 9, 12 e 24 meses. As Figuras (A) referem-se ao teste de Mann Kendall (Z), as Figuras (B) referem-se ao teste de Sen (Q) e as Figuras (C) referem-se ao teste Sen com 95% (p-valor) de confiança.

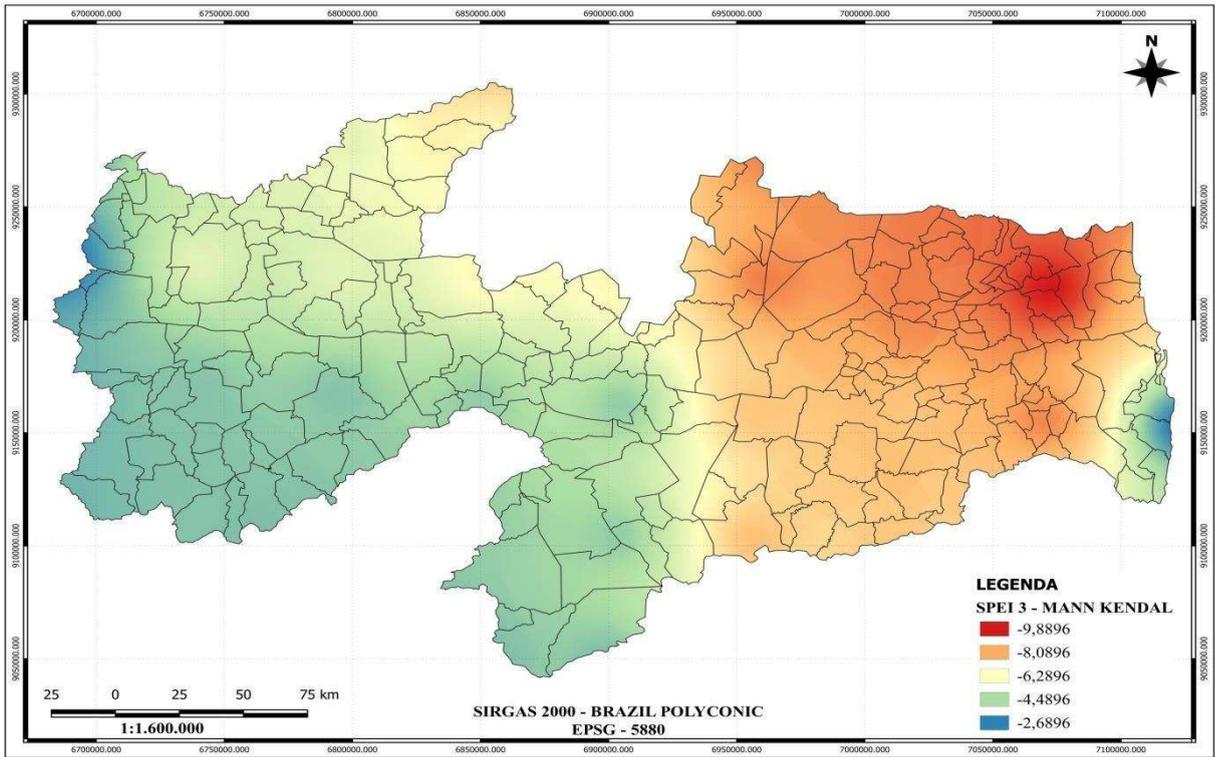
Ao comparar os resultados entre os diferentes índices percebe-se que, de forma geral, os valores de declividade de Sen aumentam à medida que a escala temporal aumenta. Desta forma os resultados mostram que ao avaliar as secas de longo prazo, as séries de comportamento das secas tendem a uma declividade mais acentuada. Foi verificado que em algumas regiões os resultados do teste de Mann-Kendall e o de Sen foram coerentes em ambas as escalas, a mesorregião do Sertão e da Borborema ao avaliar o SPEI_3 mostram declividade suavemente negativas e não apresentam tendências significantes em sua maioria. Este resultado também foi encontrado por Neto et al., (2021). Em outras regiões os resultados foram diferentes, como na mesorregião do Agreste, ao avaliar o SPEI_12, mostrou as declividades negativas mais acentuadas.

Observando de forma mais detalhada, as secas de curto prazo, observou-se que houve variabilidade espacial da declividade de Sen sobre o Estado da Paraíba, percebe-se que a região da Mata Paraibana, mais próximo do litoral apresentou tendências negativas suaves, já a região mais a norte limitando com o Agreste apresentou tendências negativas mais acentuadas, isso em se tratando do SPEI_6. Já na porção Oeste do Agreste e na mesorregião da Borborema, notou-se que os comportamentos das secas tiveram tendências negativas acentuadas em se tratando do SPEI_6.

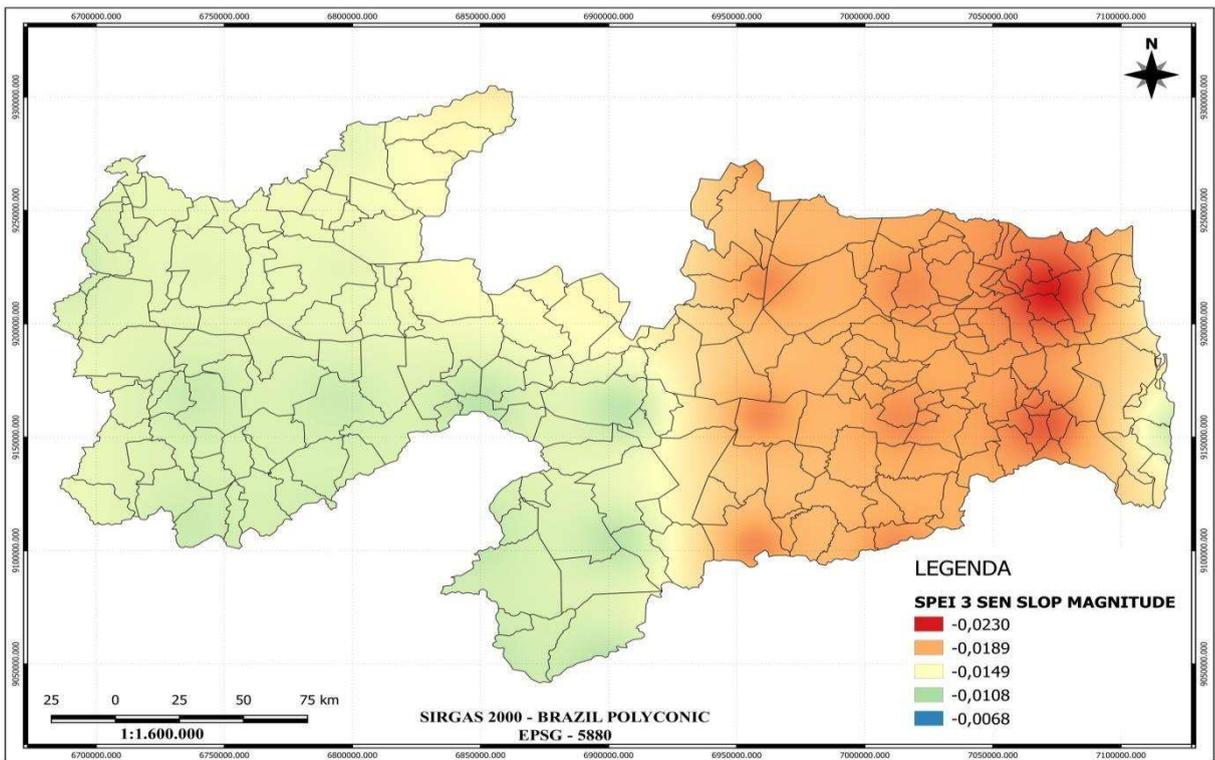
Para as secas de médio prazo os valores das declividades de Sen são maiores se comparados com as de curto prazo. A região entre o Agreste e a Borborema passa a delimitar de forma visível a mudança no comportamento sobre o Estado, a porção a Leste dessa faixa apresenta tendência negativa, enquanto que a zona Oeste tem tendência negativa mais suave. Por fim, para as secas de longo prazo são encontrados os resultados mais extremos das declividades de Sen. No geral seus valores foram superiores aos dos outros tipos de seca. Com isso observou-se que o Estado apresentou tendência negativa e que na região do Agreste essas tendências foram mais notáveis.

Medeiros et al., (2018) avaliou tendências no sertão Paraibano de (1912 – 2012), e concluiu que chuvas tem tendências positivas. Já Neto et al., (2021) identificaram tendências positivas e negativas em seu estudo tendo coerência com os resultados encontrados neste trabalho em algumas regiões estudadas.

A)



B)



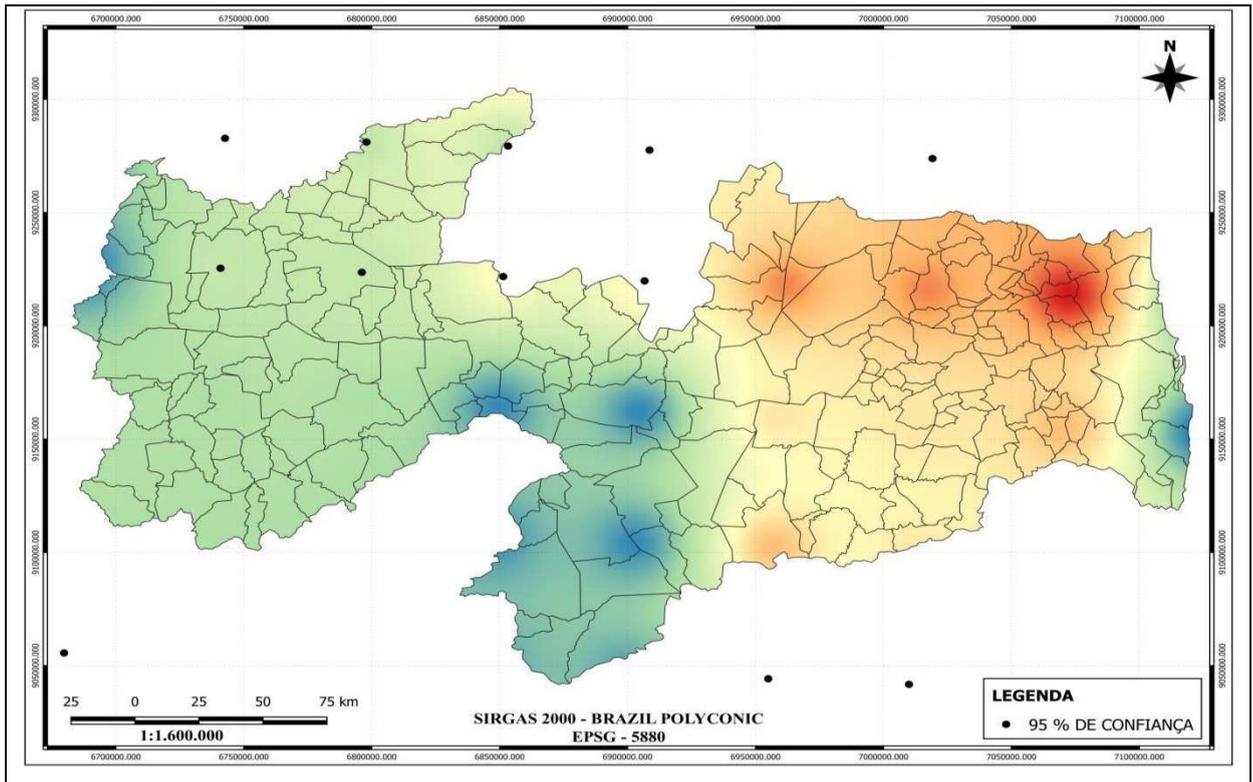
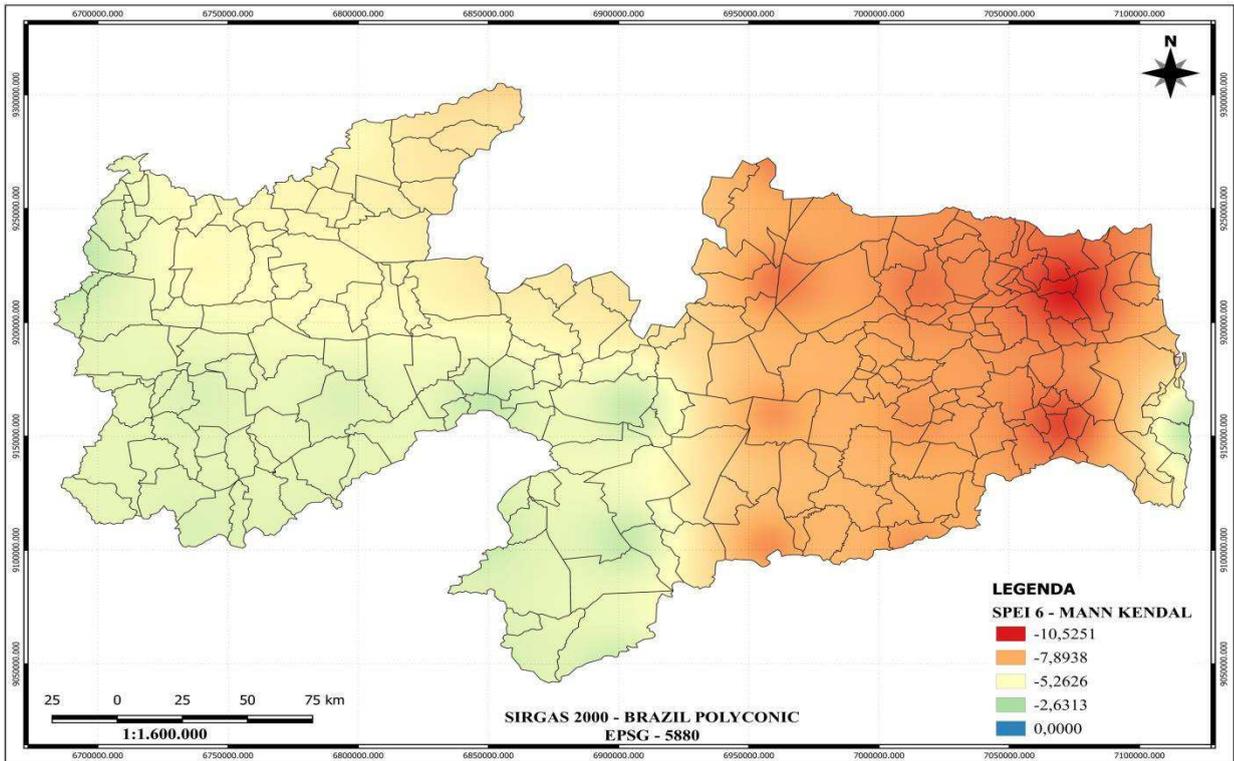
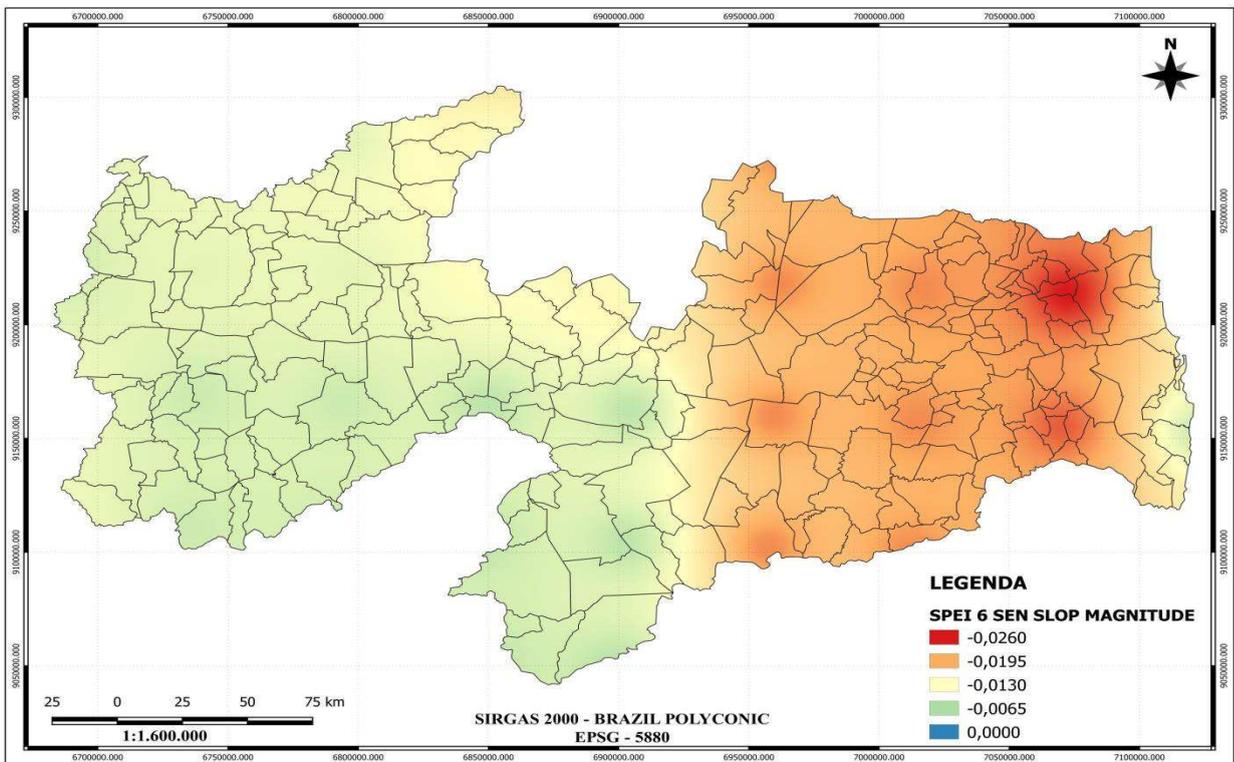


