



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

RÔMULO VIEIRA PENAFORTE

**ANÁLISE DAS SECAS NA BACIA DO RIO DO PEIXE ATRAVÉS DO ÍNDICE
PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO (SPI)**

JOÃO PESSOA – PB

2016

RÔMULO VIEIRA PENAFORTE

**ANÁLISE DAS SECAS NA BACIA DO RIO DO PEIXE ATRAVÉS DO ÍNDICE
PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO (SPI)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial
para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil

Área de concentração: Recursos Hídricos
Orientadora: Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

JOÃO PESSOA -PB

2016

P397a Penaforte, Rômulo Vieira
Análise das secas na Bacia do Rio do Peixe através do Índice Padronizado de Precipitação (SPI). / Rômulo Vieira Penaforte - João Pessoa: UFPB, 2016.

68 fl. il.:

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil)
Centro de Tecnologia / Campos I / Universidade Federal da Paraíba.

1. Precipitação 2. SPI 3. Bacia do Rio do Peixe 4. Seca 5. Reservatório, semiárido I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.d. 624:504 (043)

RÔMULO VIEIRA PENAFORTE

**ANÁLISE DAS SECAS NA BACIA DO RIO DO PEIXE ATRAVÉS DO ÍNDICE
PADRONIZADO DE PRECIPITAÇÃO (SPI)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial
para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil
Aprovado em _____ de _____ de _____

Área de concentração: Recursos Hídricos
Orientadora: Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Prof.^a Dr.^a. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Prof. Dr. Adriano Rolim da Paz
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Prof.^a Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Especialmente aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Gorete e Daciano, por todo esforço empenhado para me garantir um futuro melhor e pelo apoio incondicional.

À minha orientadora, Prof.^a Ana Cláudia, pela atenção e principalmente paciência que teve comigo.

Aos meus familiares: Juscélio, tia Galega, Ana, Joãozinho (in memoriam), tia Clênia, Nairton; pelo apoio e por todo carinho com o qual sempre me trataram.

Aos meus tios, Samuel e Cláudia, que sempre estiveram dispostos a ajudar no que fosse necessário.

Aos amigos – Rair, Manoel Neto, Thales e Diego – pelas conversas, compartilhamentos de sonhos e por toda força.

Aos professores que muito contribuíram para minha formação profissional e como cidadão.

Aos colegas de curso, pela convivência e troca de experiências.

A todos meus sinceros agradecimentos.

É muito melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfos e glórias mesmo expondo-se a derrotas, do que formar fila com os pobres de espírito que nem gozam muito nem sofrem muito porque vivem nessa penumbra cinzenta que não conhece vitória nem derrota.

(Theodore Roosevelt)

RESUMO

A seca é um fenômeno meteorológico com efeitos dramáticos a nível social, econômicos e ambiental. Sendo difícil de prever, existem vários indicadores que permitem avaliar sua gravidade em diversos períodos de tempo. O Índice Padronizado de Precipitação, SPI, desenvolvido por Mckee em 1993, é um desses indicadores e a sua determinação requer que se conheça unicamente a precipitação mensal durante um período mínimo de trinta anos. O SPI considera a natureza estocástica da seca e é, portanto, uma boa medida de secas meteorológicas de curta e longa duração, permitindo a comparação entre locais e climas diferentes. Neste trabalho analisam-se as secas ocorridas na Bacia do Rio do Peixe, no estado da Paraíba, no período de janeiro de 1962 a julho de 2015. Os resultados mostraram uma grande concentração da precipitação nos primeiros meses dos anos e secas recorrentes ao longo da série histórica. O SPI representou de forma satisfatória as principais secas ocorridas no período em questão, principalmente aquela que é considerada a seca mais longa do século passado na região semiárida nordestina: de 1979 a 1983. O SPI de 36 meses mostrou boa representatividade do volume do reservatório de Lagoa do Arroz localizado na bacia.

Palavras-chave: Precipitação, SPI, Bacia do Rio do Peixe, Seca, Reservatório, Semiárido.

ABSTRACT

Drought is a meteorological phenomenon with dramatic effects at the social, economic and environmental level. Being difficult to predict, there are several indicators to assess its severity in different periods of time. The Standardized Precipitation Index, SPI developed by McKee in 1993, is one of those indicators and their determination requires that only know the monthly rain for a minimum period of thirty years. The SPI considers the stochastic nature of the dry and is thus a good measure of dry weather short and long duration, allowing the comparison of different locations and climates. In this paper we analyze the droughts in the Bacia do Rio do Peixe, in the state of Paraíba, and the period January 1962 to July 2015. The results showed a high concentration of rain in the first months of the year and recurrent droughts over the time series. The SPI represented satisfactorily the main droughts in the period, especially one that is considered the longest drought of the last century in the northeastern semi-arid region: 1979-1983. The SPI 36 months showed good representation of the volume of Lagoa do Arroz reservoir located in the basin.

Keywords: Precipitation, SPI, Bacia do Rio do Peixe, Drought, Reservoir, Semi-Arid.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

INSA	Instituto Nacional do Semiárido
ANA	Agência Nacional de Águas
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra Seca
SPI	Índice Padronizado de Precipitação
PB	Paraíba
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MME	Ministério de Minas e Energia
ha	Hectare

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do Índice Padronizado de Precipitação	37
Tabela 2 - SPIs de abril de 1992 a julho de 1995.....	48
Tabela 3 – Magnitude das secas.....	49
Tabela 4 – Porcentagem da quantidade de meses em cada escala de SPI.....	49
Tabela 5 – Principais eventos de seca (1962-2015)	50
Tabela 6 – Períodos de volume médio armazenado abaixo de 20% no açude Lagoa do Arroz	51
Tabela 7 - Períodos críticos (abaixo de 20% de armazenagem) do açude Lagoa do Arroz.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução das secas em função da duração e dos impactos.....	23
Figura 2 - Estado da Paraíba e localização da área de estudo.....	29
Figura 3 – Traçado da mediatriz.....	32
Figura 4 – Definição do polígono de área.....	32
Figura 5 - Distribuição normal com o SPI tendo uma média de 0 e uma variância de 1.....	36
Figura 6 - Programa utilizado para o cálculo do SPI.....	38
Figura 7 - Volumes pluviométricos médios por mês na bacia do Rio do Peixe (1962 – 2015).	40
Figura 8 - Precipitação média anual na bacia do Rio do Peixe (1962-2015)	42
Figura 9 – SPI na escala de 12 meses.....	43
Figura 10 - SPI na escala de 18 meses.....	44
Figura 11 – Comparação entre SPI-12 (traço mais fino, em azul) e SPI-18 (traço mais espesso, cinza).....	45
Figura 12 – SPI na escala de 24 meses.....	46
Figura 13 – SPI na escala de 36 meses.....	47
Figura 14 – Variação do volume armazenado do açude Lagoa do Arroz no período de março/1994 a julho/2015.....	51
Figura 15 - Volume armazenado (traço mais espesso) e SPI-12 (traço mais fino).....	52
Figura 16 - Volume armazenado (traço mais espesso) e SPI-36 (traço mais fino)	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Cronograma de secas no Nordeste.....	17
Quadro 2 - Resumo dos índices de seca.....	24

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo Geral.....	16
2.2. Objetivos específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 Histórico de secas no semiárido nordestino.....	17
3.2. Precipitação no Nordeste do Brasil.....	19
3.3 Definições e tipos de seca.....	20
3.4 Índices de seca	23
3.5 Interpretação do Índice SPI para Diferentes Escalas de Tempo	27
4. METODOLOGIA.....	29
4.1 Caracterização da área de estudo	29
4.2 Levantamento de dados	31
4.3 Determinação da precipitação média.....	31
4.4 Análise dos dados de precipitação	33
4.5 O índice SPI.....	33
4.6 Cálculo do SPI	38
4.7 Reservatório escolhido para ser analisado: Lagoa do Arroz.....	39
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	40
5.1 Análise dos dados de precipitação	40
5.2 Análise dos resultados do SPI.....	42
5.3 Análise da relação entre o SPI e o volume de reservatório.....	51
6 CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
APÊNDICE.....	58
ANEXO.....	64

1. INTRODUÇÃO

Há muito se reconhece que as secas periódicas que castigam a zona semiárida do Nordeste assumem dimensões de calamidade pública devido à situação de pobreza em que vive a maior parte dos seus habitantes (BRASIL.GTDN, 1967; DUQUE, 1973 apud DUARTE 2001), estimados pelo Instituto Nacional do Semiárido (INSA) em 23,5 milhões em 2014. A densidade demográfica da zona semiárida, de 20 hab/km², não parece elevada, inclusive se comparada aos 34 hab/km² da região Nordeste, porém, devido às condições ambientais e ao tipo de atividade econômica –agropecuária dependente do ciclo das chuvas – ali predominantes, na realidade é e torna a população extremamente dependente e vulnerável às secas da região

Os impactos da seca dependem da vulnerabilidade das pessoas, das atividades econômicas e do meio ambiente. O semiárido, como se sabe, tem a maior parte da sua população em condição de pobreza, portanto, de alta vulnerabilidade porque as pessoas não dispõem de meios para enfrentar crises de qualquer natureza. Com relação às atividades econômicas, as que dependem diretamente do clima são mais vulneráveis, de modo especial a agricultura de sequeiro e a pecuária. Em conjunto, a pequena agricultura de subsistência, praticada por trabalhadores rurais e pequenos produtores, forma o conjunto econômico e social mais vulnerável à seca.

No Nordeste, tradicionalmente, os impactos sobre a agricultura de subsistência têm sido devastadores, pois sem chuva não há produção de sequeiro. Assim, essa atividade pode cessar completamente e afetar milhões de pessoas, incluindo trabalhadores rurais, meeiros e pequenos e médios proprietários. De repente, milhões de pessoas ficam sem a sua subsistência, o que acarreta uma calamidade social. Em episódios paradigmáticos de grandes secas, como em 1887-89, 1915, 1932, 1958, 1983, 1998-99, 2012-14 milhões de pessoas foram afetadas e tiveram sua sobrevivência comprometida. Nas secas mais antigas, a quantidade de pessoas que morriam de fome, sede e doenças ligadas à desnutrição provocada pela seca podia chegar a várias centenas de milhares. Por isso a seca no Nordeste se caracteriza, sobretudo, como um grave problema social (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2012).

As secas podem ser diagnosticadas, com base em uma série histórica de dados meteorológicos, por meio de índices quantificadores de secas e análises estatísticas. Esses índices identificam os períodos de seca ou umidade em uma área pontual ou regional a partir

de equações empíricas. A utilização de índices para quantificar a seca se faz necessária para determinar a intensidade, a duração e a frequência em que essa anomalia ocorre (FERNANDES 2009).

O SPI é um índice de seca meteorológica desenvolvido por Mckee, Doesken e Kleist (1993) com o objetivo de monitorar e analisar a seca, com capacidade de quantificar o déficit ou o excesso de precipitação em várias escalas de tempo. O SPI utiliza apenas os dados mensais de precipitação, sendo estes normalizados de modo que os climas mais úmidos e secos sejam representados de uma maneira similar. O SPI pode ser aplicado a qualquer região que possua uma série histórica de dados mensais de precipitação de, no mínimo, 30 anos.

O diagnóstico das secas é um trabalho importante, em especial em uma bacia do semiárido como a Bacia do Rio do Peixe, uma vez que poderá trazer informações valiosas para avaliar as magnitudes e possíveis impactos de forma a estimular os gestores públicos a investir no planejamento e mitigação das secas.

Nesse trabalho são analisadas as secas ocorridas desde 1962 na Bacia do Rio do Peixe, através de dados de precipitação coletados em seis postos pluviométricos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar as secas na bacia do Rio do Peixe através do Índice Padronizado de Precipitação.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar as secas da região através da análise da série histórica de chuva.
- Avaliar e categorizar as secas da região através do Índice Padronizado de Precipitação (SPI).
- Avaliar correlações entre o SPI e o volume de um reservatório.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A região semiárida do Nordeste brasileiro enfrenta, de forma recorrente, graves secas que deixam seus rastros socioeconômicos. Desde 1605, a região já enfrentou dezenas de períodos de seca, algumas de gravidade tão elevada que geraram aceleração do êxodo rural para outras regiões. Segundo AB'SABER (1999), secas prolongadas acontecem aproximadamente de 12 em 12 anos, e no intervalo entre elas ocorrem secas anuais notadamente irregulares no espaço e no tempo de duração, assim pode-se obter um primeiro ponto para a elaboração de estratégias contra as implicações sociais e humanas da *secura*.

3.1 Histórico de secas no semiárido nordestino

No Quadro 1 estão as maiores secas já registradas na história do Nordeste, especialmente a região semiárida.

Quadro 1 - Cronograma de secas no Nordeste.