Figura 8 - Análise das tendências SPEI_3 Mann-kendall (A), Sen (B) e Sen 95% (C)

A)



B)



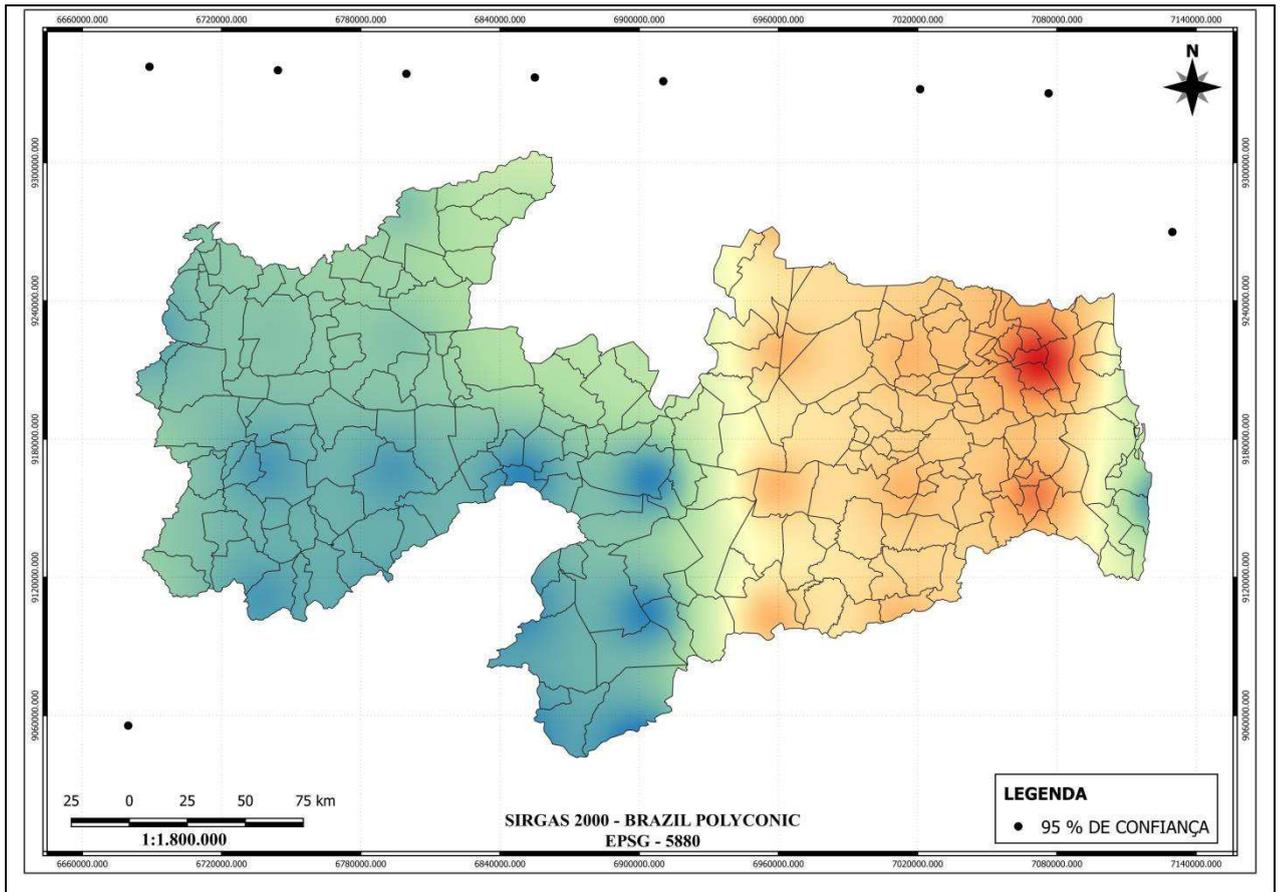
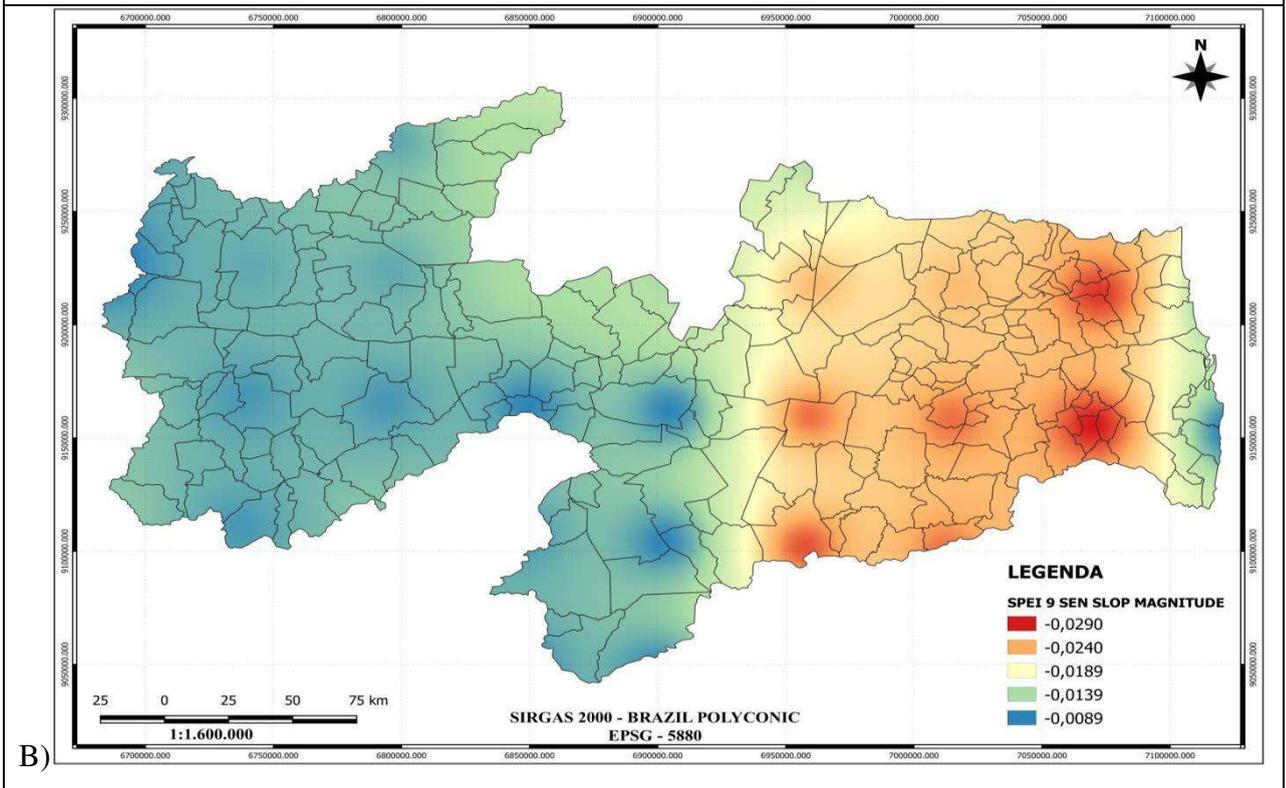
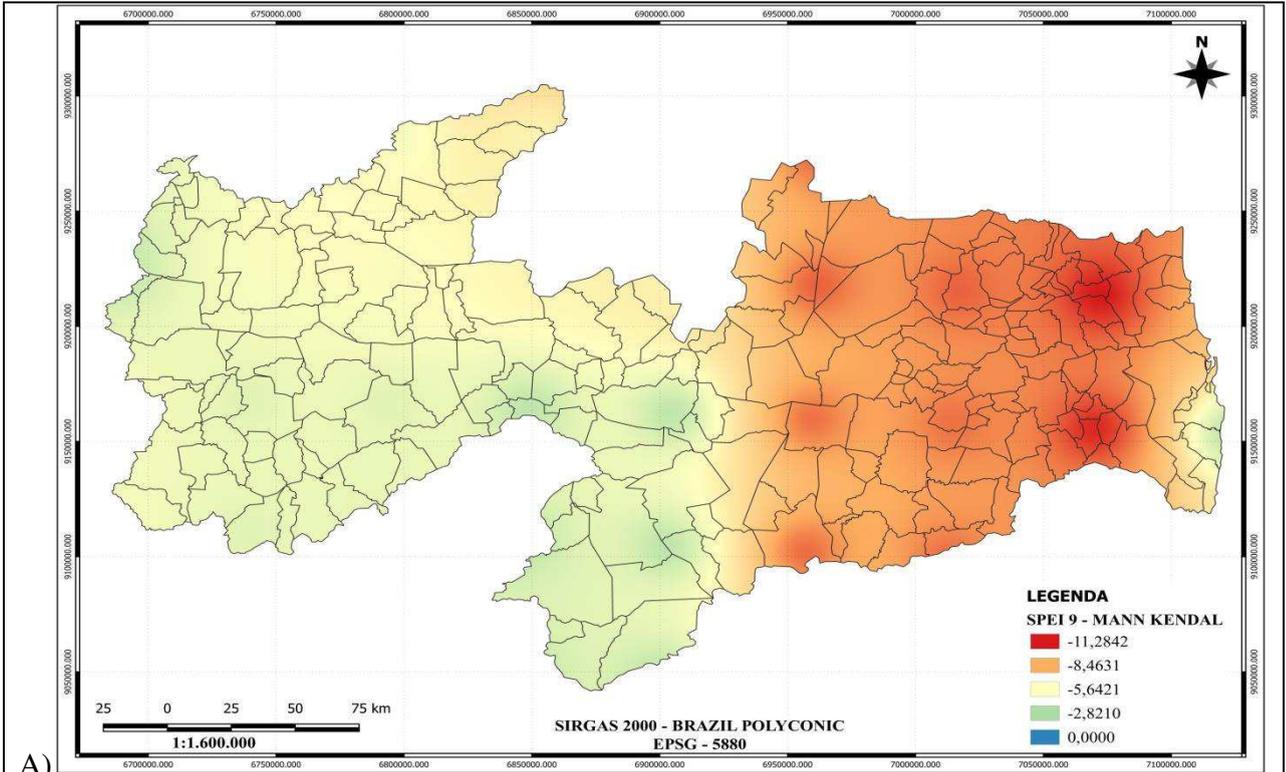


Figura 9- Análise das tendências SPEI_6 Mann-kendall (A), Sen (B) e Sen. 95% (C)



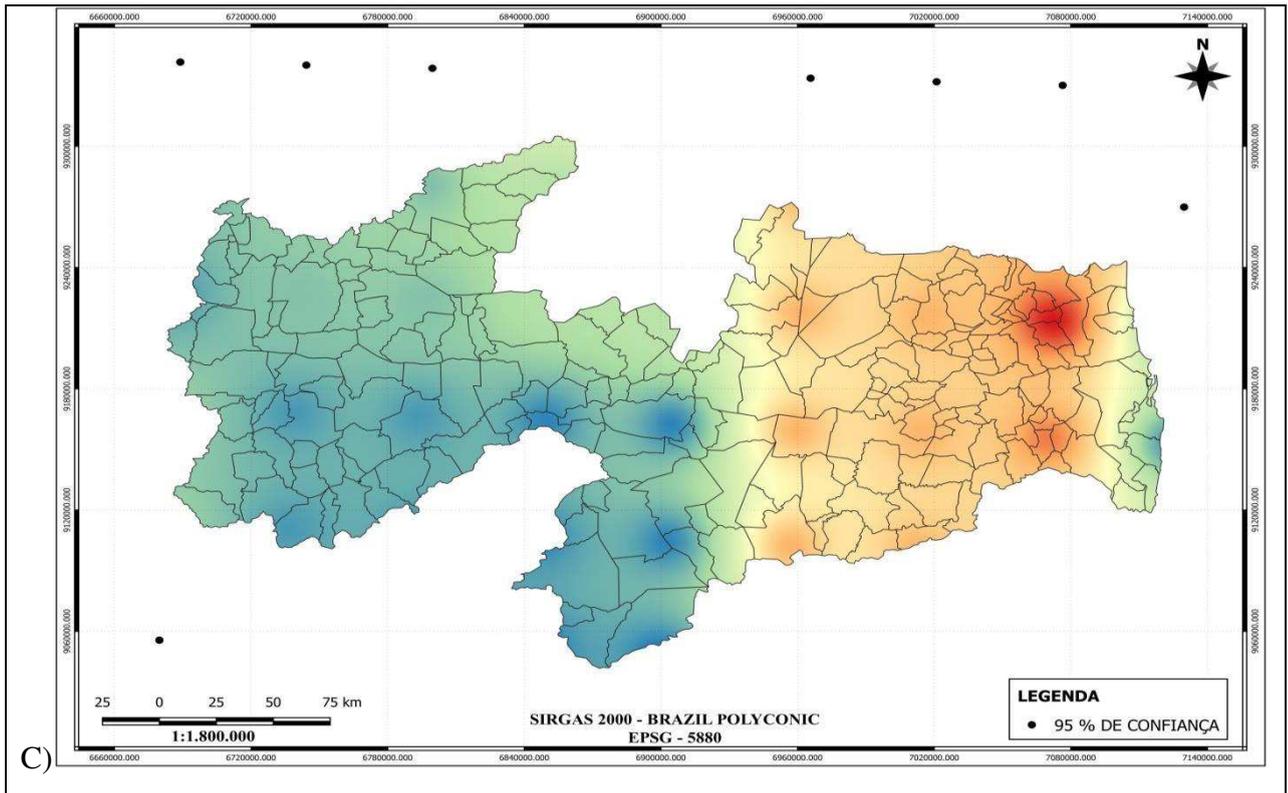
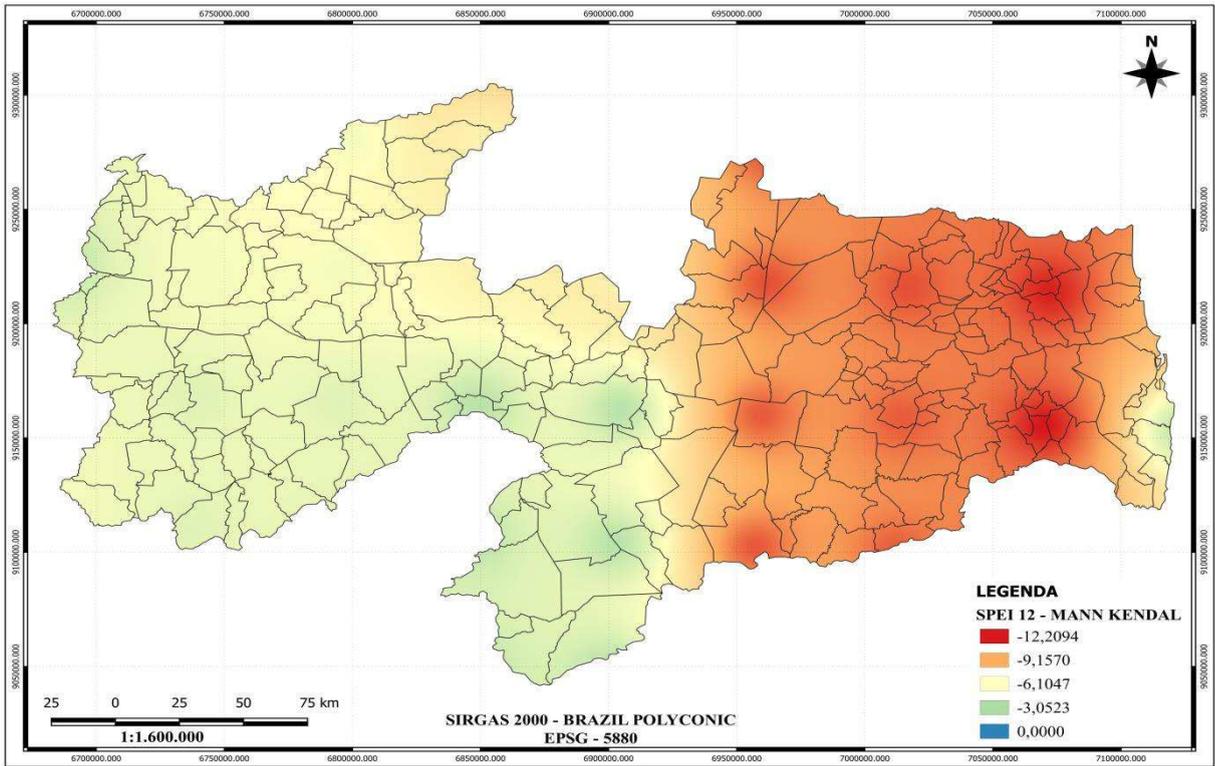
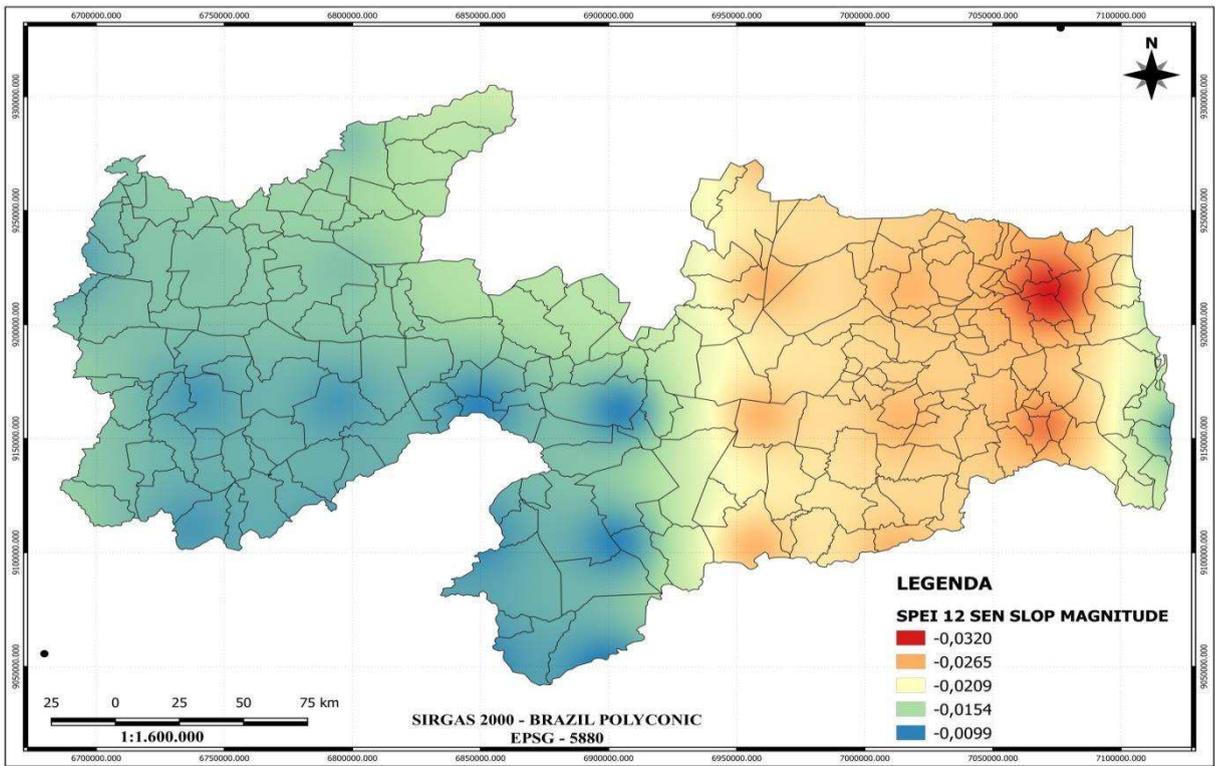


Figura 10 - Análise das tendências SPEI_9 Mann-kendall (A), Sen (B) e Sen. 95% (C)

A)



B)



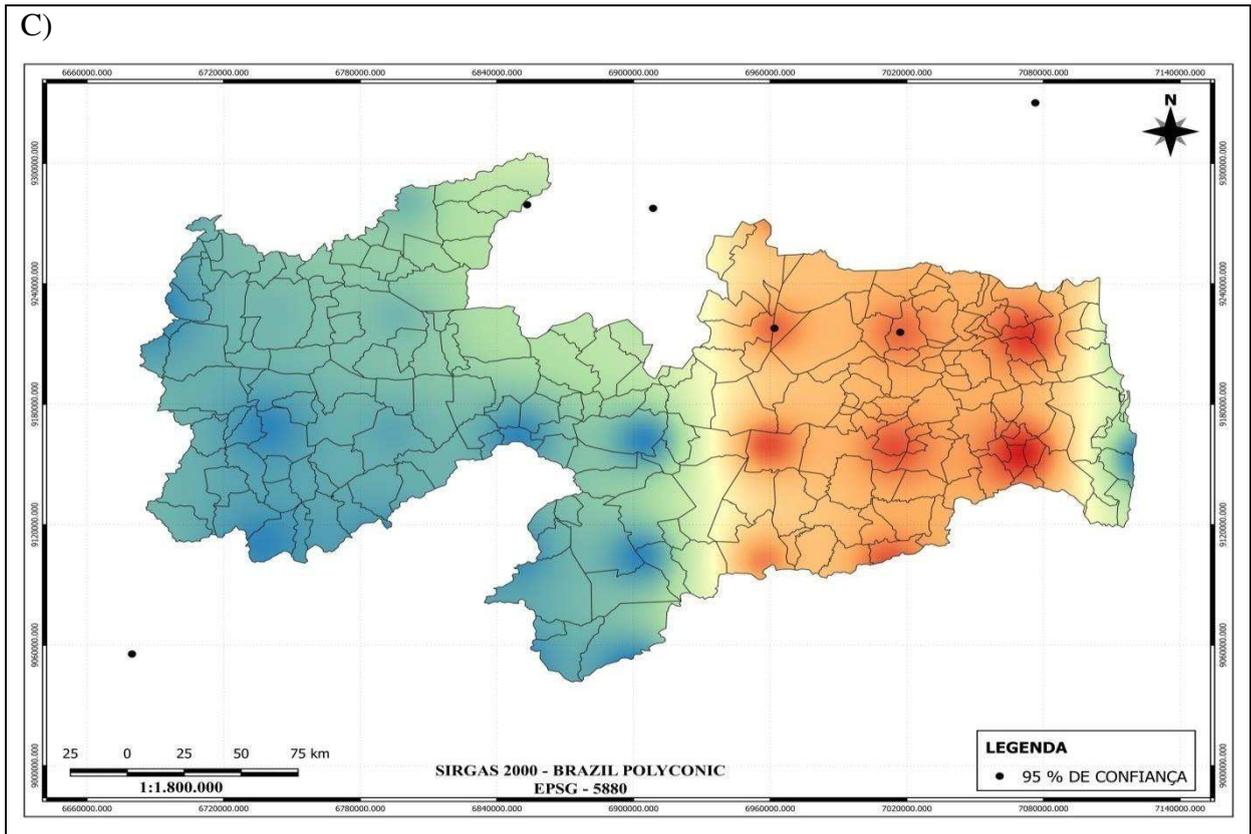
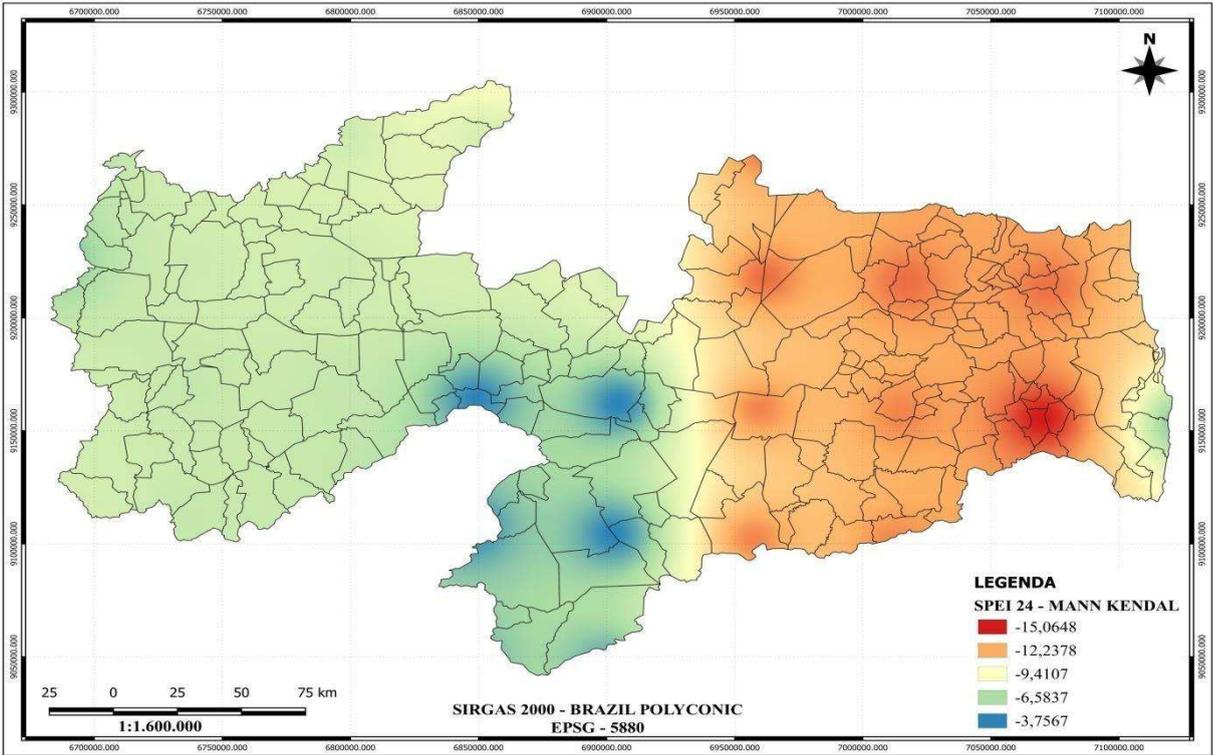
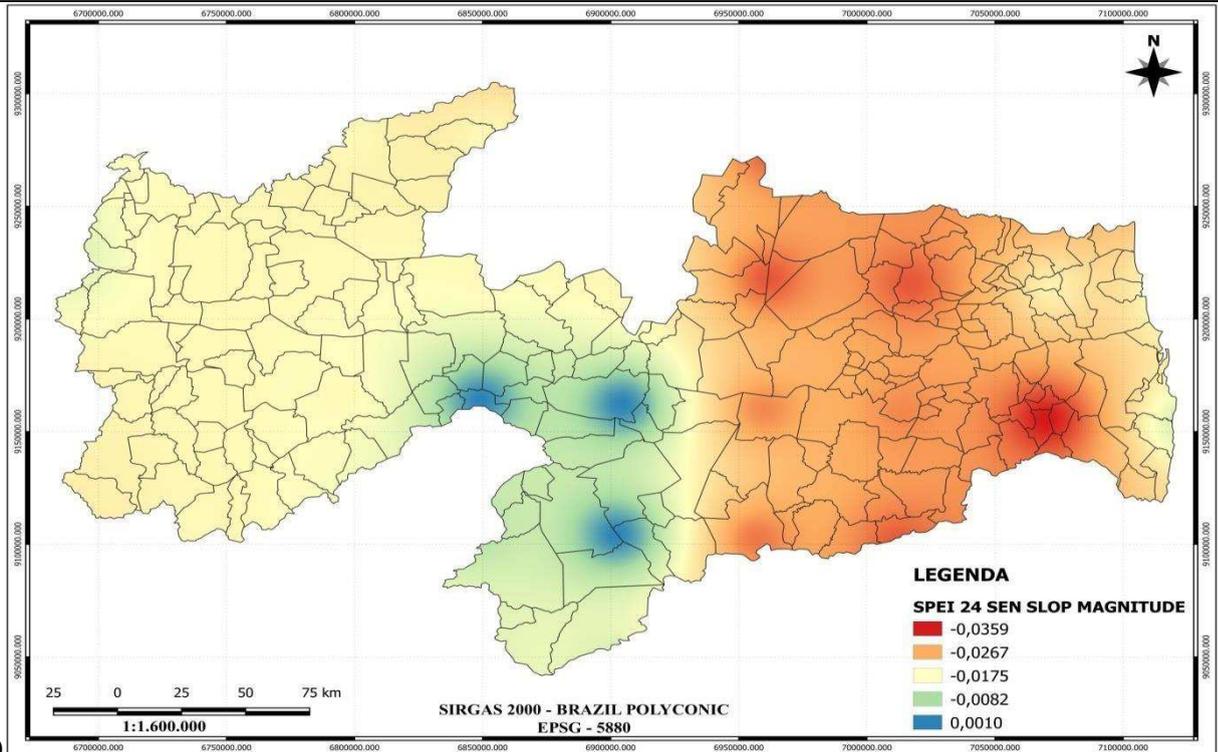


Figura 3 - Análise das tendências SPEI_12 Mann-kendall (A), Sen (B) e Sen 95% (C)

A)



B)