PERÍODO	FATOS RELEVANTES
1723/ 1727	Essa foi uma das primeiras grandes secas registradas que atingiu a região Nordeste – principalmente a área em que, na época, ficava a Capitania de Pernambuco. Grupos de índios fugiram das serras e invadiram fazendas. Além da seca, uma peste assolou a região no mesmo período, causando uma enorme mortalidade nas populações mais frágeis, especialmente os escravos.
1776/1778	Essa foi mais uma seca combinada com um surto de doença, no caso, a varíola. A taxa de mortalidade foi altíssima, não só de pessoas, mas também de animais, principalmente o gado. A solução encontrada pela Corte Portuguesa foi repartir as terras adjacentes aos rios entre os povos flagelados.
1877/1879	Essa seca, que atingiu todo o Nordeste, mas especialmente o Ceará, causou a morte de 500 mil pessoas. O fenômeno também gerou uma grande migração: 120 mil nordestinos fugiram para a Amazônia e 68 mil partiram para outros estados brasileiros. O governante na época,

PERÍODO	FATOS RELEVANTES
	o Imperador Pedro II, visitou o Nordeste e prometeu vender até a última joia da Coroa para amenizar o problema.
1919/1921	Essa seca muito grave, que atingiu principalmente o sertão de Pernambuco, fez aumentar muito o êxodo rural do Nordeste. A imprensa e a opinião pública pressionaram e exigiram uma atuação eficaz do governo para resolver o drama das famílias afetadas. Com isso, em 1920 foi criada a Caixa Especial de Obras de Irrigação de Terras Cultiváveis do Nordeste Brasileiro, mantida com 2% da receita tributária anual da União. Apesar disso, nada foi feito para efetivamente resolver o problema
1934/1936	Essa foi uma das maiores secas enfrentadas pelo Brasil (que se tem registro). O longo período de estiagem não ficou restrito ao Nordeste: além de afetar nove estados na região, Minas Gerais e São Paulo também sofreram com a falta de chuvas. Depois disso, o problema no sertão nordestino passou a ser encarado como um problema nacional.
1963/1964	A seca que começou em 1963 foi gravíssima. A estiagem bateu recordes em vários estados: Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Distrito Federal. Até a Amazônia sofreu com falta de chuva. Além disso, uma onda de calor muito forte assolou o país.
1979/1985	Essa foi uma das secas mais prolongadas da história do Nordeste: durou 7 anos. O auge do problema foi em 1981. A estiagem deixou um rastro de miséria e fome: lavouras perdidas, animais mortos, saques à feiras e armazéns por uma população faminta e desesperada. No período, 3.5 milhões de pessoas morreram, a maioria crianças sofrendo de desnutrição.
1997/1999	A década de 90 sofreu com os efeitos do fenômeno El Niño, que causa o aumento das temperaturas das águas e traz várias consequências para o clima – entre eles, o agravamento de secas no Nordeste. A seca do final dessa década foi terrível. Foram 5 milhões de pessoas afetadas, saques a depósitos de comida devido às mortes

PERÍODO	FATOS RELEVANTES
	de animais e lavouras perdidas. A seca foi tão grave que Recife passou a receber água encanada apenas uma vez por semana.
2001	A seca de 2001 foi um prolongamento do período de seca do final da década de 90, que teve uma trégua em 2000. O Rio São Francisco sofreu com a pior falta de chuvas de sua história, causando uma diminuição drástica do volume de suas águas. Para piorar a situação, a falta de chuvas em todo o Brasil contribuiu para a pior crise energética que o país já viveu, somando a estiagem prolongada à falta de investimentos no setor.
2007/2008	Em 2007, ocorreu a pior seca da história no norte de Minas Gerais, região do estado de clima semiárido. Não choveu nada entre março e novembro de 2007 e as precipitações abaixo da média continuaram durante o ano seguinte. No total, foram 15 meses de estiagem. Durante o período, foram registrados quase 54 mil focos de incêndio e mais de 190 mil mortes de cabeças de gado. Centenas de municípios decretaram estado de emergência.
2012 até os dias atuais	O Nordeste está tendo a maior seca dos últimos 30 anos, desimando quase por completo a Pecuária e Agricultura familiar. Em algumas regiões do semiárido nordestino não caiu nenhuma gota d'água em 2012. Segundo os dados da pesquisa Produção da Pecuária Municipal, do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas), a região já perdeu 4 milhões de animais.

Fonte: Adaptado de: < <http://super.abril.com.br/>>. Acesso em novembro de 2015.

3.2. Precipitação no Nordeste do Brasil

O sertão é a sub-região nordestina com menor índice pluviométrico do país, além de ser a região semiárida mais povoada do mundo. Historicamente grande parte desta população vive em péssimas condições de abastecimento de água, por dois motivos: pela carência de uma infraestrutura adequada de abastecimento e pelo problema da seca que sempre assolou a região.

O primeiro dos motivos citados acima diz respeito aos gestores públicos que tratam o problema com descaso, ou até mesmo, com desprezo, alimentando assim a chamada “indústria da seca”. O segundo está fora das nossas competências, uma vez que se trata de um fenômeno natural e não humano. A precipitação é o principal fator natural que determina as secas no Nordeste do Brasil.

Segundo TUCCI, as precipitações no Nordeste estão relacionadas a fatores de grande escala: i) eventos ENSO (El Niño, Oscilações Sul); ii) temperatura de superfície do mar no Atlântico, ventos alísios e pressão ao nível do mar; iii) posicionamento da zona de convergência intertropical sobre o Atlântico e iv) frentes frias. A estes sistemas de grande escala se superpõem efeitos locais (topografia, mecanismos de brisa e aquecimento diurno) que podem gerar sistemas meteorológicos de meso e micro escalas, tais como linhas de instabilidade, complexos convectivos de mesoescala e aglomerados de cumulonimbus. Os sistemas de micro e meso estão subordinados aos mecanismos de grande escala. No período de janeiro a fevereiro as precipitações do Nordeste são influenciadas pelas frentes frias.

A Zona de Convergência Intertropical é o sistema meteorológico mais importante na determinação de quão abundante ou deficiente serão as chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil. Normalmente a ZCIT migra sazonalmente de sua posição mais ao norte, aproximadamente 12° N, em agosto-setembro para posições mais ao sul e aproximadamente 4° S em março-abril (TUCCI, 2003).

3.3 Definições e tipos de seca

A definição de seca continua a ser um obstáculo para se conseguir efetuar uma correta monitorização e análise deste fenômeno. Consiste num fenômeno natural desastroso, que tem um impacto significativo nas esferas socioeconômicas, agrícolas e ambiental. Por ser um processo lento, frequentemente a seca não atrai a atenção da comunidade, persistindo seu impacto mesmo depois do término do evento. As secas normalmente atingem uma vasta extensão espacial e temporal (MOLINA; LIMA, 1999 apud FERNANDES, 2009).

A seca é percebida de diferentes maneiras em regiões com características climáticas variadas e com diferentes níveis de utilização de água. Isso contribui de forma negativa para uma definição rigorosa de seca que seja aceita universalmente e de um modelo uniforme para abordagem de seu estudo (FERNANDES, 2009).

No entanto, todos os estudos relacionam as secas com situações de escassez de água, resultado de precipitação insuficiente, elevada evapotranspiração e demasiada exploração dos recursos hídricos ou de uma combinação destes parâmetros (FERNANDES, 2009).

De acordo com o critério de abordagem, pode-se classificar a seca em quatro tipos: Meteorológica, Agrícola, Hidrológica e Socioeconômica.

1. **Seca Meteorológica:** A seca meteorológica é caracterizada pelo déficit da precipitação em relação ao valor normal; caracteriza-se pela falta de água induzida pelo desequilíbrio entre a precipitação e a evaporação, a qual depende de outros elementos como a velocidade do vento, temperatura, humidade do ar e insolação. A definição de seca meteorológica deve ser considerada como dependente da região, uma vez que as condições atmosféricas que resultam em deficiências de precipitação podem ser muito diferentes de região para região (PIRES, 2003 apud DOMINGOS, 2006).

2. **Seca Hidrológica:** Esse tipo de seca está relacionado com a redução dos níveis médios de água em reservatórios de superfície e subterrâneos por um determinado período de tempo, podendo ser de dias, semanas, meses ou anos sucessivos. Normalmente está defasado da seca meteorológica, sendo necessário um período maior para que as deficiências de precipitação se traduzam em deficiências nos reservatórios (PIRES, 2003 apud FERNANDES, 2009). Geralmente ocorre no fim de um período muito longo de seca meteorológica. A seca hidrológica traz consequências como a redução de abastecimento de água nos centros urbanos, industriais, nos sistemas de irrigação e na produção de energia elétrica.

3. **Seca Agrícola:** As combinações dos tipos de seca meteorológica e hidrológica estão diretamente ligadas aos impactos na agricultura, ocasionando assim, a seca agrícola. Esse tipo de seca está basicamente associado à disponibilidade de água no solo para suportar o crescimento e desenvolvimento das plantas. A umidade deficiente no solo junto à cultura pode afetar a germinação, o crescimento e o desenvolvimento da planta, conduzindo à redução do rendimento final. A seca agrícola geralmente manifesta-se após a seca meteorológica, mas antes da seca hidrológica (PIRES, 2003 apud FERNANDES, 2009).

4. **Seca Socioeconômica:** A seca socioeconômica está relacionada com o impacto da seca sobre as atividades humanas, incluindo os impactos diretos e indiretos na produção agrícola e outras atividades econômicas. Ocorre quando o déficit de água induz a falta de bens ou serviços (energia elétrica, alimentos, entre outros) devido a um volume de água inadequado, resultante

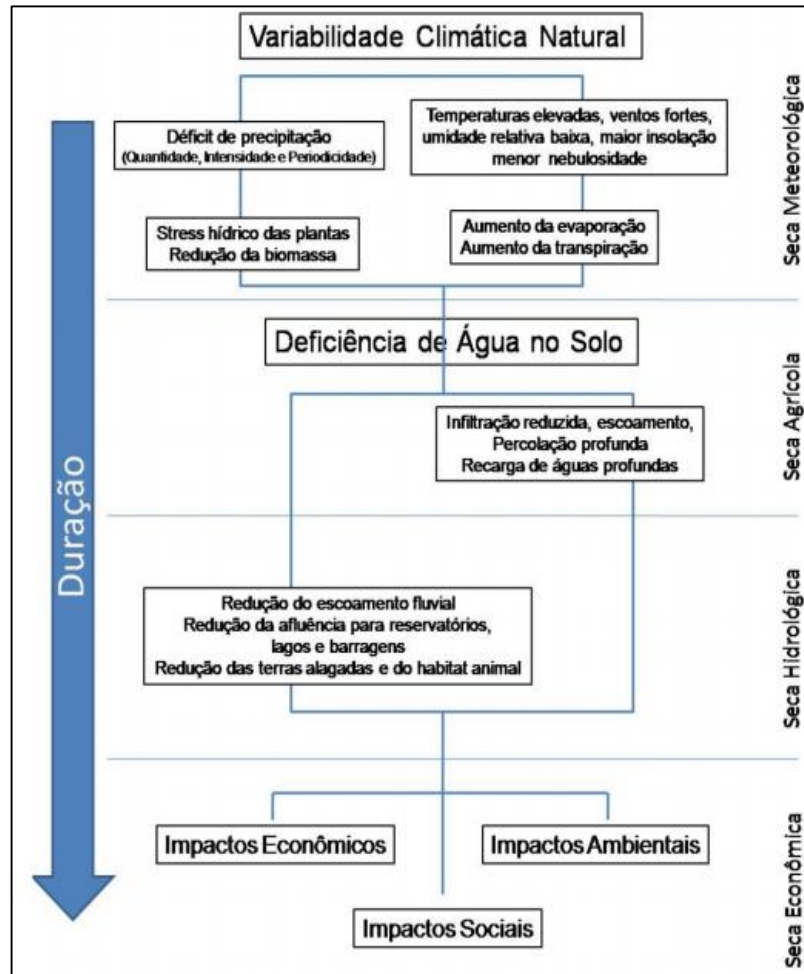
de uma má distribuição das chuvas, de um aumento no consumo, ou ainda de um mau gerenciamento dos recursos hídricos (FERNANDES, 2009).

Segundo ALBUQUERQUE (2010), a seca difere das outras catástrofes naturais devido aos seguintes fatores:

- i. Trata-se de um fenômeno em que os efeitos se acumulam lentamente, sobre um período de tempo considerável. Geralmente requer um mínimo de dois ou três meses para começar a se estabelecer e pode se prolongar por anos, após o término do evento;
- ii. A ausência de uma definição precisa e universalmente aceita da seca aumenta a confusão sobre a existência ou não dela e em caso afirmativo, seu grau de gravidade;
- iii. Os impactos da seca geralmente atingem extensões maiores do que dos danos causados por outros riscos naturais.

A Figura 1 mostra a sucessão e a possível evolução temporal na cadeia de fenômenos resultantes de uma seca, passando por todos os tipos de seca citados anteriormente. Tem início pela seca meteorológica, a qual desencadeia uma série de eventos que resultam em uma seca agrícola e, mais tarde, em função da longa duração do período da seca, torna-se uma seca hidrológica com impactos na afluência para reservatórios e lagos. Por último, ocorre a seca socioeconômica, que impacta os setores sociais, ambientais e econômicos. A dimensão e a gravidade do problema são basicamente dependentes da extensão e da duração da seca meteorológica.