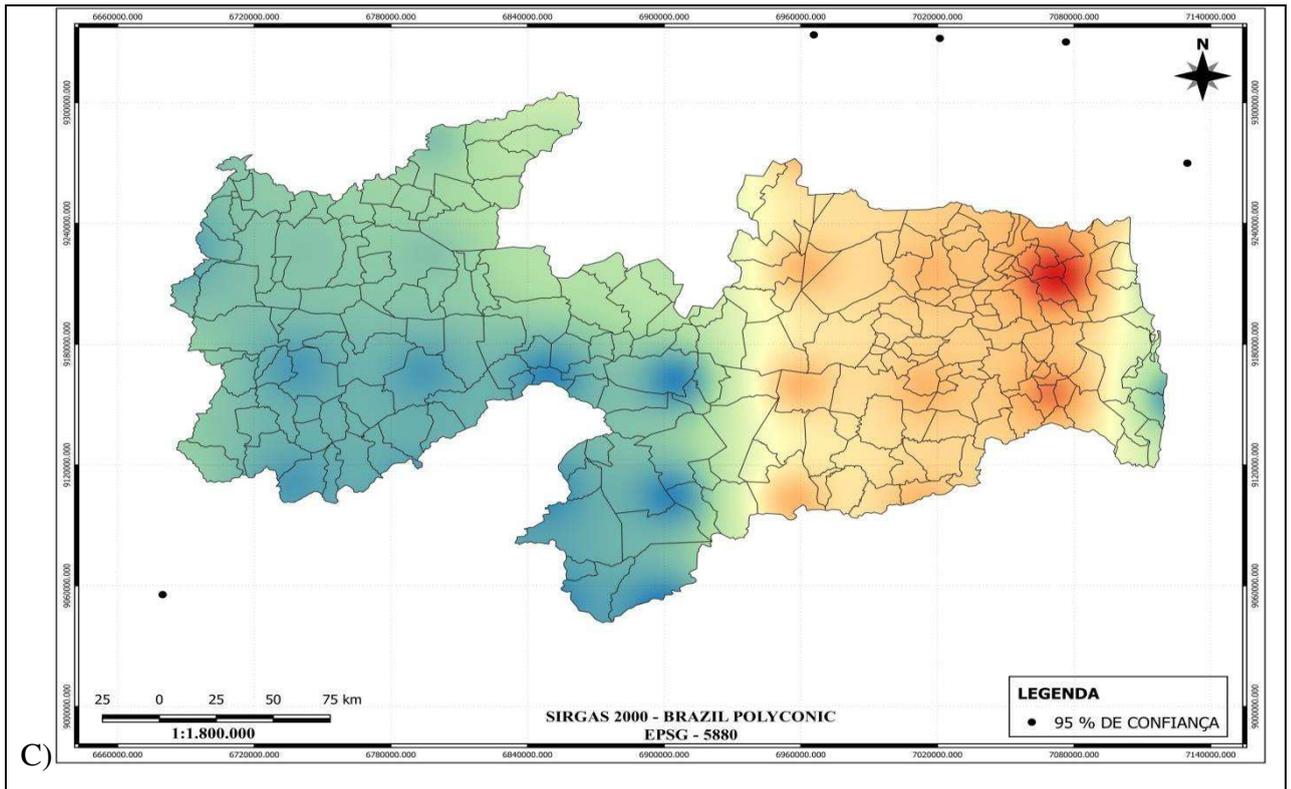


Figura 4 - Análise das tendências SPEI_24 Mann-kendall (A), Sen (B) e Sen 95% (C)

6. CONCLUSÕES

A seca é um dos fenômenos naturais que mais impactam o NEB, afetando a parte econômica, ambiental e social das populações. Assim a escassez de alimentos e falta de água para o consumo humano são alguns dos principais problemas enfrentados. Devido a esta problemática, este estudo buscou fornecer uma análise das características das secas em múltiplas escalas temporais ocorridas entre 1961 a 2019 no Estado da Paraíba. Para isso foram analisadas as características de quantidade média de eventos secos, duração, severidade, intensidade e frequência das secas, utilizando o banco de dados do SPEIbase recuperado do site do monitor global de secas.

Os índices de seca obtidos a partir deste produto avaliaram as secas em curto, médio e longo prazo e evidenciaram um aumento desse fenômeno nas últimas décadas, sendo mais acentuada a mesorregião do Agreste Paraibano.

No tocante às escalas temporais, verificou-se que as secas de médio prazo foram as que apresentaram os resultados mais expressivos. Sobre a caracterização dos eventos, as secas de curto prazo apresentaram os maiores números de eventos, porém estes foram menos duradouros e menos severos se comparados aos eventos das secas de longo prazo. A intensidade média dos eventos não apresentou grandes variações em ambas as escalas de tempo. Já a frequência dos eventos destacou os eventos de curta escala.

Com os resultados obtidos dos testes de tendência, verificaram-se quais locais (mesorregiões) apresentaram as maiores magnitudes e foi identificado que as regiões apresentaram comportamentos heterogêneos.

Por fim destaca-se que para fazer uma análise mais global e ampla dos índices padronizados, como recomenda Mckee (1993) deve-se realizar análises com demais escalas, as menores para eventos mais restritos e as escalas maiores para eventos mais longos. Baseado nos resultados obtidos, o SPEI mostrou-se como uma ferramenta importante para caracterização de eventos de seca em diversas escalas temporais auxiliando na gestão dos recursos hídricos, na realização da proteção ambiental, na produção de alimentos e útil para os formuladores de política e tomadores de decisão na compreensão da seca e elaboração de projetos futuros.

7. REFERÊNCIAS

Abramowitz, M. and I.A Stegun, 1965: Handbook of Mathematical Functions. Dover Publications, New York.

ANDRADE, ALAN SULATO DE. **Introdução ao projeto de máquinas**. Paraná. Universidade Federal do Paraná, 2010.

BAE, Seungjong et al. Analysis of drought intensity and trends using the modified SPEI in South Korea from 1981 to 2010. **Water**, v. 10, n. 3, p. 327, 2018.

BEGUERÍA, SANTIAGO; VICENTE-SERRANO, SERGIO M.; ANGULO-MARTÍNEZ, MARTA. A multiscalar global drought data set: the SPEIbase: a new gridded product for the analysis of drought variability and impacts. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 91, n. 10, p. 1351-1354, 2010.

BLAIN, GABRIEL CONSTANTINO, AND MARY TOSHIEKAYANO. **"118 anos de dados mensais do Índice Padronizado de Precipitação: série meteorológica de Campinas, Estado de São Paulo."** *Revista Brasileira de Meteorologia* 26.1 (2011): 137-148.

BRASIL NETO, REGINALDO MOURA et al. Avaliação da seca e de suas características sobre o Estado da Paraíba utilizando dados TRMM e de pluviômetros (1998–2017). 2020.

BRITO, S.S.B.; CUNHA, A.P.M.A.; CUNNINGHAM, C.C.; ALVALÁ, R.C.S.; MARENGO, J.A.; CARVALHO M.A. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. *Int. J. Climatol.* v. 38, p. 517–529, Aug. 2017.

BRITO, Natilene Mesquita et al. Validação de métodos analíticos: estratégia e discussão. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 13, 2003.

BYAKATONDA J., PARIDA B.P., MOALAFHI D.B. E KENABATHO P.K. 2018. Analysis of long-term drought severity characteristics and trend sacrosssemiarid Botswana using two drought indices. *Atmospheric Research*, 213, 492–508. doi: 10.1016/j.atmosres.2018.07.002

CALOIERO, T. et al. An Analysis of the Occurrence Probabilities of Wet and Dry Periods through a Stochastic Monthly Rainfall Model *Water*, 2016.

CAMPOS, JOSÉ NILSON B., ANDTM DE C. STUDART. "Secas no Nordeste do Brasil: origens, causas e soluções." **XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**,(CDROM). Foz do Iguaçu, PR. 2002.

CAMPOS, JOSÉ NILSON BESERRA. "Vulnerabilidade do semi-árido às secas, sob o ponto de vista dos recursos hídricos." **Projeto Áridas RH** (1995).

CAMPOS, JOSÉ NILSON BEZERRA. "Vulnerabilidades hidrológicas do semi-árido às secas." **Planejamento e Políticas Públicas** 16 (2009).

CARDIM, F. *Tratados da Terra e Gente do Brasil*. Rio de Janeiro: J. Leite & Cia, 1925. Texto com nota de Batista Caetano, Capistrano de Abreu e Rodolfo Garcia. Disponível em: <<http://www.brasiliana.usp.br/bbd/handle/1918/02119000>>.

CARDIM, FERNÃO. **Tratados da Terra e Gente do Brasil**. Hedra, 2009.

CHANDA, K.; MAITY, R. Meteorological Drought Quantification with Standardized Precipitation Anomaly Index for the Regions with Strongly Seasonal and Periodic Precipitation. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 20, n. 12, p. 6015007, 2015.

CHANG, T. J., AND X. A. CLEOPA, 1991: A proposed method for drought monitoring. *Water Resour. Bull.*, **27**, 275–281.

CHEN, H.; SUN, J. Changes in drought characteristics over china using the standardized precipitation evapotranspiration index. **Journal of Climate**, v. 28, n. 13, p. 5430–5447, 2015.

DA SILVA, FERNANDO MOREIRA; DOS SANTOS CHAVES, MARCELO; LIMA, ZULEIDE MARIA C. *Sistemas sinóticos e classificação climática*. 2011.

DANTAS, TÚLIO VINICIUS PAES; RIBEIRO, ADAUTO DE SOUZA. Florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea das Areias Brancas do Parque Nacional Serra de Itabaiana/Sergipe, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 33, n. 4, p. 575-588, 2010.

DAS, P. K. et al. Trends and behaviour of meteorological drought (1901–2008) over Indian region using standardized precipitation–evapotranspiration index. **international Journal of Climatology**, v. 36, n. 2, p. 909–916, 1 fev. 2016.

DASHTPAGERDI M.M., KOUSARI M.R., VAGHARFARD H., GHONCHEPOUR D., HOSSEINI M.E. E AHANI H. 2018. An investigation of drought magnitude trend during 1975–2005 in arid and semi-arid regions of Iran. **Environmental Earth Sciences**, 73(3), 1231–1244. doi: 10.1007/s12665-014-3477-1

DE ARAÚJO, Lincoln Eloi; BECKER, Carmem Terezinha; DE LIMA PONTES, Alana. **Periodicidade da precipitação pluviométrica no estado da Paraíba**. 2003.

DE MEDEIROS, RAIMUNDO MAINAR; CAVALCANTI, ENILSON PALMEIRA; DE MEDEIROS DUARTE, JAQUELINE FERNANDES. Classificação Climática De Köppen Para O Estado Do Piauí–Brasil. **Revista Equador**, v. 9, n. 3, p. 82-99, 2020.

DE MEDEIROS, RAIMUNDO MAINAR; DE HOLANDA, ROMILDO MORANT; ALEXANDRE, MIRELLA. Climate classification in Köppen model for the state of Pernambuco-Brazil. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 3, 2018.

DE MELO, JOSEMIR CAMILO. "O fenômeno El Niño e as secas no nordeste do Brasil." **Raízes, (SI)**, ano XVIII 20 (1999): 13-42.

DE NYS, E., N. L. ENGLE, AND A. R. MAGALHÃES. "Secas no Brasil: política e gestão proativas." **Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos-CGEE** (2016): 292.

DERECZYNSKI CP, OLIVEIRA JS, MACHADO CO. Climatologia da Precipitação no Município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia** 2009; 24 (1): 24-38.

DOS SANTOS BATISTA, LUCAS; DE AZEVEDO GONÇALVES, AMANDA. Estudo Do Regime Das Precipitações Máximas E Mínimas Das Zonas Climáticas Do Litoral E Semiárido Do Estado De Sergipe, 2015.

FARHANGI M., KHOLGHI M. E CHAVOSHIAN S.A. 2016. Rainfall Trend Analysis of Hydrological Subbasins in Western Iran. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 142(10), 1–11.

FAVERO, EVELINE, AND VIVIEN DIESEL. "A seca enquanto um hazard e um desastre: uma revisão teórica." **Aletheia** 27 (2008): 198-209.

FAVERO, EVELINE. "O impacto psicossocial das secas em agricultores familiares do Rio Grande do Sul: um estudo na perspectiva da psicologia dos desastres." (2012).

FECHINE, J. A. (2015) Identificação de secas meteorológicas na região metropolitana de Fortaleza, usando o índice de precipitação padronizada (SPI). **Boletim de Geografia**, v. 33, n. 2, p. 18-33.

FERRARI, A. L. Variabilidade e tendência da temperatura e pluviosidade nos municípios de Pirassununga, Rio Claro, São Carlos e São Simão (SP): Estudo sobre mudança climática de curto prazo em escala local. Tese. Universidade de São Paulo - USP. São Carlos/SP, 156 p, 2012.

FRANCHITO, S. H.; RAO, V. B.; VASQUES, A. C.; SANTO, C. M. E.; CONFORTE. J. C. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, n. D2, p. 1-9, 2009.

FRANCISCO, PAULO ROBERTO MEGNA et al. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 04, p. 1006-1016, 2015.

FREITAS, KÁTIA GONÇALVES DE. Agricultura Irrigada e (DES) construção de Territórios – O caso de São Gonçalo, Sousa/PB. **Dissertação de Mestrado**. UFPB, Campina Grande, 1999.

GUTTMAN, NB , 1998 : Comparando o Índice de Seca de Palmer e o Índice de Precipitação Padronizado. *J. Amer. Recursos hídricos. Assoc.* , **34** , 113 – 121.

HAYES, MICHAEL J. et al. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. **Bulletin of the American meteorological society**, v. 80, n. 3, p. 429-438, 1999.

HEIM JR, Richard R. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 83, n. 8, p. 1149-1166, 2002.

Hosking, JRM “L-Moments: Analysis and Estimation of Distributions using Linear Combinations of Order Statistics”. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, vol. 52, n o 1, Setembro de 1990, p. 105–24. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1990.tb01775.x>.

HUFFMAN, G. J.; BOLVIN, D. T.; NELKIN, E. J.; WOLFF, D. B.; ADLER, R. F.; GU, G.; HONG, Y.; The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. **J. Hydrometeorol.**, v. 8, n. 1, p. 38-55, Feb. 2007.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2016. Divisão regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas territorial brasileira. Disponível em: http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv2269_1.pdf. Rio de Janeiro. Acesso: 01 de Dezembro 2020.

KENDALL, M. G. Rank Correlation Methods. New York: **Oxford University Press**, 1975.

KHAN, S. , HF GABRIEL E T. RANA, 2008 : Índice de precipitação padrão para rastrear a seca e avaliar o impacto das chuvas nos reservatórios de água nas áreas de irrigação. **Irrig. Drenar. Syst.** , 22 , 159 - 177 .

KIST, A.; FILHO, J. S. DAS V. Análise probabilística da distribuição de dados diários de chuva no estado do Paraná. **Revista Ambient. Água**, v. 10, n. 1, p. 172–181, 2014.

KOPPEN, W. Versucheiner Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. **Geographic Zeitschrift**, stuttgart, v. 6, p. 657-679, 1900.

LOITZENBAUER, ESTER, ANDKATIÚCIA ADAM. "Análise Espacial Da Precipitação Média Mensal Na Sub-Bacia Do Taboão (Rs), Durante Os Anos De 2001 A 2008." **XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS (2011)**.

MANN, SH. B. Non parametric Tests Against Trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945.

MARENGO, J. A. et al. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 12, p. 1–5, 2011.

MARENGO, JOSE A. "Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil." *Parcerias estratégicas* 13.27 (2010): 149-176.

MARENGO, JOSE A., ANA P. CUNHA, AND LINCOLN M. ALVES. "A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico." **Revista Climanalise** 3 (2016): 49-54.