Figura 1 – Evolução das secas em função da duração e dos impactos



Fonte: FERNANDES (2009)

3.4 Índices de seca

A compreensão mais eficaz para investigar a seca e seus impactos, incluindo seu começo e o seu fim, está na utilização de índices criados por vários pesquisadores para medir a severidade da seca. Os índices de seca assimilam vários anos de variáveis meteorológicas como: precipitação, temperatura do ar, evapotranspiração, escoamento superficial, umidade do solo, entre outras variáveis, e assim as combinam a fim de identificar o início de um período de seca. Nenhum índice é perfeito para todas as situações (FERNANDES, 2009).

Segundo ALBUQUERQUE (2010) os vários tipos de índices são classificados de acordo com o tipo de seca que eles definem:

i. Índices de secas meteorológicas são associados a variáveis climatológicas como precipitação, temperatura e evaporação. Exemplos deste tipo de índices são: índice de anormalidades discretas e acumuladas de precipitação; índice de quantils (quintils, decils, percentis); índice da percentagem de precipitação média; índice de severidade de seca de Palmer (PDSI), índice padronizado de precipitação (SPI).

ii. Índices de secas hidrológicas incluem no seu cálculo variáveis relacionadas ao sistema de água como níveis de água subterrânea, vazões, armazenamento de reservatórios, umidade de solo e acúmulo de neve. Alguns índices são: índice de déficit total de água; índice hidrológico de seca de Palmer (PHDI); índice de fonte de água da superfície (SWSI).

iii. Índices de secas agrícolas em que no seu cálculo são considerados fatores relacionados a cultivos e propriedades do solo, como umidade, temperatura, evapotranspiração, entre outros. Exemplos destes índices são: índice de umidade de colheita (CMI); índice de anormalidade da umidade de Palmer (índice Z); balanço hídrico; índice de aridez (IA) e índice de anormalidade de umidade.

Para a utilização destes índices necessita-se de atenção, devido à grande parte destes utilizarem parâmetros que podem não ser adequados à realidade climática da região. Outro problema da aplicação de alguns destes índices é que a obtenção de resultados consistentes necessita de uma série histórica de dados longo, além de existirem algumas variáveis que são de difícil obtenção (ALBUQUERQUE, 2010).

Quadro 2 - Resumo dos índices de seca

Índice de seca	Aplicação	Vantagens	Desvantagens
Índice Porcentagem Normal (PN) “Percent of Normal”	Meteorológico	Um simples cálculo efetivo para comparação entre uma única região ou estação	Desde que a “normal é uma construção matemática baseada em um número limitado de anos, não pode sempre refletir tendências climáticas
Decis (D) “Deciles”	Meteorológico	Remove algumas fraquezas de aproximação do PN, fornecendo uma medida estatística exata da precipitação.	Exige no mínimo 30 anos de registro de dados
Índice de Precipitação Padronizada (SPI)	Meteorológico	O SPI pode ser calculado para diferentes escalas de tempo. Possibilita o aviso prévio da	Os valores de SPI são baseados em dados

Índice de seca	Aplicação	Vantagens	Desvantagens
“Standardized Precipitation Index”		seca e ajuda a avaliar a severidade da seca, além de ser menos complexo que o PDSI.	preliminares e podem mudar.
Índice de Anomalia de Chuva (RAI) “Rainfall Anomaly Index”	Meteorológico	Difere do índice SWSI por adicionar o valor de temperatura. Diferenças entre o RAI e os mais complexos índices de Palmer são insignificantes	O indicativo de ano seco, nem sempre garante a ausência de cheias em uma região estudada
Índice de Seca de Bhalme & Mooley (BMDI) “Bhalme & Mooley Drought Index”	Meteorológico	O índice (Z) de umidade do algoritmo de Palmer foi substituído por um índice mais simples de precipitação mensal calculado somente com dados de precipitação. O índice é eficaz para analisar as regiões tropicais.	Como considera somente os dados de precipitação, não é um bom indicador regional de seca.
Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (MBMDI) “Modified Bhalme & Mooley Drought Index”	Meteorológico, agrícola	Melhoria e adaptação do índice BMDI às condições regionais. Sensível à variação da umidade do solo.	O MBMDI, assim como o índice de Palmer, é válido apenas para locais com solos de composições físicas idênticas.
Índice de Severidade de Herbst (HSI) “Herbst Severity Index”	Meteorológico	O HSI é uma ferramenta que melhor se aplica em locais que tenham secas de longo período, como o nordeste brasileiro.	Como o total de precipitação varia de ano a ano, espera-se que as culturas típicas estejam ajustadas à variabilidade média de precipitação
Índice de Abastecimento de Água em Superfície (SWSI) “Surface Water Supply Index”	Hidrológico	O índice supriu elementos hidrológicos que faltaram ao PDSI.	Mudar uma estação de coleta de dados ou as políticas de gerenciamento de água requer que um novo algoritmo seja calculado. O índice é único para cada bacia, o que limita a comparações entre bacias.
Índice de Recuperação de Seca (RDI) “Reclamation Drought Index”	Hidrológico	Como o SWSI, o RDI é calculado à nível de bacia, só que adiciona ao cálculo a variável temperatura. Sua característica principal é esclarecer fatores climáticos e o suprimento de água.	Devido ao fato do índice ser único para cada bacia, as comparações entre bacias são limitadas.
Índice de Umidade da Cultura (CMI) “Crop Moisture Index”	Agrícola	Identifica potenciais secas agrícolas.	Não é eficiente na monitoração à longo prazo da seca.

Índice de seca	Aplicação	Vantagens	Desvantagens
Índice de Estresse Hídrico da Cultura (CWSI) “Crop Water Stress Index”	Agrícola	Vários autores enfatizam o uso do CWSI em programas de irrigação e monitoramento de estresse hídrico de culturas em regiões áridas.	-
Índice de Desvio de Chuva de Lamb (LRDI) “Lamb Rainfall Departure Index”	Meteorológico	Uma das principais vantagens desse índice é que todas as séries de precipitação, mesmo apresentando falhas, podem ser usadas na determinação do índice regional.	-
Índice de Seca Efetiva (EDI) “Effective Drought Index”	Meteorológico	O índice é calculado em escala diária e é uma função da precipitação necessária, ou seja, que está faltando para retornar para as condições normais (climatológicas). Os valores de EDI são normalizados, podendo comparar secas de diversas localidades.	Utiliza dados diários de precipitação, muitas vezes esses dados não estão disponíveis para as regiões que se pretende estudar.
Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) “Palmer Drought Severity Index”	Meteorológico, agrícola	Utiliza um algoritmo para calcular o balanço hídrico e a umidade do solo, baseado na temperatura e precipitação como dados de entrada, além de ser particularmente útil para aplicações agrícolas.	Os valores de Palmer podem não identificar as secas tão facilmente como outros índices.

Fonte: Adaptado de FERNANDES (2009)

Dos índices citados na tabela anterior o PSDI é bastante utilizado nos Estados Unidos para determinar quando permitir assistência emergencial da seca e em planos contingenciais, mas é bastante criticado pela quantidade de variáveis utilizadas, e principalmente pelos parâmetros serem mais específicos às características naturais dos EUA. O índice Deciles é mais utilizado na Austrália. O SPI, apesar de ser mais recente (1993), tem sido muito utilizado com sucesso em vários países como África do Sul (ALBUQUERQUE, 2010).

KEYANTASH E DRACUP (2002) avaliaram multicriterialmente dezoito índices de seca, segundo os critérios de robustez, manejabilidade (praticidade), transparência, sofisticação, dimensionalidade e extensão. O resultado apontou para o deciles e SPI como os melhores índices para a caracterização de seca meteorológica. Os autores destacaram o SPI como ótimo índice para estimar a severidade da seca (ALBUQUERQUE, 2010).

Neste trabalho foi utilizado o Índice Padronizado de Precipitação – SPI devido aos relatos de excelência deste para a análise da severidade da seca.

3.5 Interpretação do Índice SPI para Diferentes Escalas de Tempo

O déficit de precipitação possui diferentes impactos na água subterrânea, no armazenamento do reservatório, na umidade do solo e nos escoamentos dos rios. Isso fez com que McKee et al. (1993) desenvolvessem o Índice de Precipitação Padronizado (SPI). Esse índice quantifica o déficit de precipitação para múltiplas escalas de tempo que refletem o impacto da seca na disponibilidade de fontes de água. As condições de umidade de solo respondem às anomalias de precipitação em uma escala de tempo relativamente curta. O armazenamento de água subterrânea, dos fluxos de rios e do reservatório refletem as anomalias de precipitação a longo prazo. Por essa razão, McKee et al. (1993) originalmente calcularam o índice em escalas de tempo de três, seis, doze, vinte e quatro e quarenta e oito meses (FERNANDES, 2009).

O SPI foi desenvolvido de modo a ser um indicador de seca, que reconhece a importância das escalas de tempo que afetam vários tipos de necessidades de água. Deste modo, é calculado considerando séries e períodos médios, selecionados de modo a se determinar séries de escalas de tempo de i meses, $i = 1, 2, 3, \dots, 12, \dots, 24, \dots$ meses. O número de meses (i) é arbitrário, mas os valores escolhidos representam escalas de tempo de déficit de precipitação importantes (DOMINGOS, 2006).

A seguir são mostradas as interpretações de SPI para duas escalas de tempo.

i. Interpretação SPI de 3 meses

O SPI-3 meses fornece uma comparação da precipitação ao longo de um período específico de 3 meses, com totais de precipitação desse mesmo período de 3 meses para todos os anos da série de tempo. Assim, o SPI-3 meses para o fim de Fevereiro compara a precipitação total de Dezembro-Janeiro-Fevereiro de um determinado ano com totais de precipitação de Dezembro a Fevereiro de todos os anos da série.

O SPI-3 meses reflete condições de água no solo a curto e médio prazo e fornece uma estimativa da precipitação sazonal. O SPI-3 meses tem grande aplicação na análise da água disponível no solo. É importante comparar o SPI-3 meses com escalas de tempo mais longas, pois um período de 3 meses normal pode ocorrer no meio de um período longo de seca, sendo

só visível em escalas de tempo mais longas. Tal como o SPI-1 mês, o SPI-3 meses é igualmente muito sensível a grandes variações da quantidade de precipitação em regiões e períodos do ano onde a precipitação seja muito reduzida ou muito elevada. Deste modo é igualmente necessário ter em conta a climatologia da região, de forma a verificar se os valores anormalmente elevados ou baixos têm tradução em elevadas ou escassas quantidades de precipitação que justifiquem atenção especial (DOMINGOS, 2006).

ii. Interpretação SPI de 12 meses

O SPI nestas escalas de tempo reflete padrões de precipitação de longo prazo. Um SPI-12 meses efetua a comparação da precipitação de 12 meses consecutivos com os mesmos 12 meses dos anos anteriores da série histórica. Como esta escala de tempo é o resultado cumulativo de períodos mais curtos que podem estar acima ou abaixo do normal, o SPI mais longo vai tender para zero, exceto quando uma tendência específica está a ocorrer (período seco ou chuvoso prolongado).

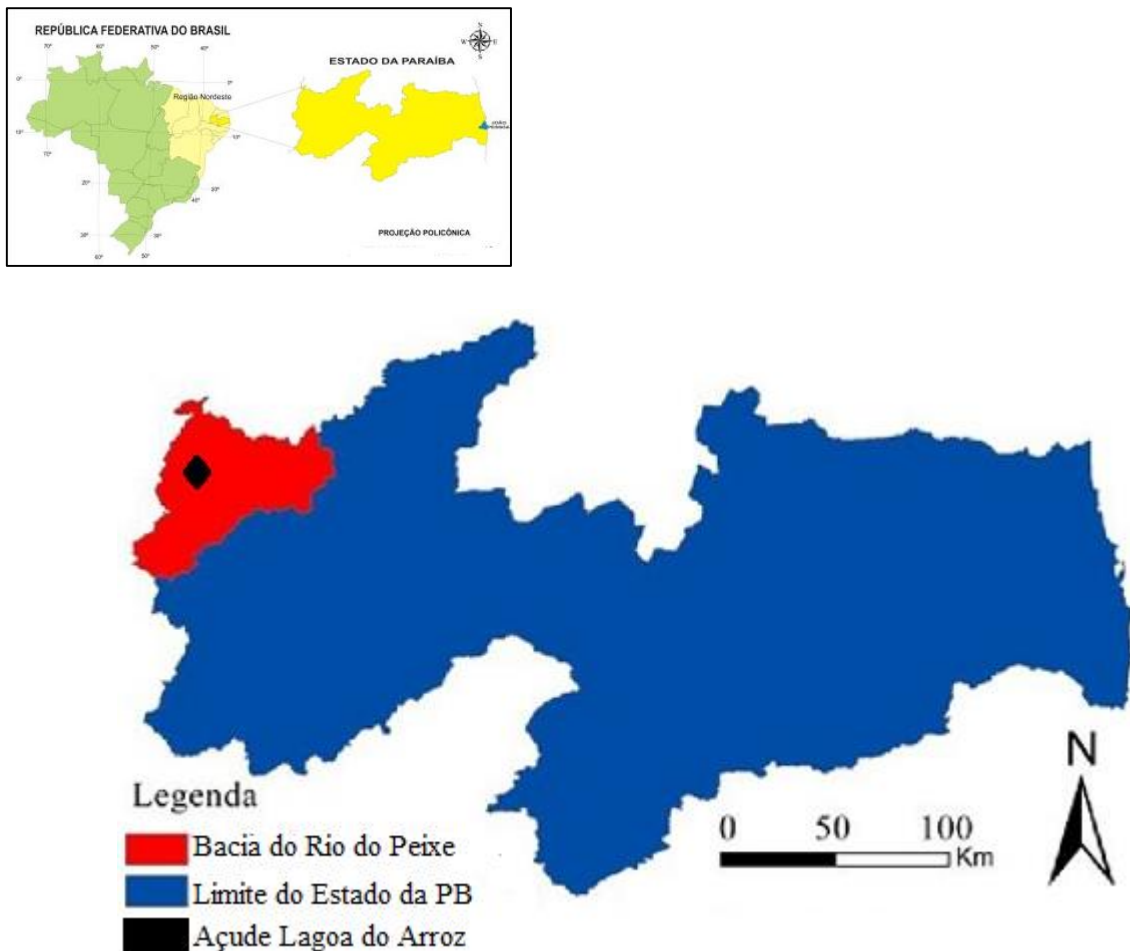
O SPI-12 meses está diretamente associado a falta de água em reservas de água, caudais e níveis de água subterrânea, os quais correspondem a escalas de tempo longas. Valores negativos deste índice podem estar, no entanto, associados a valores positivos em períodos inferiores a 12 meses, o que pode num determinado momento mascarar os efeitos acumulados de um período longo com tendência para quantidades de precipitação reduzidas (DOMINGOS, 2006).

4. METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área de estudo

A Bacia do Rio do Peixe encontra-se situada no limite NW do Estado da Paraíba com o Ceará, mais precisamente entre os meridianos $37^{\circ} 47' 00''$ e $38^{\circ} 50' 00''$ de longitude oeste e entre os paralelos $06^{\circ} 25' 00''$ e $06^{\circ} 50' 00''$ de latitude sul, abrangendo uma área de aproximadamente $3420,84 \text{ km}^2$ (SILVA, 2009), como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Estado da Paraíba e localização da área de estudo



Fonte: Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662012000500010&script=sci_arttext >

Acesso em novembro de 2015

Fonte: Disponível em: http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA_0UAF/classificacao-mapeamento-das-terras-mecanizacao-agricola-estado-paraiba-utilizando-sistemas-informacao-geografica?part=5. Acesso em novembro de 2015.

A região da Bacia do Rio do Peixe conta com 17 municípios, sua população total é de 219.333 habitantes, dos quais 75.854 (34,6%) vivem na zona rural e 143.481 (65,4) vivem nas cidades, de acordo com o censo demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O município de Sousa o mais populoso com 65.807 habitantes, correspondendo a 30,0% do total da bacia. Quanto ao município menos populoso, Bom Jesus conta com apenas 2.399 habitantes, correspondendo a 1,09% do total. De acordo com os dados do IBGE, 12 dos 17 municípios da bacia do Rio do Peixe apresentam predomínio de população rural, destacando-se Vieirópolis com 75,40% de sua população vivendo no campo. Apenas os municípios de Sousa, Cajazeiras, Santa Helena, Marizópolis e Uiraúna apresentam um predomínio de população urbana. O destaque vai para o município de Cajazeiras com 81,27% de sua população vivendo na cidade.

A Bacia do Rio do Peixe está localizada na porção semiárida do Nordeste do Brasil, onde se distinguem apenas duas estações climáticas por ano: a seca e a chuvosa. A última ocorre nos primeiros meses do ano, sujeita, porém a grande variabilidade espacial e temporal (Ministério de Minas e Energia, 2005).

A pluviometria média anual segundo observações efetuadas nas estações de Cajazeiras, Souza e Pombal revelam valores de 880,6, 783,9 e 730,9 mm respectivamente. A distribuição das chuvas durante o ano, conforme acima mencionado, apresenta-se de modo irregular no espaço e no tempo. Em Cajazeiras 78,4% do total das chuvas concentra-se em 4 meses (janeiro e abril), em Pombal 75,5% e em Souza 78,7% para o mesmo período (MME, 2005)

A evapotranspiração potencial na área de estudo é elevada, apresentando para as estações de Cajazeiras, Souza e Pombal valores de 1.679,5, 1.922,1 e 1.925,1 mm, respectivamente. Sem dúvida, de todos os elementos que caracterizam o clima de uma região, as precipitações e a evapotranspiração são os mais importantes dentro de um estudo de planejamento dos recursos hídricos, pois afetam diretamente o balanço hídrico (MME, 2005).

A área da bacia do rio do Peixe tem uma vegetação tipicamente de caatinga arbóreo arbustiva, densa, caracterizada por possuírem vegetais de aspectos raquíticos lenhosos, composta de arbustos e subarbustos espinhosos, que bem se adaptam ao clima semiárido típico da região. Dentre as espécies mais frequentes ocorrem: aroeira (*Lythraea brasiliensis*), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), facheiro (*Cereus squamosus*), jurema (*Mimosa sp*), mofumbo (*Cobretum leprosum*), pinhão-bravo (*Jatropha pohliana*), xique-xique (*Pilocereus*

gounellei) e imburana (*Bursera leptophlocos*). Na área correspondente aos leitos e margens dos cursos de água da região é comum a ocorrência de freatófitas, distinguindo-se a carnaubeira (*Copernicia prunifera*) e a Oiticica (*Clarisia racemosa Ruiz e Pav.*) (MME, 2005).

4.2 Levantamento de dados

Dados de precipitação: Os dados são provenientes de seis postos pluviométricos distribuídos na bacia hidrográfica, são eles: Arapuá, Nazarezinho, Sousa, Lagoa, Luís Gomes e Alexandria. As séries históricas abrangiam dados da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), da AESA/PB e da EMPARN/RN, entre janeiro/1962 e julho/2015.

Volume do reservatório: Os dados de volumes observados nos reservatórios de Pilões, Capivara e Lagoa do Arroz foram obtidos da AESA/PB. A série abrange o período entre os anos 1994 e 2015. No entanto, ressalta-se que existe um grande número de dados faltosos de volumes observados nas séries analisadas.

4.3 Determinação da precipitação média

Para calcular a precipitação média de uma superfície qualquer, é necessário utilizar as observações dos postos dentro dessa superfície e nas suas vizinhanças. A precipitação média referente aos seis postos pluviométricos citados anteriormente foi determinada através do método dos polígonos de Thiessen. A seguir é apresentado uma explicação breve sobre esse método.

Métodos dos Polígonos de Thiessen

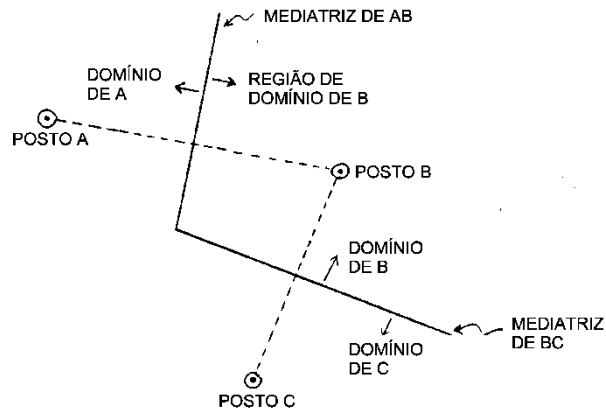
Polígonos de Thiessen são áreas de “domínio” de um posto pluviométrico. Considera-se que no interior dessas áreas a altura pluviométrica é a mesma do respectivo posto.

Os polígonos são traçados da seguinte forma:

1º) Dois postos adjacentes são ligados por um segmento de reta;

2º) Traça-se a mediatriz deste segmento de reta. Esta mediatriz divide para um lado e para outro, as regiões de “domínio”.

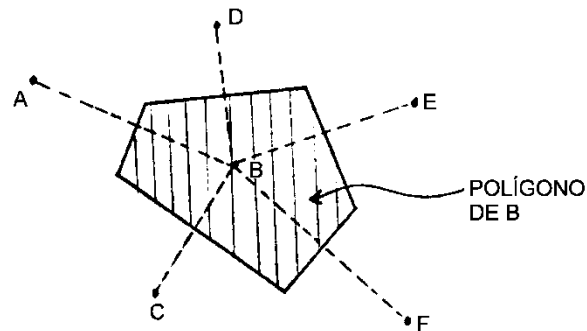
Figura 3 - Traçado da mediatriz



Fonte: elaborado pelo autor

3º) Este procedimento é realizado, inicialmente, para um posto qualquer (ex.: posto B), ligando-o aos adjacentes. Define-se, desta forma, o polígono daquele posto.

Figura 4 – Definição do polígono de área



Fonte: elaborado pelo autor

4º) Repete-se o mesmo procedimento para todos os postos.

5º) Desconsidera-se as áreas dos polígonos que estão fora da bacia.

6º) A precipitação média na bacia é calculada pela expressão:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \bar{P}_i}{A}$$

Onde: \bar{h} é a precipitação média na bacia (mm); h_i é a precipitação no posto i (mm);

A_i é a área do respectivo polígono, dentro da bacia (km²); A é a área total da bacia.

4.4 Análise dos dados de precipitação

Os dados de precipitação foram avaliados com base na série histórica (1962-2015) através de gráficos de distribuição temporal - mensal e anual - e análise das chuvas anuais.

4.5 O índice SPI

O cálculo do índice SPI para qualquer local é baseado no registro de precipitação de longo prazo ajustado a uma distribuição de probabilidade. Essa distribuição é então transformada para uma distribuição normal, de modo que que permite a análise dos déficits e excessos de precipitação em diversas escalas tempo e provê informações de frequência e probabilidade de ocorrência. Os valores positivos de SPI indicam a excesso de água e negativos, escassez. Devido ao fato do SPI ser normalizado, climas mais secos ou úmidos podem ser representados no mesmo modo. Assim, períodos úmidos podem também ser monitorados usando o SPI (FERNANDES, 2009).

Para o cálculo do SPI, deve-se utilizar uma base de dados de precipitação com pelo menos 30 anos, sendo ajustado por meio da distribuição gama, que posteriormente é transformada em uma distribuição normal, que por definição, apresenta sua média com valor zero e variância unitária.

O cálculo do SPI consiste inicialmente em ajustar a função densidade de probabilidade gama, a uma dada distribuição de frequência do total de precipitação para uma estação. A distribuição gama é dada por:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (\text{equação 1})$$

Onde: $\alpha > 0$ é o parâmetro de forma (adimensional); $\beta > 0$ é o parâmetro de escala (mm); $x > 0$ é a quantidade de precipitação (mm).

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \rightarrow \text{função gama (equação 2)}$$

Os parâmetros α e β da função densidade de probabilidade gama, são estimados para cada estação para as escalas de tempo que interessam estudar e para cada mês do ano. Utilizam-se as soluções de máxima verosimilhança para estimar α e β :

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (\text{equação 3})$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (\text{equação 4})$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x) \quad (\text{equação 5})$$

Onde: \bar{x} é a média aritmética da precipitação (mm) e N é o número de observações de precipitação.

Os parâmetros resultantes são utilizados para determinar a probabilidade cumulativa de um evento de precipitação observado para um determinado mês e para a escala de tempo desejada para uma certa estação.

A probabilidade cumulativa é dada por:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad (\text{equação 6})$$

Fazendo $t = x/\hat{\beta}$, a equação 6 transforma-se na função gama incompleta:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (\text{equação 7})$$

Visto a função gama $\Gamma(\hat{\alpha})$ não estar definida para $x = 0$ e a distribuição de precipitação poder conter zeros, a probabilidade cumulativa toma o seguinte aspecto:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (\text{equação 7})$$

Onde: $H(x)$ é a distribuição de probabilidade cumulativa; q é a probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros); $G(x)$ é a distribuição cumulativa teórica.

Se m é o número de zeros em uma série temporal de precipitação, Thom (1966) indica que q pode ser estimado por $m/n + 1$. Thom (1966) usa tabelas da função gama incompleta para determinar a probabilidade cumulativa $G(x)$. McKee et al. (1993) usam um método analítico junto com um código de software sugerido por Press et al. (1988) para determinar a probabilidade cumulativa (FERNANDES, 2009)

A distribuição de probabilidade cumulativa $H(x)$ é então transformada em uma variável aleatória normalizada (Z) com média zero e desvio padrão 1, onde a variável (Z) corresponderá ao valor de SPI. Essa é uma transformação equiprobabilística que Panofsky e Brier (1958) definiram como uma característica essencial para transformar uma variável de distribuição gama para uma variável com uma distribuição normal, onde a probabilidade de ser menor que um valor dado será igual à probabilidade de ser menor que o valor correspondente da variável transformada. As probabilidades cumulativas empíricas foram bem desenvolvidas por Panofsky e Brier (1958), onde os dados de precipitação são ordenados em ordem crescente de magnitude, de forma que os valores são baixos e onde o tamanho da amostra é dado pela equação 8:

$$q = \frac{m}{n + 1} \quad (\text{equação 8})$$

Onde: $m \rightarrow$ número de ordem dos valores de zero em uma série climatológica

$n \rightarrow$ tamanho da amostra

Visto que seria desnecessário reproduzir vários gráficos para cada localidade e em todas as escalas temporais possíveis e para cada mês do ano, o valor de (Z) ou SPI é obtido mais facilmente pela aproximação matemática desenvolvida por Abramowitz e Stegun (1965), que converte a probabilidade cumulativa em uma distribuição normal a variável (Z).