MARTINS, E.S.P.R.; DE NYS, E.; MOLEJÓN, C.; BIAZETO, B.; SILVA, R.F.V. *et al* Monitor de Secas do Nordeste, em busca de um novo paradigma para a gestão de secas. Brasília: Banco Mundial, **Série água**, v. 10, n. 106302, p. 1-128, 2015.

MCKEE, TB , NJ DOESKEN E J. KLEIST, 1993 : A relação entre frequência e duração da seca e escalas de tempo. Preprints, **Oitava Conf. em Climatologia Aplicada**. Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc. 179-184.

MEDEIROS S.E.L., ABRAHÃO R., GARCÍA-GARIZÁBAL I., PEIXOTO I.M.B.M. E SILVA L.P. 2018. Assessment of Precipitation Trends in the Sertão Paraibano Mesoregion. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 33(2), 344–352. doi: 10.1590/0102-7786332016

MEDEIROS, SALOMÃO DE S., et al. "Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil." **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 9.2 (2005): 247-255.

MITCHELL J.M., DZEERDZEEVSKII B., FLOHN H., HOFMEYR W.L., LAMB H.H., RAO K.N. E WALLÉN C.C. 1966. Climate Change. Technical Note No. 79, World Meteorological Organization, Geneva.

NETO, REGINALDO MOURA BRASIL, et al. "Geospatial cluster analysis of the state, duration and severity of drought over Paraíba State, northeastern Brazil." **Science of the Total Environment** (2021): 149492.

NÓBREGA, R. S.; SOUZA, E. P.; GALVÍNCIO, J. D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental. **Rev. Geografia**, v. 25, n. 1, p. 6-20, jan./abr. 2008.

OLIVEIRA JÚNIOR, JOSÉ FRANCISCO, et al. "Análise da precipitação e sua relação com sistemas meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro." **Floresta e Ambiente** 21.2 (2014): 140-149.

OTKIN, J. A. et al. Assessing the evolution of soil moisture and vegetation conditions during the 2012 United States flash drought. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 218–219, p. 230–242, 2016.

PALMER, WC , 1965 : Secas meteorológicas. Departamento de Comércio dos EUA, Weather Bureau Research Paper 45, 58 pp.

PATEL, NR , P. CHOPRA E VK DADHWAL, 2007 : Analisando padrões espaciais de seca meteorológica usando índice de precipitação padronizado. *Meteoro. Appl.* , **14** , 329 – 336.

POTOP et al., 2014
V. POTOP , C. BORONEANȚ , M. MOŽNÝ , P. ŠTĚPÁNEK , P. SKALÁK Características espaço-temporais observadas de seca em várias escalas de tempo na República Tcheca *Theor. Appl. Climatol.* , 115 (3-4) (2014) , pp. 563 - 581 , 10.1007 / s 00704-013-0908-y

PORTELA, M.M.; QUINTELA, A.C.; SANTOS, J.F.; VAZ, C; MARTINS, C. Tendências em séries temporais de variáveis hidrológicas. Associação Portuguesa de Recursos Hídricos (APRH), v. 32, n. 1, p. 43-60, 2011.

RIBEIRO NETO, Germano Gondim. Monitoramento e caracterização de secas da América do Sul com sensoriamento remoto. 2017.

SANTOS C.A.G., BRASIL NETO R.M., SILVA R.M. E PASSOS J.S.A. 2018. Integrated spatiotemporal trends using TRMM 3B42 data for the Upper São Francisco River basin, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(3), 175–194. doi: 10.1007/s10661-018-6536-3

SANTOS C.A.G., BRASIL NETO R.M., SILVA R.M. E SANTOS D.C. 2019b. Innovative approach for geospatial drought severity classification: a case study of Paraíba state, Brazil. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 33(2), 545–562. doi: 10.1007/s00477-018- 1619-9

SILVA NÓBREGA, RANYÉRE, CHAGAS FELIPE SANTIAGO, AND GABRIELA AYANE. "Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil." *Revista de geografia Norte Grande* 63 (2016): 9-26.

SOARES A.S.D., DA PAZ A.R E PICCILLI D.G.A. 2016. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21(2), 288–299. doi: 10.21168/rbrh.v21n2.p288-299

SOARES, ALEXLEIDE SANTANA DINIZ, ADRIANO ROLIM DA PAZ, AND DANIEL GUSTAVO ALLASIAPICCILLI. "Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba." *RBRH* 21.2 (2016): 288-299.

STAGGE, J.; TALLAKSEN, L. Standardized precipitation - evapotranspiration index (SPEI): Sensitivity to potential evapotranspiration model and parameters. **International Association of Hydrological Sciences (IAHS)**, v. 10, n. October, p. 367–373, 2014.

TAO, H.; FRAEDERICH, K.; MENZ, C.; ZHAI, J. Trends in extreme temperature indices in the Poyang Lake Basin, China. *Stoch. Environ. Res. Risk Asses.*, v. 28, p. 1543-1553, 2014.

VICENTE-SERRANO ET AL., 2012A SM VICENTE SERRANO, S. BEGUERÍA, L. GIMENO, L. EKLUNDH, G. GIULIANI, D. WESTON, et al. Desafios para mitigação de secas na África: o uso potencial de dados geoespaciais e sistemas de informação de secas *Appl. Geogr.*, 34 (2012), pp. 471 – 486

VICENTE-SERRANO ET AL., 2012 BSM VICENTE-SERRANO, S. BEGUERÍA, J. LORENZO-LACRUZ, JJ CAMARERO, JI LÓPEZ-MORENO, C. AZORIN-MOLINA, A. SANCHEZ-LORENZO Desempenho dos índices de seca para aplicações ecológicas, agrícolas e hidrológicas *Earth Interact.*, 16 (10) (2012), 10.1175 / 2012EI000434.1

VICENTE-SERRANO S.M., BEGUERÍA S. E LÓPEZ-MORENO J.I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. **Journal of Climate**, 23(7), 1696–1718.

VICENTE-SERRANO, SERGIO M., SANTIAGO BEGUERÍA, AND JUAN I. LÓPEZ-MORENO. "A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index." *Journal of climate* 23.7 (2010): 1696-1718.

VICENTE-SERRANO, SM, 2007 : Avaliando o impacto da seca usando sensoriamento remoto em uma região semi-árida do Mediterrâneo. *Nat. Perigos*, 40, 173 - 208 .

VICENTE-SERRANO, SM, JM CUADRAT-PRATS E A. ROMO, 2006 : Previsão antecipada de produções agrícolas usando índices de seca em diferentes escalas de tempo e

dados de sensoriamento remoto: Aplicação no Vale do Ebro (nordeste da Espanha). *Int. J. Remote Sens.* , **27** , 511 - 518 .

VIRGENS FILHO, J. S. DAS et al. Desempenho dos modelos CLIGEN, LARS-WG e PGECLIMA_R na simulação de séries diárias de temperatura máxima do ar para localidades do estado do Paraná. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 3, p. 538–547, 2013.

WAGNER, P. D.; FIENER, P.; WILKEN, F.; KUMAR, S.; SCHNEIDER, K. Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. **J. Hydrol.**, v. 464-465, p. 388-400, Sept. 2012.

WELLS, N. , S. GODDARD E MJ HAYES, 2004 : Um índice de severidade da seca auto-calibrável de Palmer. **J. Clima** , 17 , 2335 - 2351 .

WMO; GWP. Hand book of drought indicators and indices. Genebra, Suíça: 2016.

World Meteorological Organization. (2006). Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges.

ZOTARELLI, Lincoln et al. Step by step calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method). **Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida**, 2010.

Endereços de Internet

DANA, Agência Nacional das águas e Saneamento Básico. **Portal HidroWeb da ANA 2020a**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>
Acesso em: 14set. 2021.
<http://monitordesecas.ana.gov.br/>

SEI – SUPERINTENDENCIA DE ESTUDOS ECONOMICOS E SOCIAIS DA BAHIA (1998). Disponível em
:<https://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/mapas/pdf/tipologia_climatica_segundo_kopp_en_2014.pdf>. Acessado em 13.08.2020

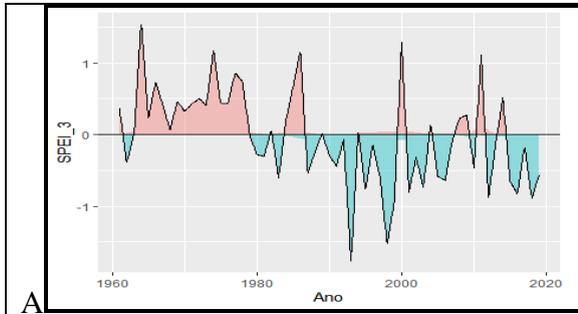
SPEI Global Seca Monitor, disponível em,

<https://spei.csic.es/map/maps.html#months=1#month=6#year=2020>. Acessado em 20.04.2020

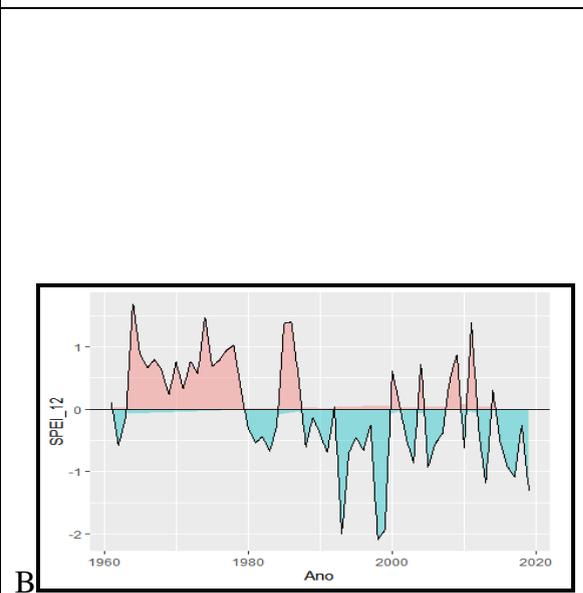
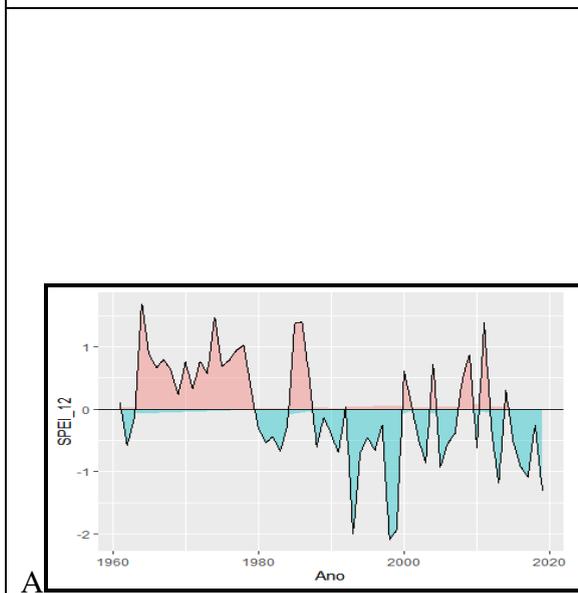
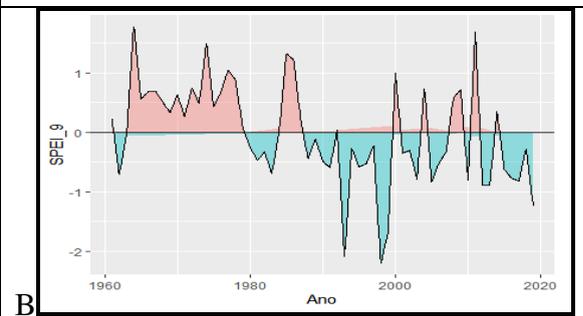
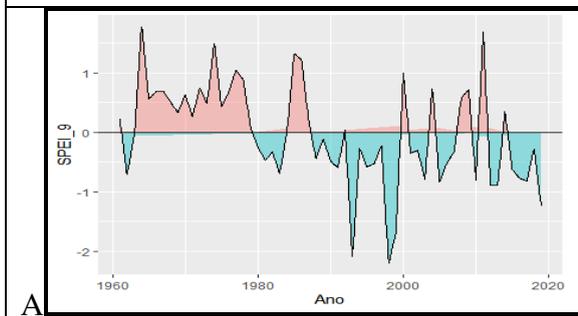
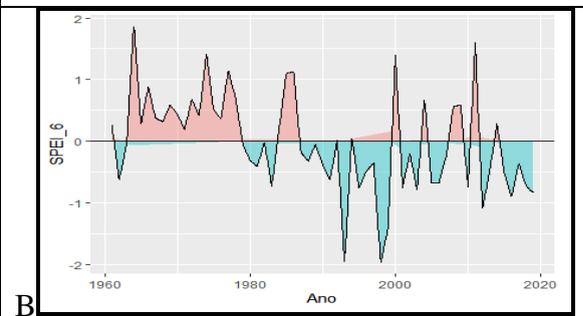
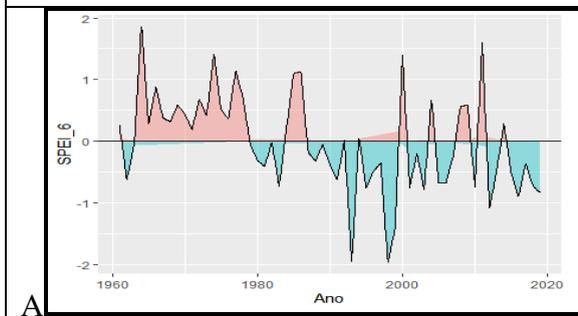
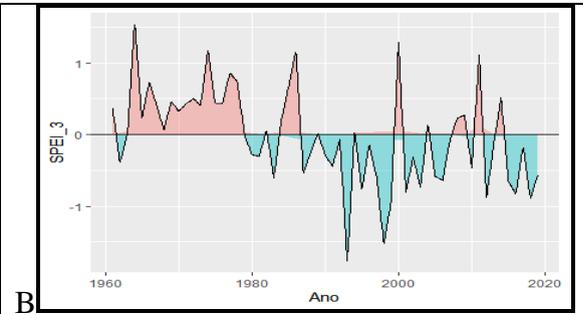
APENDICE

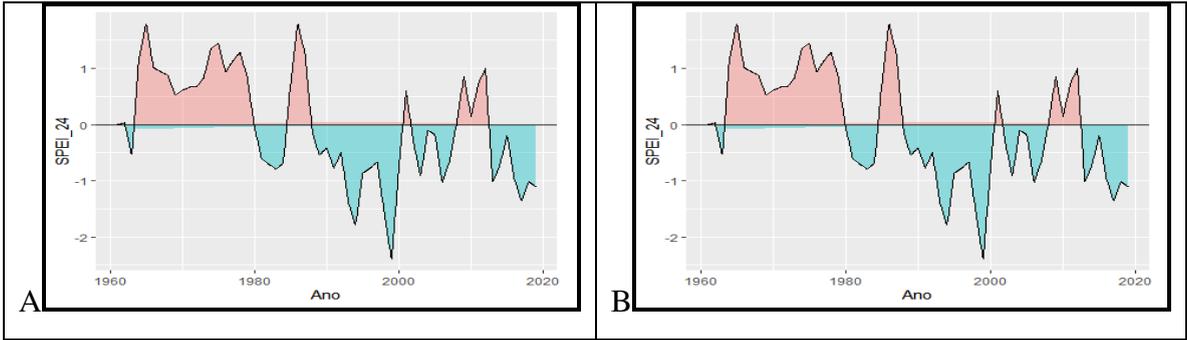
As figuras (A, B, C e D) das colunas 3, 4, 5 e 6 abaixo apresentam os SPEI ao longo do período em estudo na mesorregião do Agreste Paraibano. Cada coluna representam os pontos compreendido dentro da Mesorregião. Foi calculado os índices de Spei_3, Spei_6, Spei_9, Spei_12 e Spei_24 para o período de 1961 a 2019.