Em que Z é definido pelas equações 9 e 10:

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (\text{equação 9})$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0.5 < H(x) \leq 1.0 \text{ (equação 10)}$$

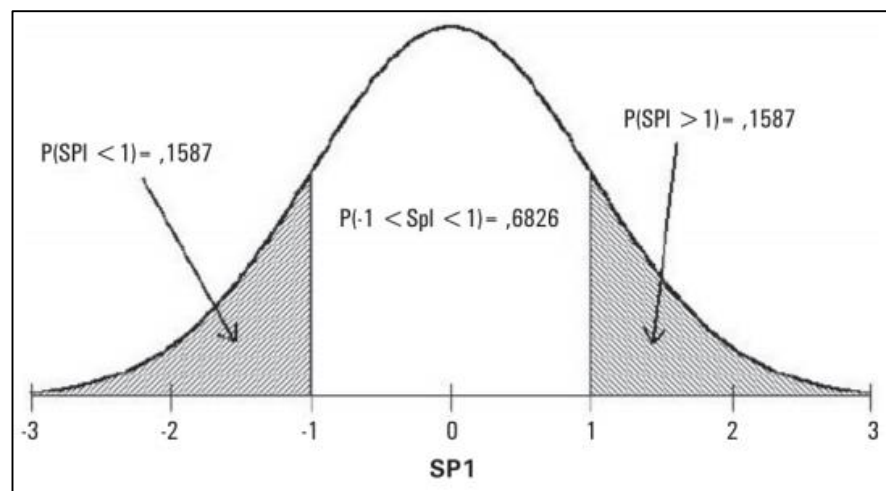
$$\text{Onde: } t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \text{ para } 0 < H(x) \leq 0.5 \text{ (equação 11)}$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1 - H(x))^2}\right)} \text{ para } 0.5 < H(x) \leq 1.0 \text{ (equação 12)}$$

Os coeficientes usados nas equações 11 e 12 são: $c_1 = 0,802853$; $c_2 = 0,010328$; $d_1 = 1,432788$; $d_2 = 0,189269$; $d_3 = 0,001308$.

Conceitualmente, o SPI representa o z-score, ou seja, o número de desvios padrão acima e abaixo do qual um evento (valor) se encontra em relação à média. Entretanto, isso não é totalmente correto para escalas curtas de tempo, visto que a distribuição original da precipitação original não é assimétrica. No entanto, a Figura 5 ilustra que durante o período base, no qual os parâmetros gama são estimados, o SPI terá uma distribuição normal com valor esperado 0 e variância 1. Um índice com essas características é desejável de modo a permitir comparações de valores do índice para diferentes localidades e regiões significantes (FERNANDES, 2009).

Figura 5 - Distribuição normal com o SPI tendo uma média de 0 e uma variância de 1.



Fonte: FERNANDES, (2009)

McKee et al. (1993) usaram os valores de SPI para definirem a existência ou não de seca e o seu grau de intensidade. Segundo os autores, a seca ocorre sempre que o valor do SPI é continuamente negativo, atingindo uma intensidade igual ou menor que menos um (-1,0). A seca termina quando o valor do SPI se torna positivo. A classificação é feita com base nos limites indicados na Tabela 1, permitindo caracterizar não somente as secas, mas também os períodos mais úmidos. Esse método tem a grande vantagem de padronizar a análise, permitindo comparar regiões totalmente distintas, como por exemplo regiões com climas mais úmidos e chuvosos com regiões mais áridas e secas. As secas ocorrem com valor de SPI menor que -0,5.

Tabela 1 - Classificação do Índice de Precipitação Padronizada

SPI	Classificação
$\geq 2,00$	Chuva extrema
1,99 a 1,50	Chuva severa
1,49 a 1,00	Chuva moderada
0,99 a 0,50	Chuva fraca
0,49 a -0,49	Normal
- 0,50 a -0,99	Seca fraca
-1,00 a -1,49	Seca moderada
-1,50 a -1,99	Seca severa
≤ -2.00	Seca extrema

Fonte: MCKEE, apud DOMINGOS (2006)

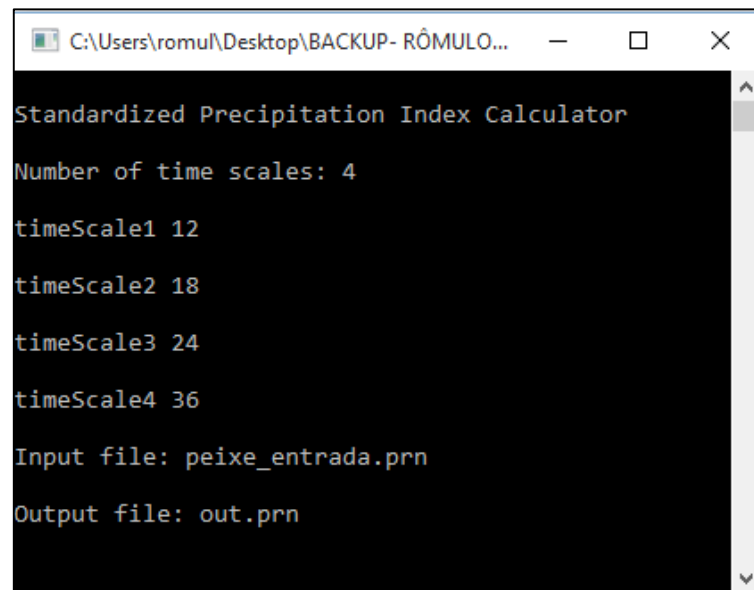
De uma maneira geral, pode dizer-se que o SPI representa a quantidade de precipitação para uma dada escala de tempo, dando a indicação da relação desta quantidade com a normal indicando deste modo se está a ocorrer um período seco ou chuvoso.

É importante salientar que quanto maior for o período usado para calcular a distribuição dos parâmetros, maior é a probabilidade de se obter melhores resultados (por ex.: 50 anos é melhor que 20 anos). Deste modo, pode-se usar um período de tempo muito longo para calcular os parâmetros da distribuição e depois extrair os valores do SPI apenas para um determinado período de tempo (DOMINGOS, 2006).

4.6 Cálculo do SPI

O cálculo do SPI foi efetuado com um script desenvolvido pelo Centro Nacional de Mitigação das Secas dos Estados Unidos (NDMC)¹, cuja interface está mostrada na Figura 6.

Figura 6 - Programa utilizado para o cálculo do SPI.



```
C:\Users\romul\Desktop\BACKUP- RÔMULO... - □ ×
Standardized Precipitation Index Calculator
Number of time scales: 4
timeScale1 12
timeScale2 18
timeScale3 24
timeScale4 36
Input file: peixe_entrada.prn
Output file: out.prn
```

Fonte: elaborado pelo autor

Nesse programa devemos inserir o número de escalas temporais, neste trabalho foram 12 meses, 18 meses, 24 meses e 36 meses. Após deve-se inserir o nome da pasta onde se encontram os dados de precipitação (nesse caso o nome da pasta era *peixe_entrada*). Por fim basta inserir o tipo de arquivo de saída e apertar enter.

Foram escolhidas escalas temporais maiores (12, 18, 24 e 36 meses) porque estas indicam (ou representam) melhor as secas hidrológicas.

¹ <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>

4.7 Reservatório escolhido para ser analisado: Lagoa do Arroz

Existiam dados disponíveis de três reservatórios: Capivara (localizado no município de Uiraúna), Lagoa do Arroz (em Cajazeiras) e Pilões (localizado no município de Pilões). O principal motivo que levou a escolha de Lagoa do Arroz foi o fato dos outros dois reservatórios terem muitos dados faltosos, o que prejudicava a análise ao longo do tempo.

O objetivo principal do reservatório, além da piscicultura e cultura de vazante, é a perenização do riacho Cacaré para irrigação a jusante, onde existem cerca de 1.800 ha de solos aluviais irrigáveis. A partir do consumo anual de 13.160m³ /ha, verificado para a cultura do arroz em São Gonçalo, definiu-se em 800 ha a área irrigável a partir do lago formado (DNOCS, 2016).

O reservatório tem 80.220.750 m³ de capacidade, regularizando uma vazão de 0,96 m³/s, com uma área inundada de 1.228 ha. Possui ainda um Volume Morto de 4.805.000 m³, o que equivale a 6% do volume total.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Inicialmente são analisados os dados de precipitação, por meio de gráficos e tabelas, para posteriormente analisar os resultados do SPI.

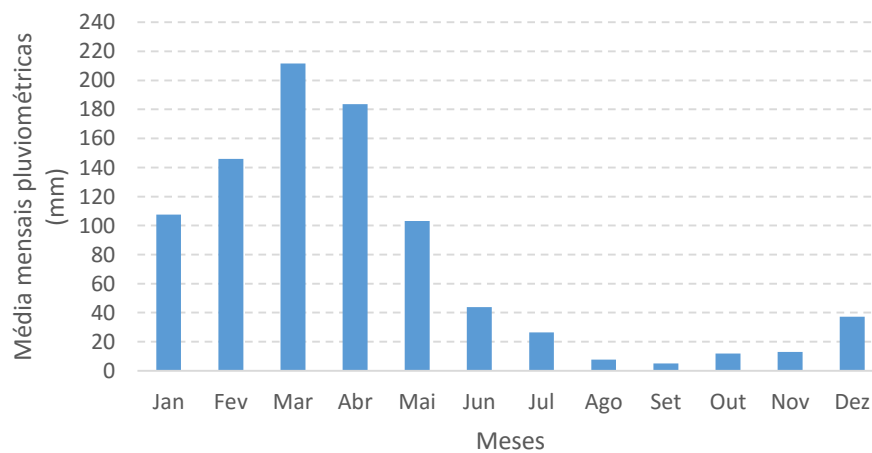
5.1 Análise dos dados de precipitação

Pela análise dos dados de precipitação logo percebe-se uma grande variabilidade de chuva na Bacia do Rio do Peixe. A média pluviométrica anual é de 894,5 mm. Pela Figura 7 observa-se uma concentração das chuvas na primeira metade do ano, chovendo acima da média mensal no período de janeiro a maio. Destacam-se os meses de fevereiro, março e abril que juntos respondem por cerca de 60% de toda chuva esperada para o ano inteiro. Percebe-se também que o mês de março é o mais chuvoso ultrapassando, em média, os 211 mm (o que equivale a 23% do esperado para o ano todo).

Por outro lado, de acordo com a figura 7, o segundo semestre apresenta-se muito seco, chovendo pouco mais de 100 mm de julho a dezembro, correspondendo a somente 11% do que é esperado para um ano. Os meses de agosto e setembro são facilmente percebidos como os mais secos.

Observa-se ainda que os níveis de precipitação são crescentes de setembro a março e decrescentes de abril a agosto.

Figura 7- Volumes pluviométricos médios por mês na bacia do Rio do Peixe (1962-2015)



Fonte: elaborado pelo autor

A análise das precipitações anuais na bacia do Rio do Peixe mostra uma média anual de 894,5 mm identificada na Figura 8 pela linha horizontal em destaque.

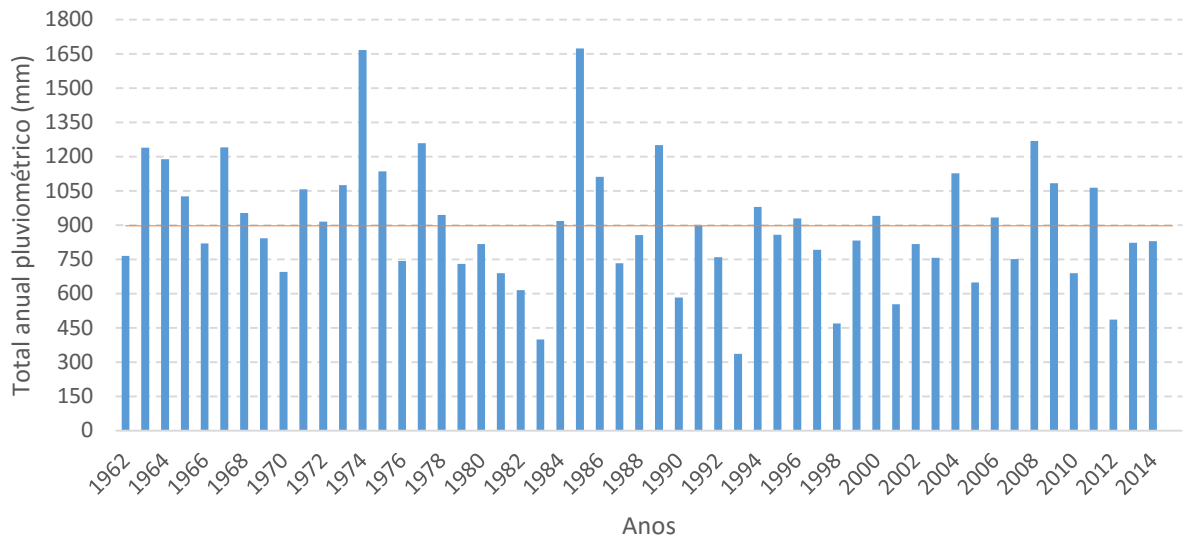
Nessa figura, observa-se que as décadas de 1960 e 1970 foram razoavelmente chuvosas, apresentando apenas 5 anos de chuvas abaixo da média. Destacam-se os anos de 1963, 1967, 1974 e 1977 que ultrapassaram os 1200 mm de chuva, muito superior à média de 894,5 mm (destaque para o ano de 1974 que choveu incríveis 1666 mm).

Diferentemente do que foi dito no parágrafo anterior, as décadas de 1980, 1990 e 2000 apresentaram secas terríveis. A pior de todas ocorreu de 1979 a 1983 onde o auge do problema foi em 1981. Desta seca histórica o ano que menos choveu foi 1983 que registrou apenas 399 mm, menos da metade da média da série histórica em análise.

Outro período prolongado de chuvas escassas ocorreu de 1990 a 1993 (Figura 8) sendo que neste choveu apenas 336 mm, o menor valor para um ano da série histórica em análise.

Ainda pela Figura 8, observa-se que de 1997 a 2003 apenas o ano de 2000 choveu acima da média registrando 939 mm, sendo que o ano de 1998 registrou apenas 469 mm. Um agravante para esse período de pouca precipitação foi o fenômeno do El Niño, que causa o aquecimento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico agravando a seca na região Nordeste. Essa seca foi terrível, 5 milhões de pessoas afetadas, saques a depósitos de comida devido às mortes de animais e lavouras perdidas.

Observa-se também que os anos de 2008, 2009 e 2011 foram anos bem chuvosos, sendo que 2008 apresentou um volume precipitado de 1268 mm. É facilmente percebido que choveu bem menos nas últimas 30 décadas - na área em estudo - em relação as décadas de 1960 e 1970. Dos 53 anos apresentados no gráfico, 29 tiveram chuvas abaixo da média e 24 acima da média.

Figura 8 - Precipitação média anual na bacia do Rio do Peixe (1962-2015)

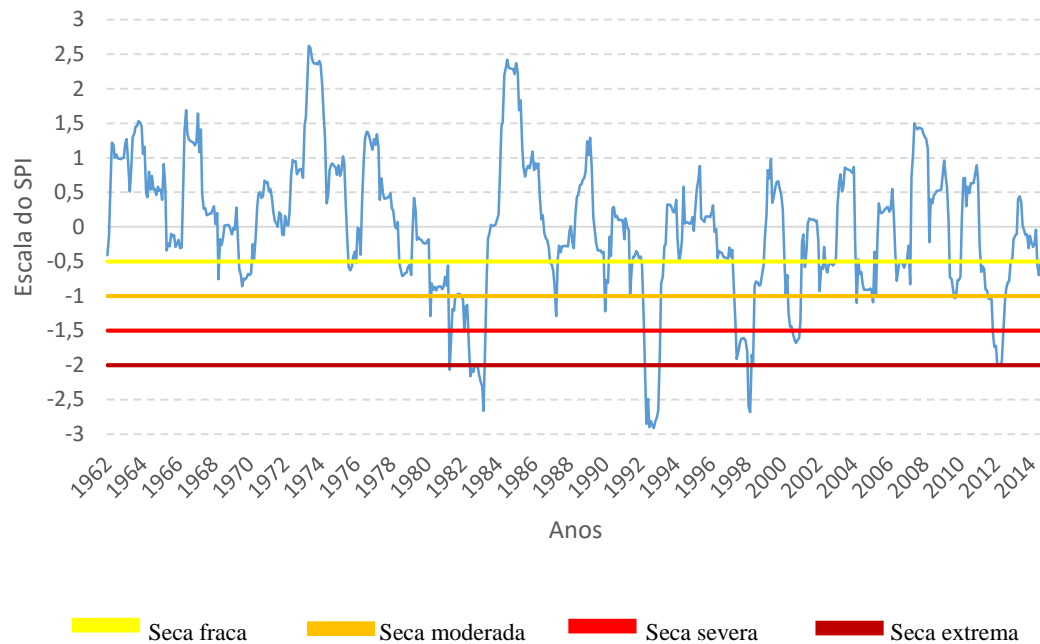
Fonte: elaborado pelo autor

5.2 Análise dos resultados do SPI

A análise dos eventos de seca na bacia do Rio do Peixe foi realizada por meio do SPI, utilizando os critérios de classificação originalmente apresentados por Mckee, Doesken e Kleist (1993), os quais classificam as secas em quatro categorias – fraca, moderada, severa e extrema, com base nos valores de SPI mensal. A seguir são apresentados os resultados desta análise das secas na bacia do Rio do Peixe para as escalas de tempo de 12, 18, 24 e 36 meses.

Nas figuras e tabelas seguintes serão utilizadas as cores: amarelo – seca fraca; laranja – seca moderada; vermelho – seca severa; roxo – seca extrema.

Como já foi mencionado anteriormente, nas décadas de 1960 e 1970 não ocorreram secas significativas – tanto em intensidade quanto em duração. Analisando a Figura 9 percebe-se um primeiro pico no SPI-12 correspondente ao mês de março/1969, registrando um valor de -0,76 (seca fraca). Esse valor não foi detectado pelos SPI de 18, 24 e 36 meses. Isso ocorre porque quanto menor a escala temporal adotada, mais sensível o SPI se torna a variações bruscas, isto é, mais rapidamente o gráfico desce ou sobe, ocasionando secas em meses isolados.

Figura 9 – SPI na escala de 12 meses

Fonte: Elaborado pelo autor

O SPI-12 apresenta muitos períodos curtos de seca (picos) que não são representativos ou significantes no que diz respeito, por exemplo, a impactos na disponibilidade hídrica no local.

No SPI-12 o período mais longo de seca teve duração de incríveis 40 meses – de fevereiro/1981 a abril/1984 – sendo que a intensidade de pico foi de -2,66 em fevereiro de 1984 (esse longo período de seca pode ser facilmente identificado no gráfico do SPI-12). Desse período mencionado, dez meses foram de seca extrema - de maio/1983 a fevereiro/1984 – isso pode ser verificado no apêndice desse trabalho. Essa seca foi a mais prolongada que aconteceu no Nordeste em todo o século XX, por isso merece muito destaque e também foi registrada com muita clareza em todas as escalas de tempo analisadas.

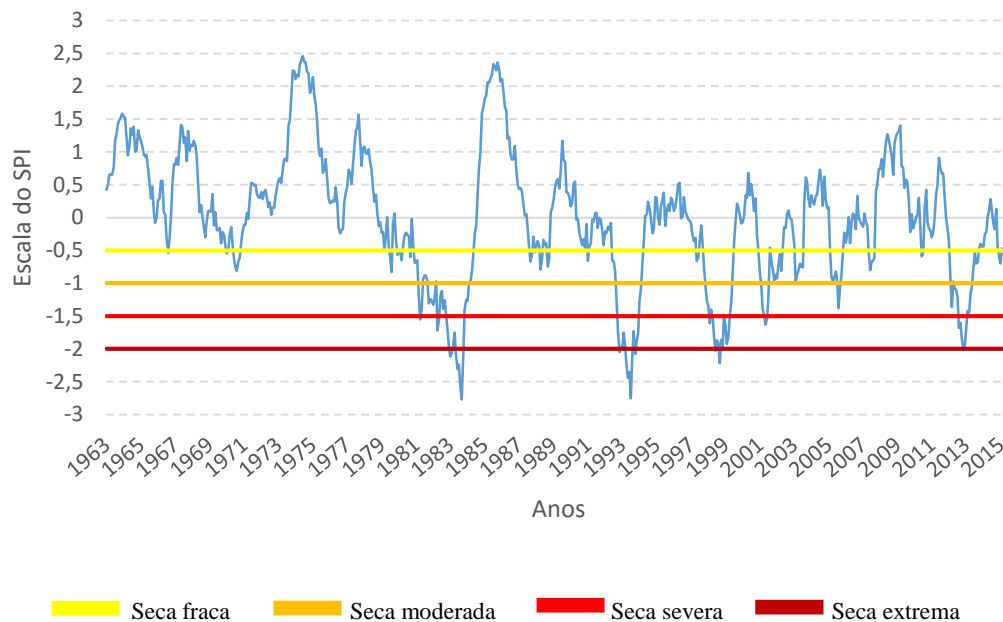
Outro período prolongado de seca apontado pelo SPI-12 ocorreu de janeiro/1993 a março/1994, com uma intensidade de pico de -2,91 em setembro/1993 (muito notório na Figura 9). Foram dez meses de seca extrema, de março/1993 a dezembro/1993 (apêndice).

O último período de seca que se destaca na Figura 9 teve duração de 21 meses, de março/1998 a novembro/1999. Foram 12 meses de seca severa, de maio/1998 a abril/1999.

Tanto nos anos de 1993 e 1994 quanto nos anos de 1998 e 1999, ocorreu o fenômeno do El Niño, que provavelmente contribuiu para esses períodos de seca descritos anteriormente, sendo que em 1998 ocorreu o El Niño mais intenso da história.

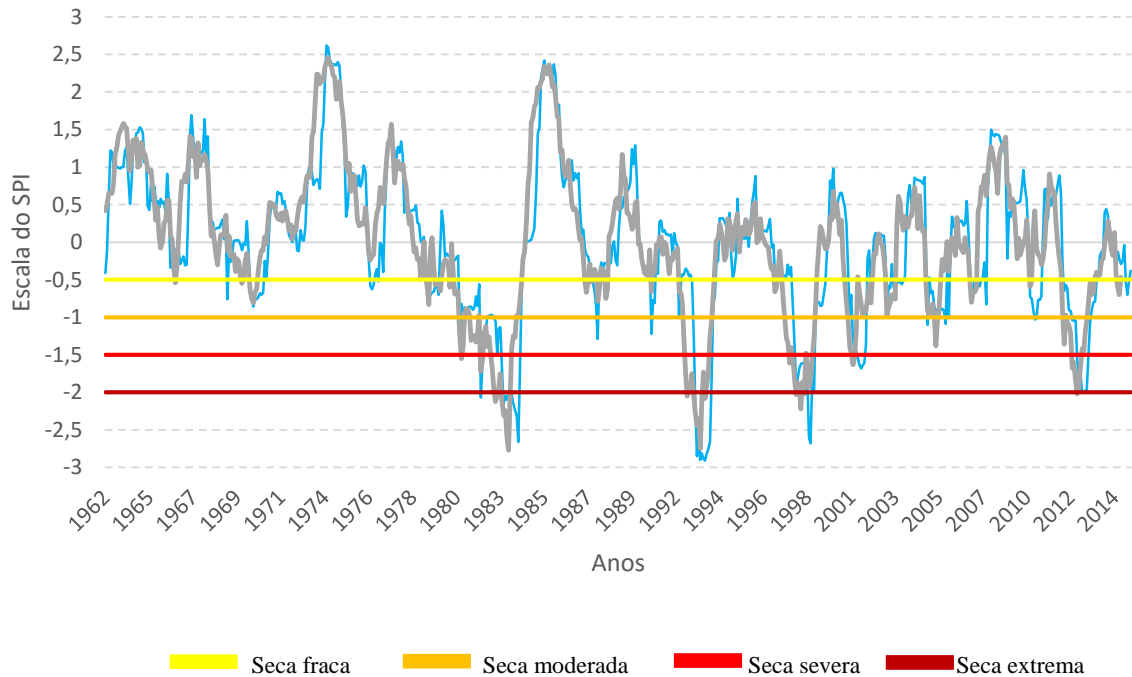
Os períodos que merecem destaque na análise dos resultados do SPI-18 são basicamente os mesmo do SPI-12, mudando a duração. O primeiro grande período seco, facilmente percebido na Figura 10, teve duração de 45 meses entre fevereiro/1981 a outubro/1984, com um pico de intensidade de -2,77 ocorrido em fevereiro/1984 – caracterizando uma seca extrema.

Figura 10 - SPI na escala de 18 meses



Observando atentamente percebe-se que o gráfico do SPI-18 apresenta menos picos e os períodos de seca são mais prolongados (o SPI demora mais a subir) em relação ao SPI-12. Tal fato pode ser observado na Figura 11. Esse é um exemplo de como os gráficos de SPI mudam com o aumento da escala temporal.