3)



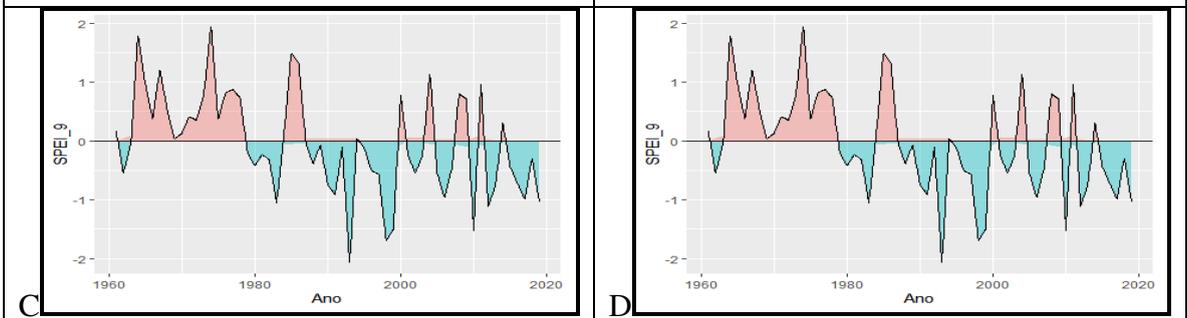
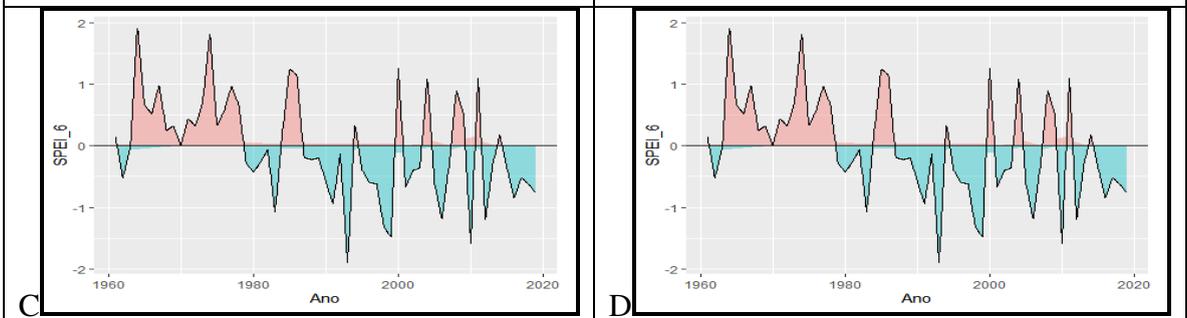
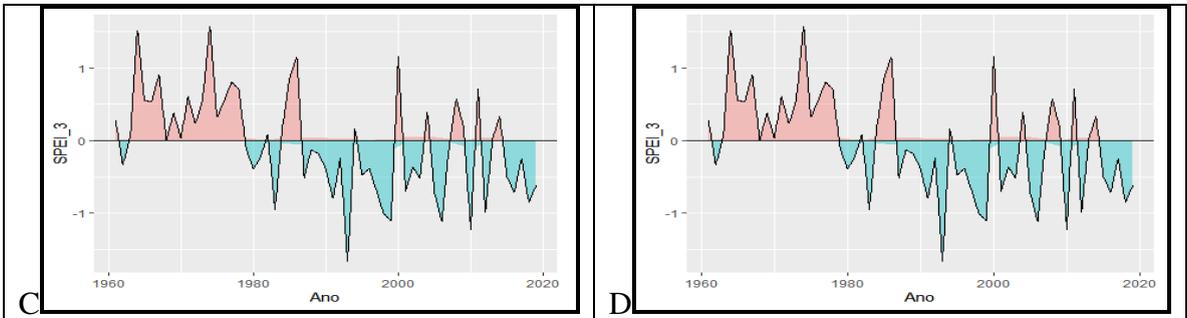
4)

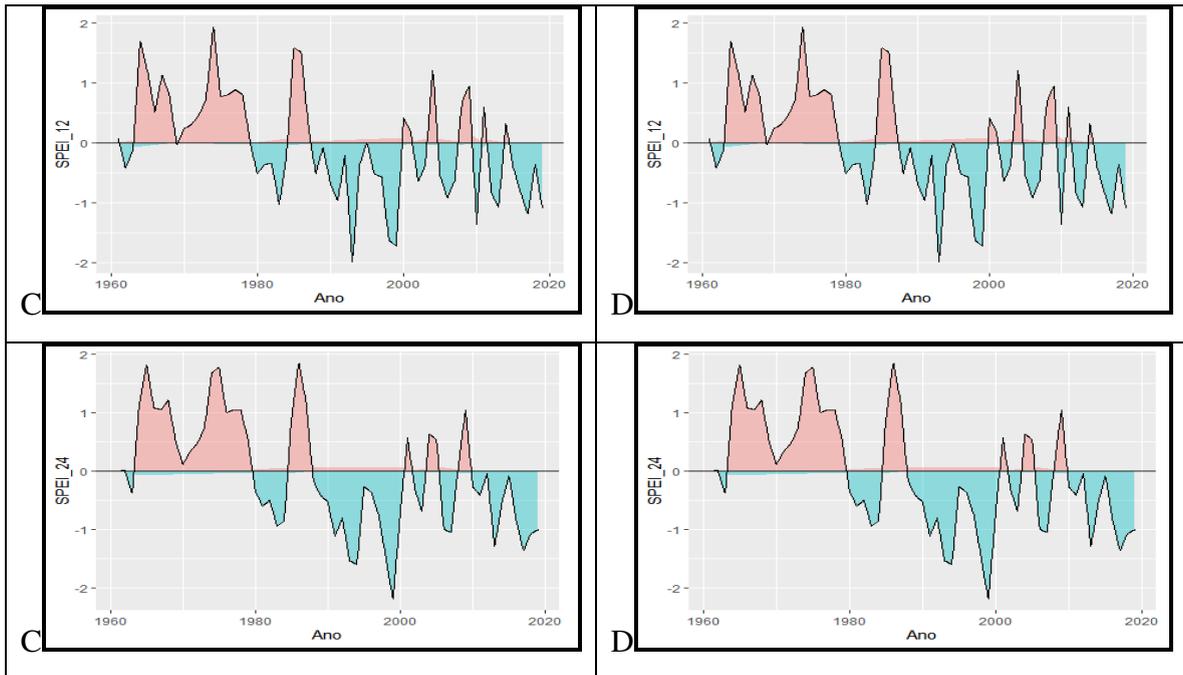




5)

6)



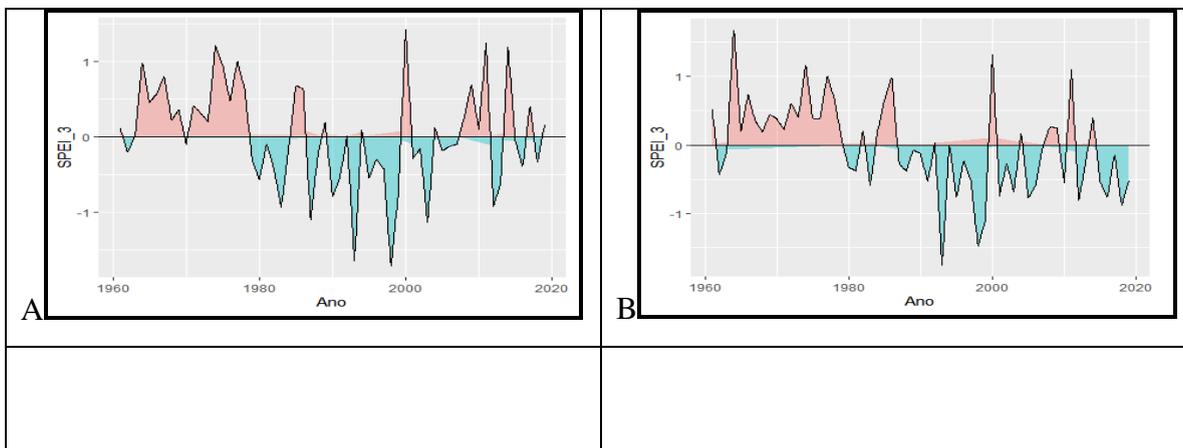


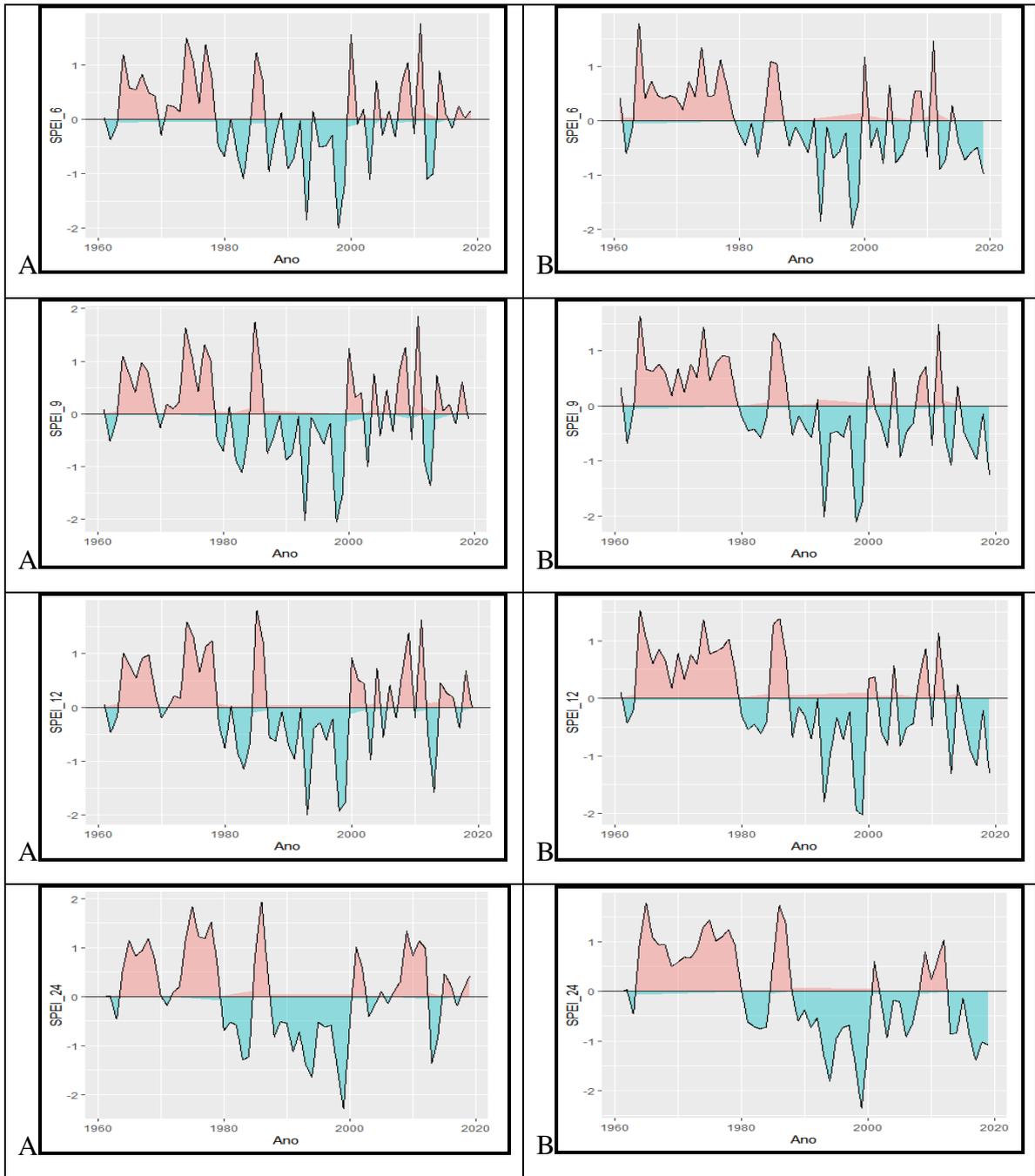
Os dados analisados mostram resultados que seguem a mesma característica nos SPEI calculados, identificando períodos secos praticamente nos mesmos períodos analisados, desta forma caracterizando semelhanças entre si em termos de ocorrências de secas.

As figuras (A, B e C) das colunas 7, 8 e 9 apresentam os SPEI ao longo do período em estudo na mesorregião da Borborema. Cada coluna representam os pontos compreendido dentro da Mesorregião. Foi calculado os índices de Spei_3, Spei_6, Spei_9, Spei_12 e Spei_24 para o período de 1961 a 2019.

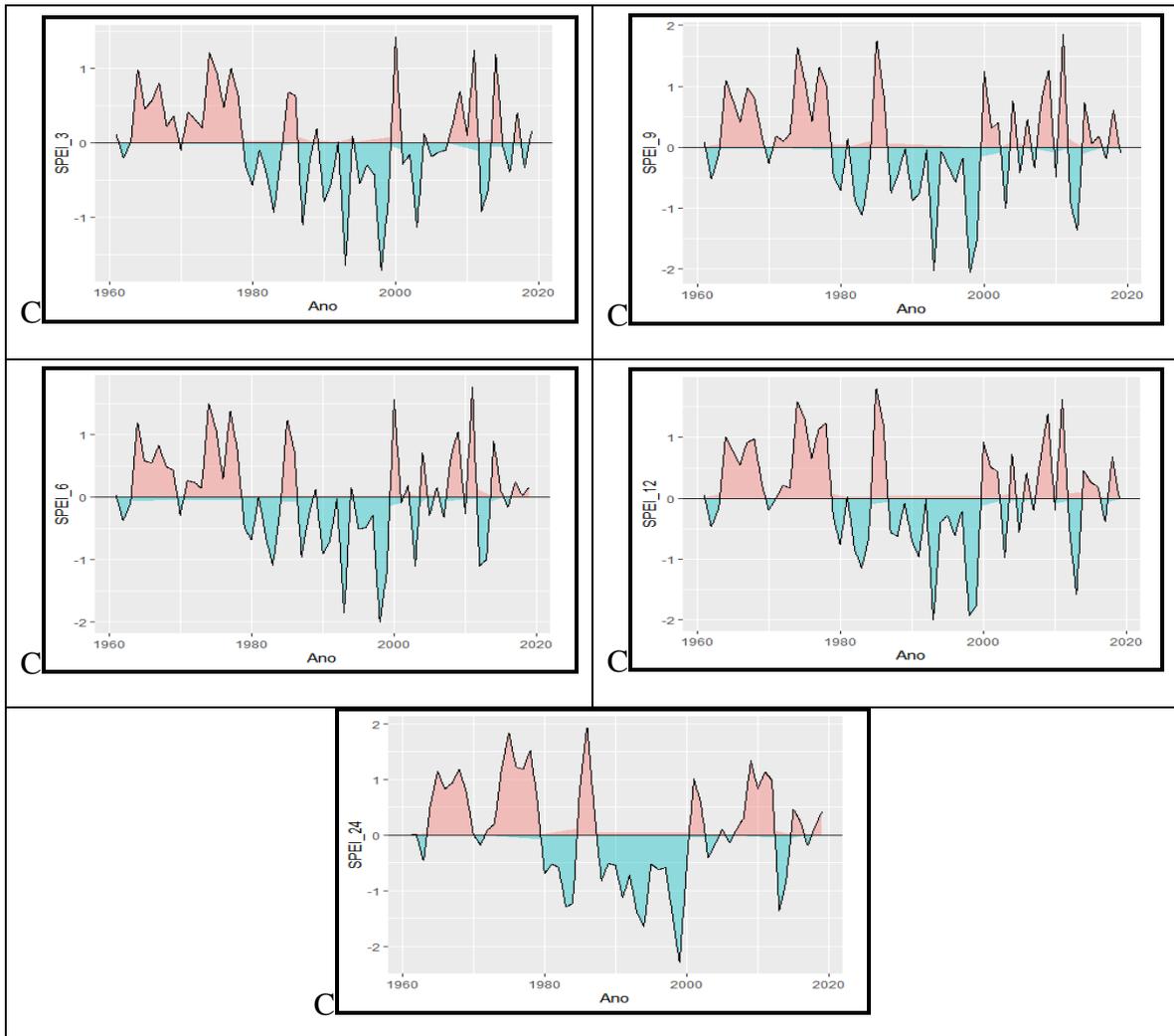
7)