Figura 11 – Comparação entre SPI-12 (traço mais fino, em azul) e SPI-18 (traço mais espesso, cinza)

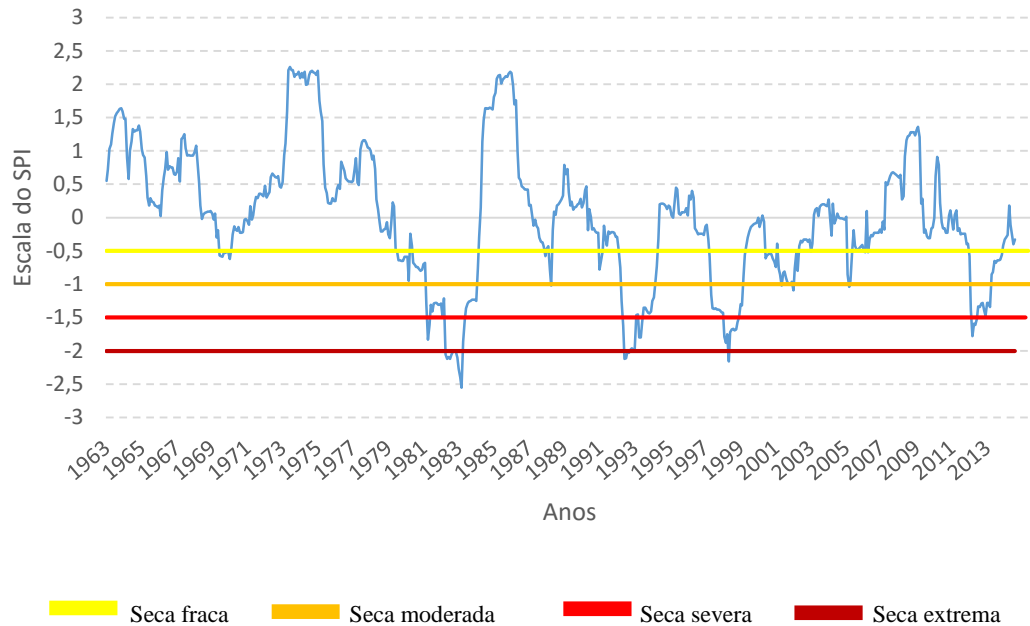


Fonte: Elaborado pelo autor

No SPI-24 (Figura 12) a maior seca registrada teve duração de 56 meses, de junho/1980 a janeiro/1985, cujo pico foi de -2,55 registrado em fevereiro/1984, indicando uma seca extrema. Desse longo período de estiagem, o SPI-18 registrou seca extrema em 12 meses – de março/1983 a fevereiro/1984.

Outro período importante ocorreu de fevereiro/1993 a março/1995, caracterizando 26 meses de seca, porém não apresentando muitos meses de seca severa ou extrema.

Ainda analisando a Figura 12, merecem destaque os períodos de março/1998 a março/2000 e de dezembro/2012 até junho/2014. A intensidade desses períodos de seca não foi elevada, tendo sido registrado apenas um mês de seca extrema que ocorreu em abril/1999.

Figura 12 – SPI na escala de 24 meses

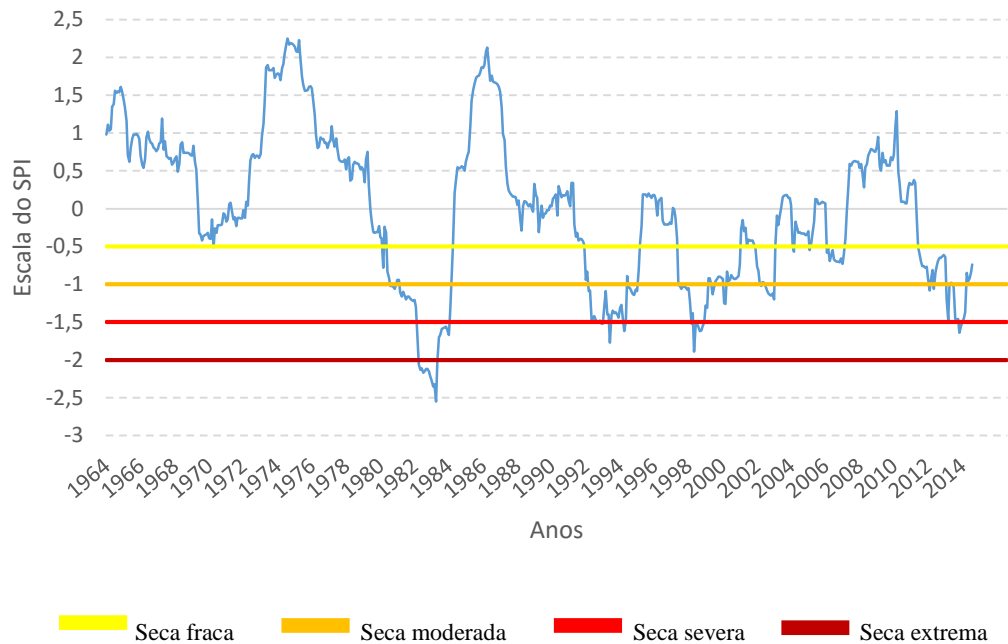
Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 13 mostra o SPI na escala temporal de 36 meses. Até então todas as escalas de tempo anteriores haviam registrado eventos de seca em alguns meses dos anos de 1970 e 1971, mas no caso do SPI-36 tal fato não ocorreu. Como observado na figura, isso mostra que essa seca não foi muito importante, principalmente no que diz respeito aos impactos nas reservas hídricas da região. De fato, as secas registradas em 1970 e 1971 nas escalas de 12, 18 e 24 meses apresentaram uma intensidade de pico de apenas -0,86, caracterizando uma seca fraca. É importante também notar que algumas categorias de seca mudaram de uma escala para outra.

O SPI-36 registrou o mais longo período de seca entre todas as escalas (o que já era esperado) de 69 meses que ocorreu de maio/1998 a janeiro/2004, porém não sendo registrado nenhum período de seca extrema. Ocorreram 10 meses de seca severa, de fevereiro/1999 a novembro/1999.

O SPI-36 também registrou o maior período de seca extrema entre todas as escalas, foram 14 meses, de março/1983 a abril/1984.

Ainda merece destaque a seca de 38 meses que ocorreu entre dezembro/1992 a janeiro/1996, dos quais apenas cinco foram de seca severa. Não foi registrado nenhum mês de seca extrema.

Figura 13 – SPI na escala de 36 meses

Fonte: Elaborado pelo autor

Um aspecto muito interessante é constatado quando se compara o comportamento dos SPIs em si. À medida que a escala temporal aumenta, o SPI responde mais lentamente a mudanças. Se o SPI é calculado na escala de tempo de 12 meses, o seu valor, para um dado mês, indica a severidade correspondente ao déficit da precipitação acumulada nos últimos 12 meses relativamente à precipitação histórica correspondente aos meses em causa. O SPI de 12 meses é o que responde primeiramente a seca, rapidamente categorizando uma seca como mais severa, enquanto que o de 36 meses, que considera os três anos anteriores, demora mais a entrar na categoria mais severa, no entanto, demora mais a sair (Tabela 2). Esse aspecto é interessante para o gerenciamento dos recursos hídricos, pois no início da seca, os volumes armazenados nos reservatórios ainda se encontram elevados percentuais, enquanto que já no segundo ou terceiro ano de seca, eles podem se encontrar secos ou com volumes bastante reduzidos.

Tabela 2 - SPIs de abril de 1992 a julho de 1995. Em destaque os meses que apresentaram seca.

(Amarelo – seca fraca; Laranja – seca moderada; Vermelho – seca severa; Roxo – seca extrema)

ANO	MÊS	SPI 12	SPI 18	SPI 24	SPI 36
1992	4	-0,05	-0,2	-0,32	-0,21
1992	5	-0,98	-0,42	-0,42	-0,37
1992	6	-0,6	-0,21	-0,21	-0,32
1992	7	-0,43	-0,24	-0,24	-0,42
1992	8	-0,43	-0,14	-0,22	-0,4
1992	9	-0,35	-0,19	-0,22	-0,4
1992	10	-0,38	-0,08	-0,23	-0,43
1992	11	-0,45	-0,65	-0,29	-0,48
1992	12	-0,43	-0,67	-0,29	-0,94
1993	1	-0,53	-0,81	-0,49	-0,83
1993	2	-1,24	-1,3	-0,75	-1,09
1993	3	-2,15	-1,73	-1,25	-1,08
1993	4	-2,85	-2,05	-1,62	-1,48
1993	5	-2,49	-1,99	-2,12	-1,46
1993	6	-2,9	-1,96	-2,11	-1,42
1993	7	-2,81	-1,75	-1,99	-1,47
1993	8	-2,88	-2,01	-2,03	-1,49
1993	9	-2,91	-2,26	-1,98	-1,5
1993	10	-2,81	-2,44	-1,96	-1,48
1993	11	-2,75	-2,35	-1,98	-1,52
1993	12	-2,65	-2,75	-1,97	-1,52
1994	1	-1,8	-2,09	-1,46	-1,27
1994	2	-0,82	-1,73	-1,45	-1,09
1994	3	-0,72	-2,08	-1,8	-1,4
1994	4	-0,28	-1,9	-1,8	-1,4
1994	5	-0,25	-1,77	-1,58	-1,77
1994	6	0,32	-1,28	-1,35	-1,41
1994	7	0,32	-1,07	-1,35	-1,35
1994	8	0,32	-0,72	-1,39	-1,38
1994	9	0,28	-0,36	-1,43	-1,37
1994	10	0,22	0,02	-1,44	-1,4
1994	11	0,21	0,05	-1,41	-1,44
1994	12	0,39	0,24	-1,25	-1,31
1995	1	-0,17	0,13	-1,2	-1,27
1995	2	-0,49	-0,01	-0,95	-1,47
1995	3	-0,38	-0,24	-0,73	-1,62
1995	4	-0,19	-0,18	-0,32	-1,48
1995	5	0,58	0,31	0,2	-0,89
1995	6	0,05	0,3	0,21	-1,04
1995	7	0,07	0,01	0,21	-1,05

Fonte: Elaborado pelo autor

Observe que o SPI-12 foi o que primeiro identificou a seca, em maio/1992, atingindo um valor de pico de -2,91 (seca extrema) em setembro/1993. Os SPIs de 18 e 24 meses também acusaram seca extrema, mas com valores de pico menores.

O SPI-36 meses foi o que mais tempo passou na condição de seca - acusando no máximo uma se severa – cujo valor de pico foi – 1,77 em maio/1994. Foi ainda o que passou o maior tempo na condição de seca, 32 meses.

Esse pequeno trecho do cálculo do SPI (completo no apêndice) vem ilustrar o que foi afirmado na página anterior: quanto menor a escala de tempo, mais rapidamente o SPI entra e sai da situação de seca. Observe que o SPI-36 foi o último a sair da seca.

A soma dos valores mensais positivos do SPI durante um determinado período designa-se por *magnitude* da seca. As magnitudes foram calculadas de acordo com as categorias de seca e estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Magnitude das secas.

	SPI - 12	SPI - 18	SPI - 24	SPI - 36	Média
Sem seca	205,87	205,27	197,57	215,27	205,99
Seca fraca	79,58	59,4	49,26	58,05	61,57
Seca moderada	26,41	48,22	71,31	99,36	61,33
Seca severa	44,97	54,25	45,45	41,59	46,57
Seca extrema	58,24	42,52	34,21	30,74	41,43

Fonte: Elaborado pelo autor

As maiores magnitudes registradas para as secas mais graves – severa e extrema – foram 54,25 e 58,24, respectivamente. Suas porcentagens da quantidade de meses foram 3,9% e 4,8%, respectivamente.

Nota-se que a situação de “não seca” foi predominante, ou seja, durante a maior parte dos meses analisados, o SPI não diversas escalas temporais não acusaram seca.

Tabela 4– Porcentagem da quantidade de meses em cada escala de SPI

	SPI - 12	SPI - 18	SPI - 24	SPI - 36	Média
Sem seca	71,4	72,4	72,6	67,6	71
Seca fraca	16,9	13,4	11,5	11,8	13,4
Seca moderada	3,6	6,1	9,2	14,1	8,3
Seca severa	4,1	4,8	4,2	4,1	4,3
Seca extrema	3,9	3,2	2,6	2,3	3

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 5 apresenta os principais eventos de seca para a série histórica 1962-2015 na Bacia no Rio do Peixe. A categorização da seca (fraca, moderada, severa e extrema) colocada foi a predominante entre as escalas de 12, 18, 24 e 36 meses durante o evento.

Tabela 5 – Principais eventos de seca (1962-2015)

Duração		Intensidade Média	Categoria de Seca
Período	Meses		
Mai/1970 a Mar/1971	11	-0,62	Fraca
Ago/1979 a Jan/1980	6	-0,64	Fraca
Jun/1980 a Jul/1981	13	-0,74	Fraca
Ago/1981 a Fev/1982	7	-1	Moderada
Mar/1982 a Abr/1982	2	-1,5	Severa
Mai/1982 a Mar/1983	11	-1,28	Moderada
Abr/1983 a Abr/1984	13	-2,08	Extrema
Mai/1983 a Jan/1985	21	-1,15	Moderada
Nov/1987 a Mai/1988	7	-0,64	Fraca
Set/1988 a Mar/1989	6	-0,73	Fraca
Nov/1992 a Jan/1993	3	-0,73	Fraca
Fev/1993 a Mar/1993	2	-1,32	Moderada
Abr/1993 a Dez/1993	9	-2,11	Extrema
Jan/1994 a Maio/1994	5	-1,55	Severa
Jun/1994 a Mar/1995	10	-1,29	Moderada
Mar/1998 a Dez/1998	10	-1,36	Moderada
Jan/1999 a Out/1999	10	-1,62	Severa
Nov/1999 a Fev/2000	4	-1,14	Moderada
Fev/2001 a Dez/2001	11	-1,05	Moderada
Jan/2002 a Jan/2004	25	-0,81	Fraca
Jul/2005 a Abr/2006	10	-0,85	Fraca
Jan/2007 a Fev/2008	14	-0,62	Fraca
Mai/2012 a Set/2012	5	-0,89	Fraca
Out/2012 a Dez/2012	3	-1,15	Moderada
Jan/2013 a Jun/2013	6	-1,51	Severa
Jul/2013 a Set/2013	3	-1,04	Moderada
Out/2013 a Nov/2014	14	-0,94	Fraca

Fonte: Elaborado pelo autor

5.3 Análise da relação entre o SPI e o volume de reservatório

O açude Lagoa do Arroz foi o reservatório utilizado para ser analisado neste trabalho, por dois motivos: é o maior reservatório da Bacia do Rio do Peixe, além disso é o que apresenta a maior quantidade de dados de volumes coletados ao longo dos anos.