8)





9)

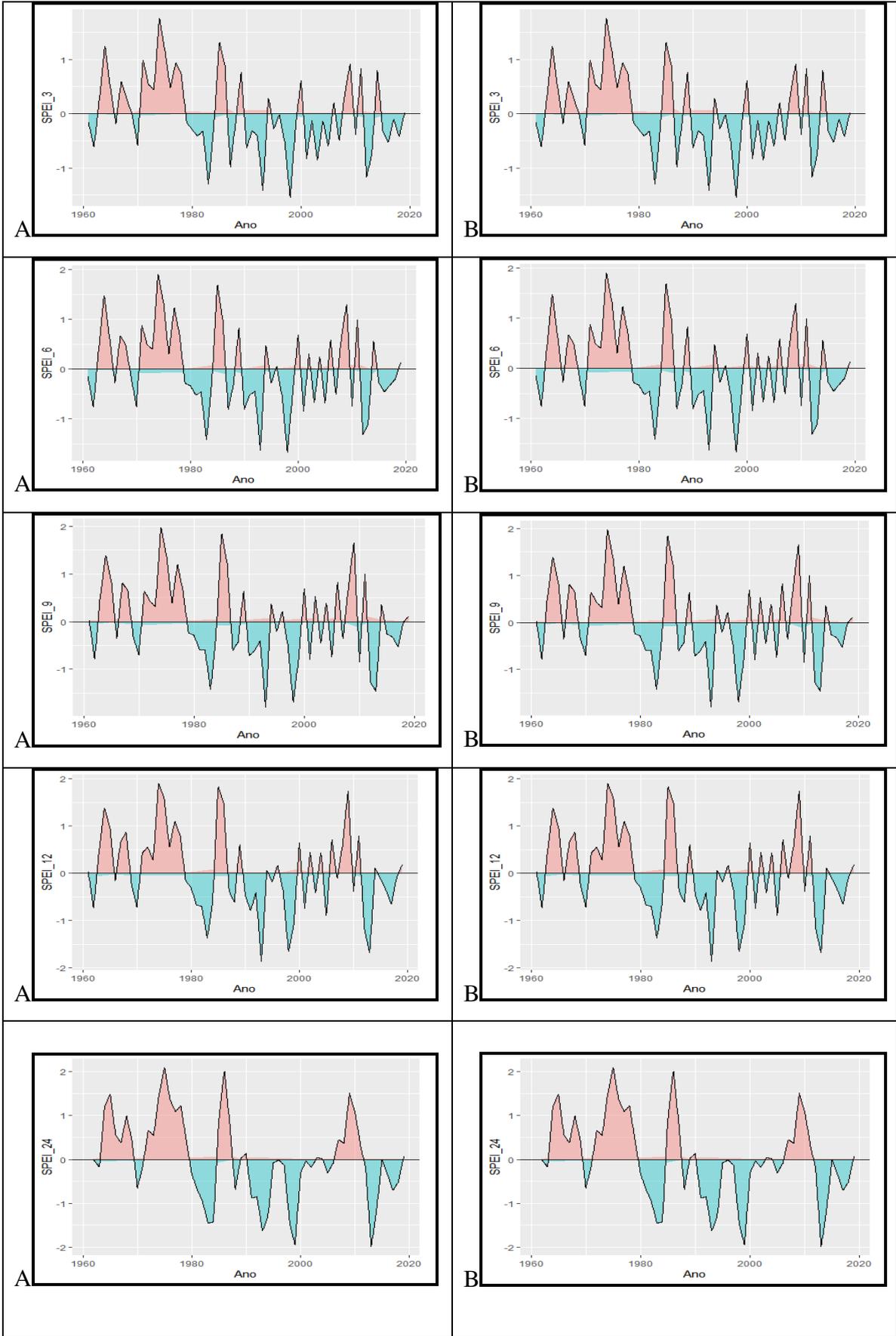


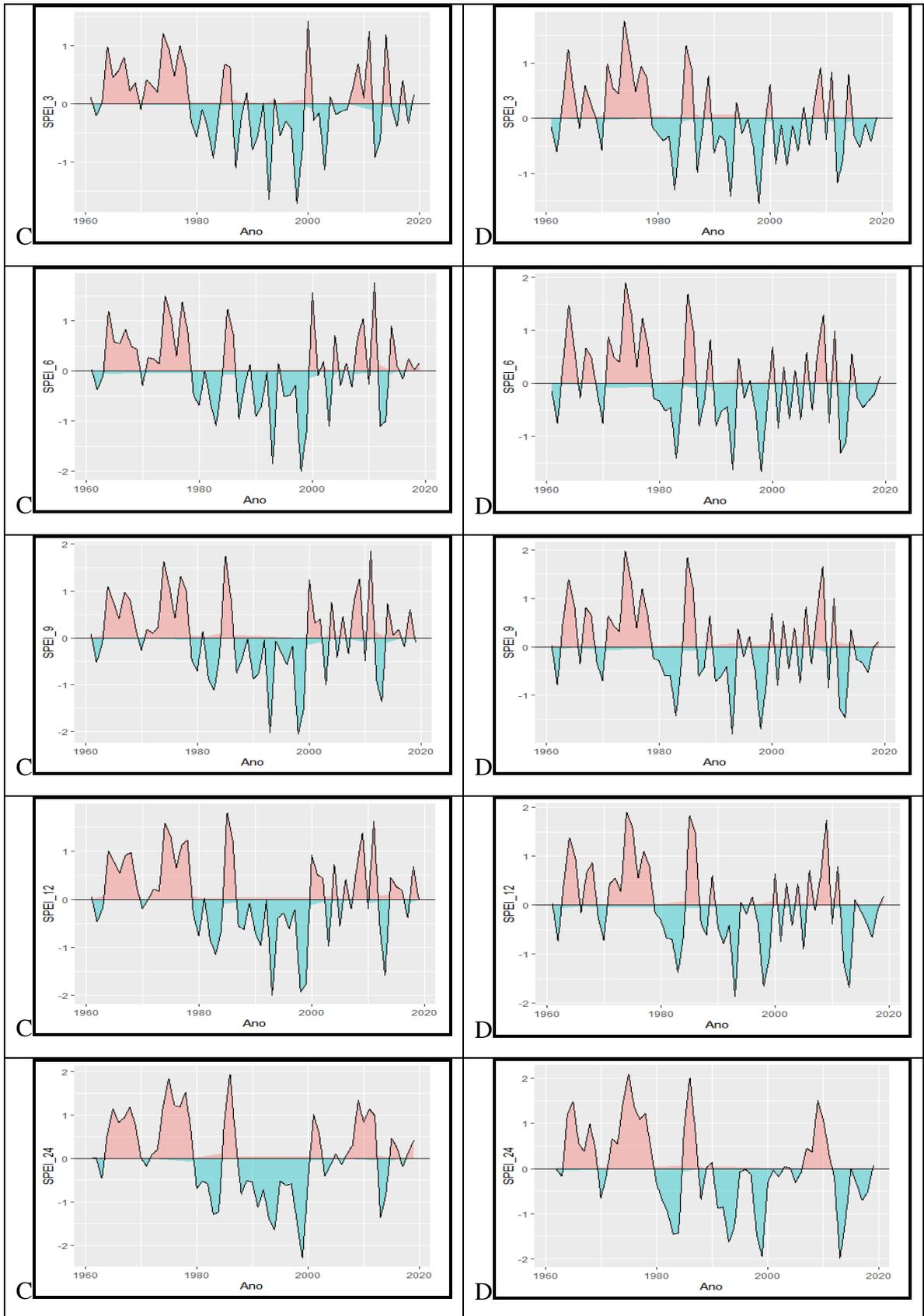
Os dados analisados mostram resultados que seguem a mesma característica nos SPEI calculados, identificando períodos secos praticamente nos mesmos períodos analisados, desta forma caracterizando semelhanças entre si em termos de ocorrências de secas.

As figuras (A, B, C, D, E, F e G) das colunas 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 apresentam os SPEI ao longo do período em estudo na mesorregião do Sertão Paraibano. Cada coluna representam os pontos compreendido dentro da Mesorregião. Foi calculado os índices de Spei_3, Spei_6, Spei_9, Spei_12 e Spei_24 para o período de 1961 a 2019.

10)

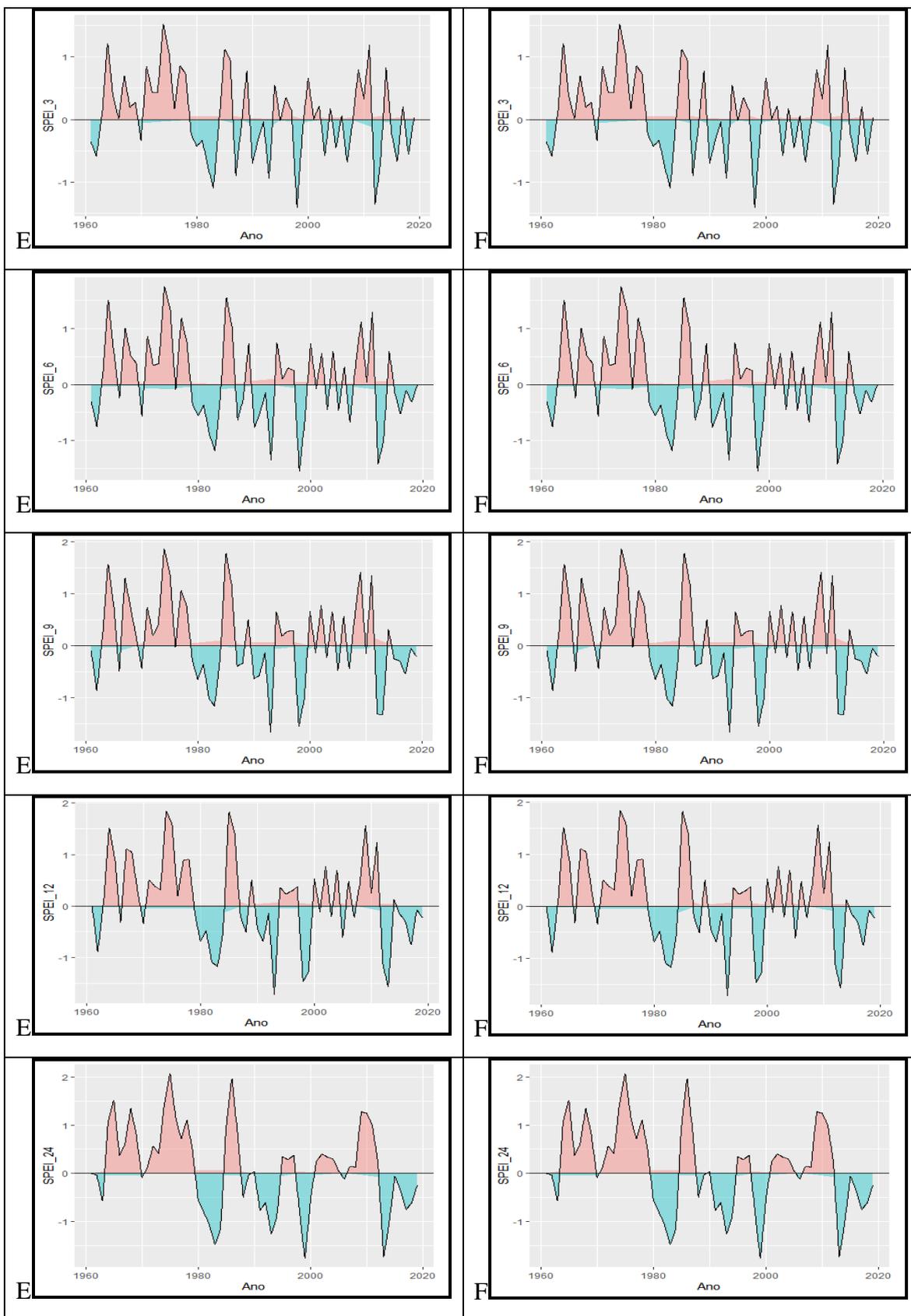
11)





14)

15)



16)

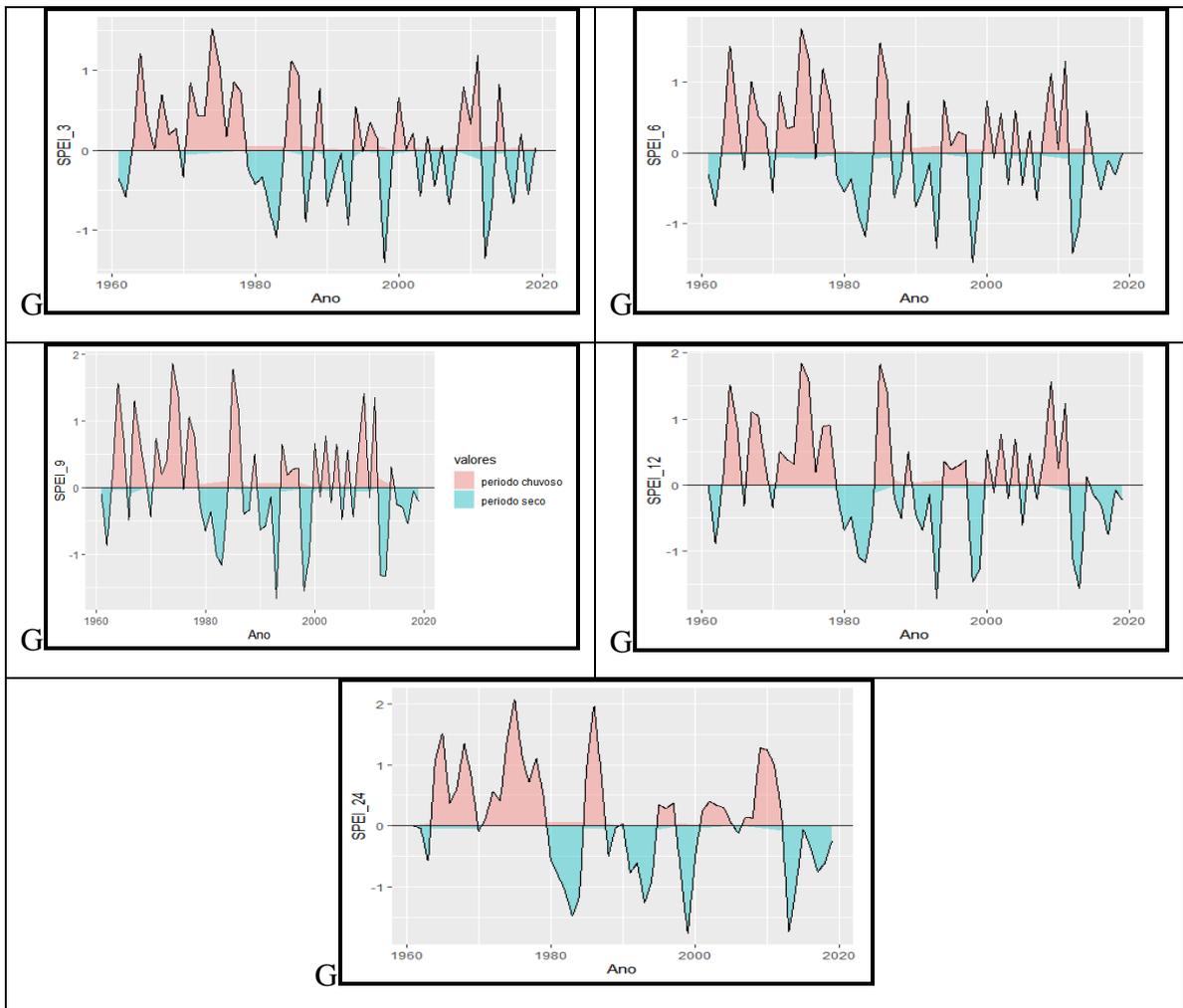


Gráfico Correlação

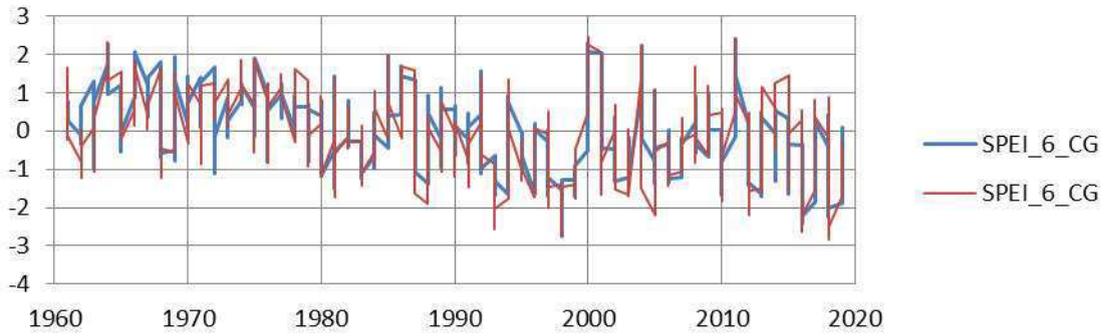


Gráfico de Correlação

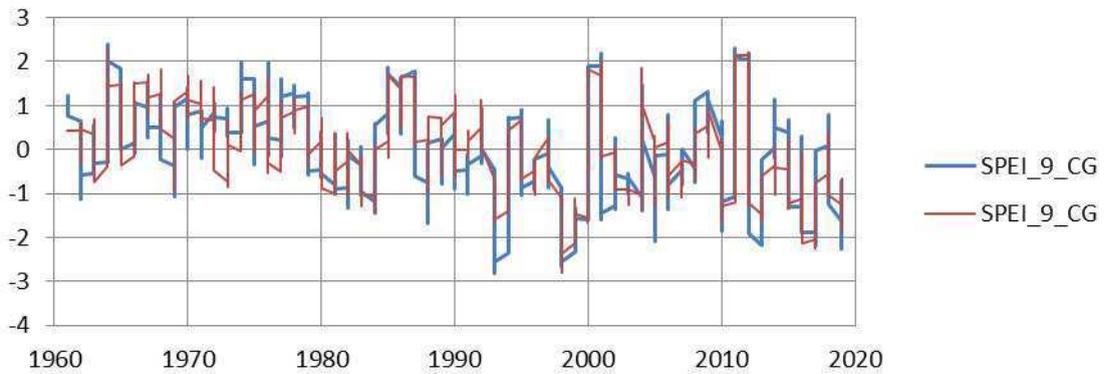


Gráfico Correlação

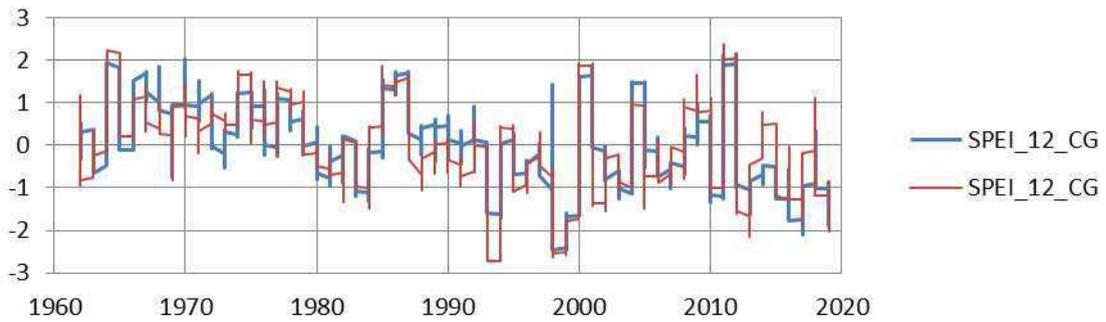


Gráfico Correlação

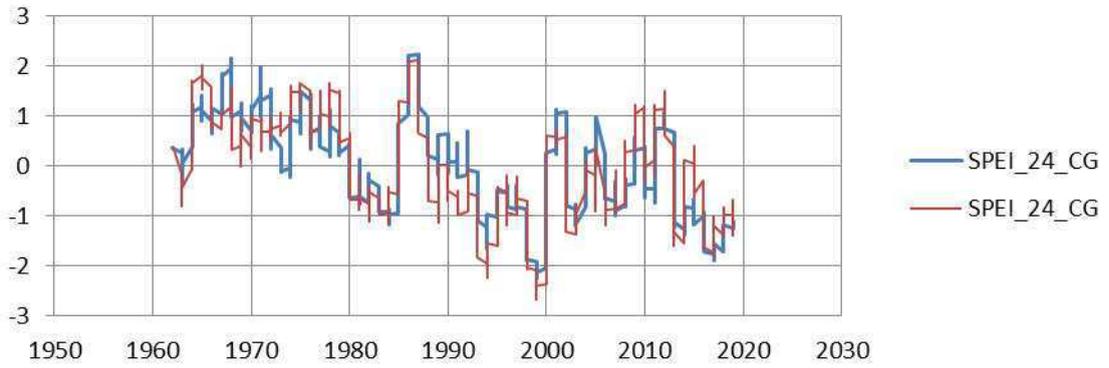


Gráfico de Correlação

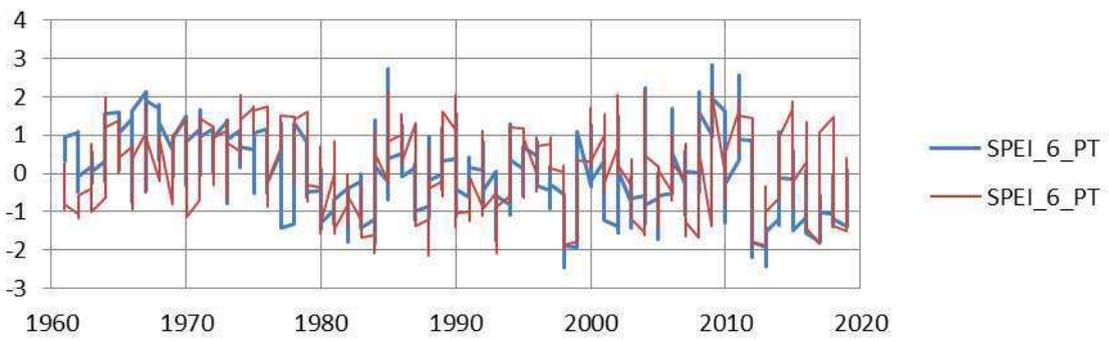


Gráfico de Correlação

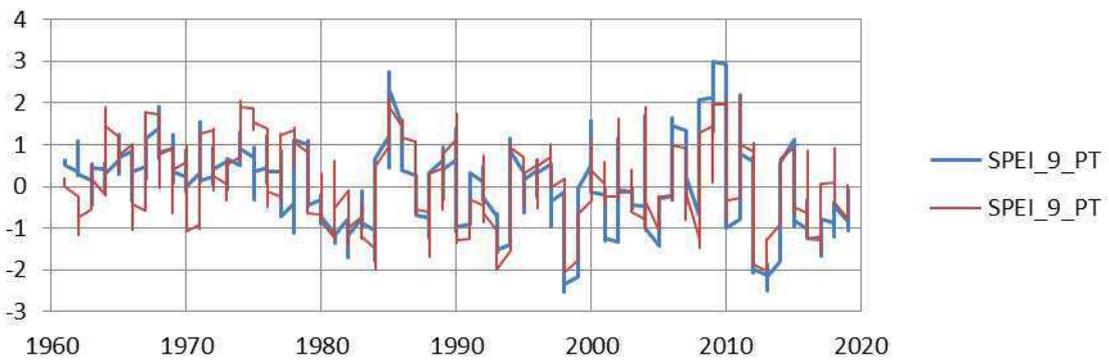


Gráfico de Correlação

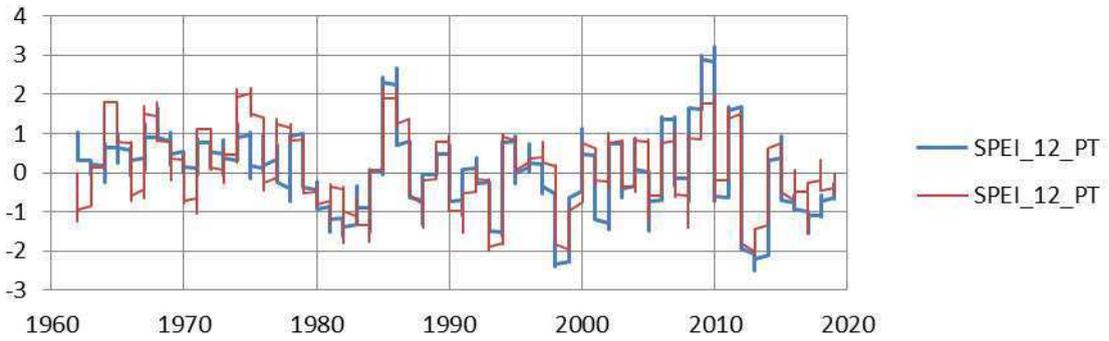


Gráfico de Correlação

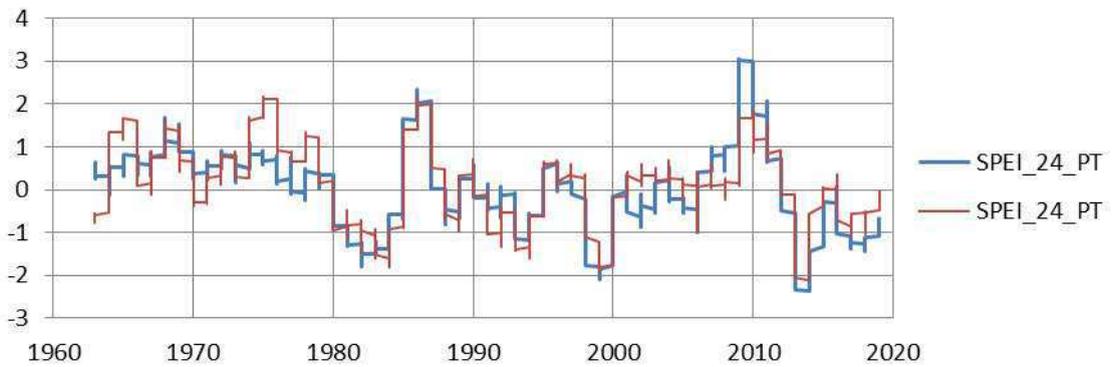


Gráfico de Correlação

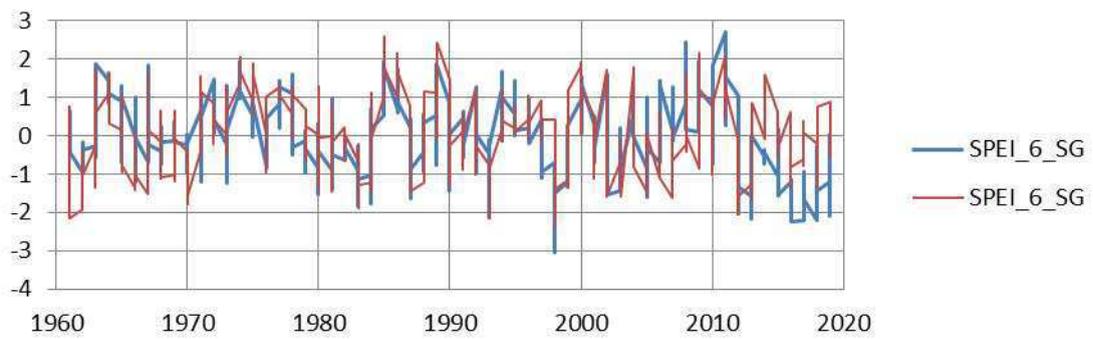


Gráfico de Correlação

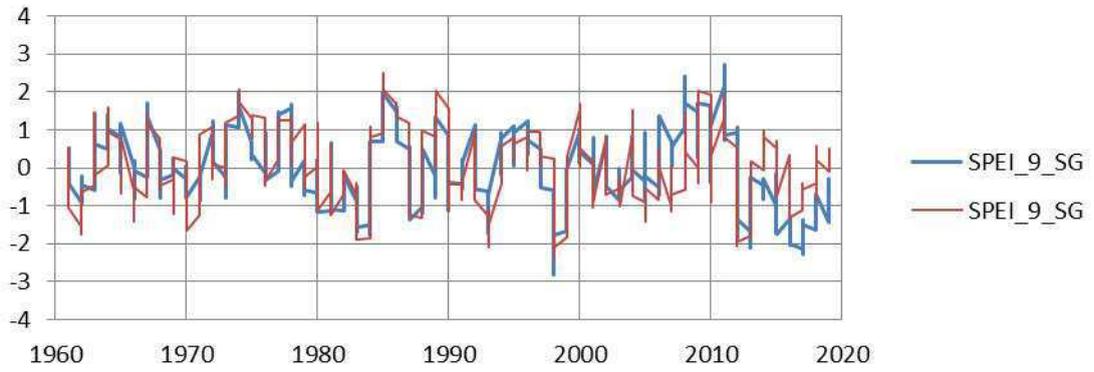


Gráfico de Correlação

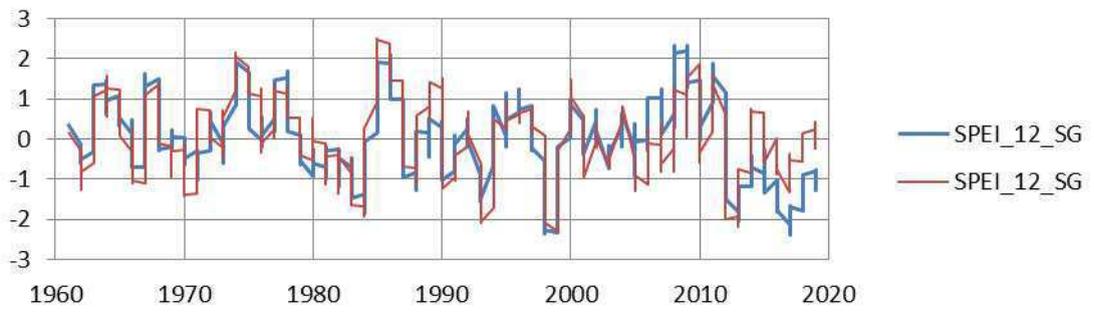


Gráfico de Correlação