A Figura 14 mostra o comportamento do volume armazenado no açude Lagoa do Arroz de março/1994 a julho/2015. Nesse período apresentou-se mais períodos críticos (volume armazenado abaixo de 20%) do que períodos de cheia.

Lagoa do arroz atingiu sua capacidade máxima em duas ocasiões, em 2008 e 2009, que foram anos bastante chuvosos.

Figura 14 – Variação do volume armazenado do açude Lagoa do Arroz no período de março/1994 a julho/2015.

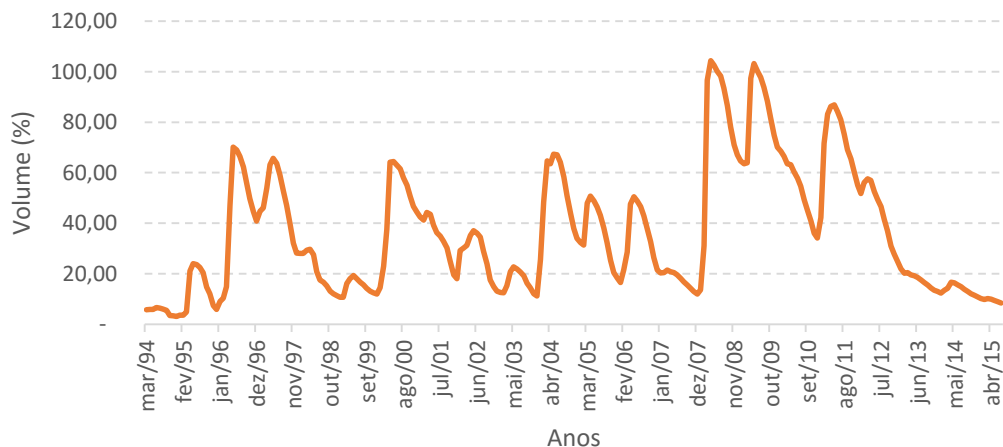


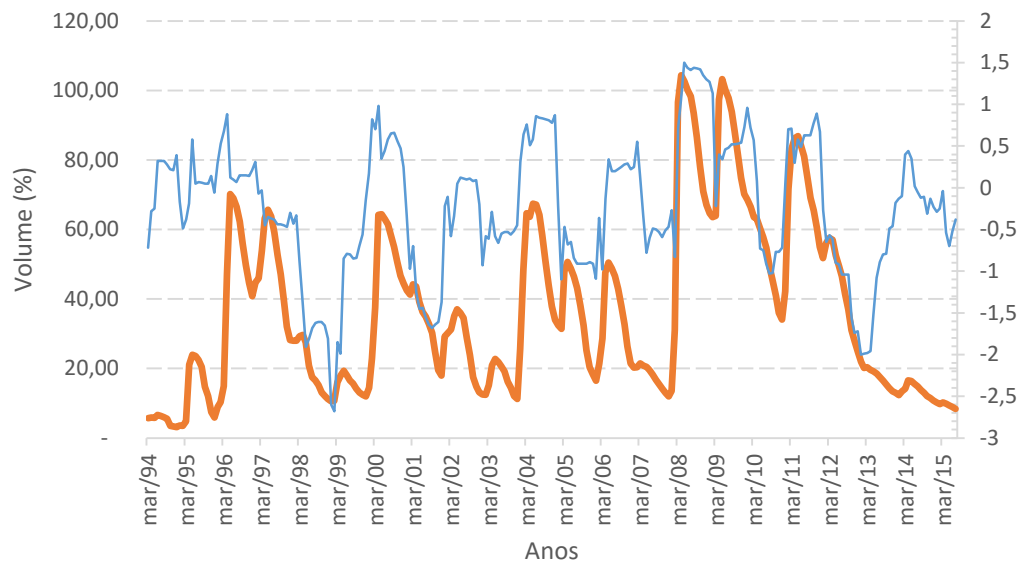
Tabela 6 – Períodos de volume médio armazenado abaixo de 20% no açude Lagoa do Arroz

Período	Quantidade de meses	Vol. armazenado médio (%)
Mar/1994 a Mar/1995	13	4,91
Ago/1995 a Mar/1996	8	11,85
Jul/1998 a Jan/2000	19	14,57
Out/2002 a Dez/2003	15	16,33
Jan/2007 a Jan/2008	8	15,33
Abr/2013 a Jul/2015	28	13,50

Fonte: Elaborado pelo Autor

A Figura 15 mostra como o volume armazenado e o SPI-12 variaram no intervalo de tempo que vai de março/1994 a julho/2015.

Figura 15– Volume armazenado (traço mais espesso) e SPI-12 (traço mais fino).



Fonte: Elaborado pelo autor

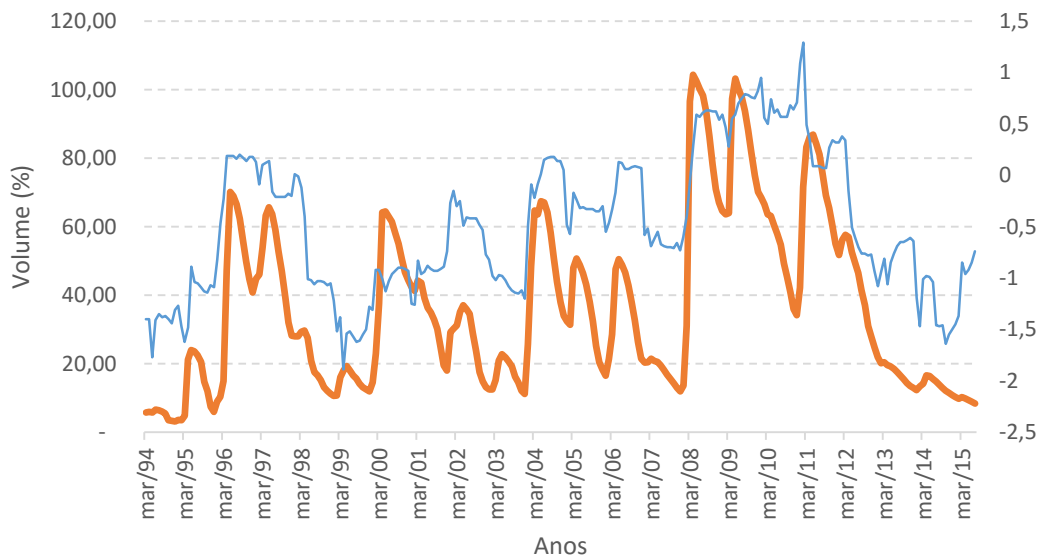
Existem dois intervalos de tempo no gráfico acima que merecem destaque. O primeiro vai de março/1994 a março/1996, neste caso onde o volume armazenado no reservatório é crítico (na maior parte do tempo abaixo dos 20%), o SPI-12 não acusa a seca hidrológica do período. Observe que o gráfico do SPI-12 está sempre acima de -0,5 no intervalo considerado, o que não caracteriza, pelo método do SPI, uma situação de seca.

O segundo intervalo de tempo vai de abril/2013 a julho/2015. Aqui mais uma vez o volume armazenado é crítico (8,41% em julho de 2015) e o SPI-12 não acusa a seca hidrológica.

Algo semelhante ao relato anterior acontece no intervalo de outubro/2002 a dezembro/2003.

Diferentemente, o SPI-36 reflete melhor as condições do volume armazenado em cada período.

Figura 16 – Volume armazenado (traço mais espesso) e SPI-36 (traço mais fino).



Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se, na Figura 16, que o SPI-36 representa de forma mais realista a situação o volume armazenado referente aos períodos analisados anteriormente. Percebe-se que de março/1994 a março/1996 o SPI-36 acusa a seca hidrológica, que varia entre moderada e severa.

Também no período entre abril/2013 e julho/2015, o SPI-36 apresenta-se sempre na situação de seca, que varia de fraca a severa.

Em nenhum momento, no que tange o período de março/1994 a julho/2015, o SPI-36 deixa de retratar a situação delicada do volume do açude Lagoa do Arroz.

Tabela 7 – Períodos críticos (abaixo de 20% de armazenagem) do açude Lagoa do Arroz

Período crítico	Meses	SPI-12 médio	SPI-18 médio	SPI-24 médio	SPI-36 médio
Mar/1994 a Mar/1996	25	0,08	-0,30	-0,65	-1,20
Jul/1998 a Jan/2000	19	-1,29	-1,54	-1,58	-1,36
Out/2002 a Dez/2003	15	-0,45	-0,41	-0,56	-0,96
Jun/2007 a Jan/2008	8	-0,48	-0,36	-0,21	-0,68
Abr/2013 a Jul/2015	28	-0,38	-0,63	-0,82	-1,05

Fonte: Elaborado pelo autor

Observando a Tabela 7 percebe-se que o SPI-12 e o SPI-18 não representam a gravidade da seca hidrológica que atingiu a bacia do Rio do Peixe no intervalo de março/1994 a março/1996, período este que o açude Lagoa do Arroz trabalhou a maior parte do tempo no volume morto (abaixo dos 6%). Nesse mesmo período o SPI-24 acusou uma seca fraca (-0,65 em média) na maioria dos meses e o SPI-36 indicou uma seca moderada (-1,20 em média).

No período de julho/1998 a janeiro/2000 todos os SPIs indicaram a seca, mas apenas o SPI-24 e o SPI-36 indicaram seca em todos esses meses (seca severa e seca moderada, respectivamente).

Apenas o SPI-36 acusou seca em todos os meses no período de outubro/2002 a dezembro/2003, em média -0,96 indicando uma seca fraca. Nesse caso o SPI-24 em média também indicou a seca, mas em apenas alguns meses – em média -0,56.

Novamente o SPI-36 foi o único a indicar seca em todos os meses entre junho/2007 e janeiro/2008, as outras escalas temperais na grande maioria dos meses não indicaram seca nenhum, fato este que não retrata as condições preocupantes da disponibilidade de água no açude Lagoa do Arroz que chegou a ter apenas 11,96% do seu volume total.

Por fim, mais uma vez o SPI-36 foi que melhor retratou o período de abril/2013 a julho/2015 (quadro 4). Apesar do SPI-18 e SPI-24 terem acusado seca - na média uma seca fraca – foi o SPI-36 quem mostrou a condição de seca em todos os meses desse período, inclusive identificando seca severa em alguns meses, em média acusou uma seca moderada.

6 CONCLUSÃO

A Bacia do Rio o Peixe é caracterizada pela grande variabilidade climática e a ocorrência de secas persistentes. Aliado ao fenômeno climático da seca, a crescente demanda, a vulnerabilidade da região e a complexidade envolvida na gestão dos recursos hídricos, tendo em vista a baixa disponibilidade hídrica e a tendência de agravamento dos eventos climáticos extremos, têm ampliado o interesse por métodos que permitam quantificar eventos extremos, de maneira a facilitar a tomada de decisões pelos gestores.

A análise dos dados pluviométricos indicou uma média de precipitação anual de 894,5 mm de chuva extremamente mal distribuídos ao longo do ano, concentrando-se no primeiro semestre do ano, especialmente nos meses de fevereiro, março e abril.

As décadas de 1960 e 1970 mostraram-se razoavelmente chuvosas, apresentando apenas 5 anos de chuvas abaixo da média. Destacaram-se os anos de 1963, 1967, 1974 e 1977 que ultrapassaram os 1200 mm de chuva, muito superior à média de 894,5 mm.

Todas as escalas temporais do SPI utilizadas nesse trabalho detectaram com precisão aquela que é considerada uma das maiores secas que já ocorreu no Nordeste: de fevereiro/1981 a fevereiro/1985. Todas as escalas (12, 18, 24 e 36 meses) acusaram secas extrema para esse período, sendo que o SPI-36 mostrou 14 meses seguidos de seca extrema.

A comparação das quatro escalas de SPI analisadas neste trabalho com os volumes do açude Lagoa do Arroz no período de março/1994 a julho/2015 mostrou que escalas temporais maiores retratam melhor as secas hidrológicas, uma vez que estas são resultado de um tempo razoável sem chuvas regulares.

Para a realização de pesquisas futuras que abordem esse tema, uma sugestão seria aplicar vários índices de seca em uma bacia hidrográfica, fazer uma comparação e constatar qual retratou melhor as condições de precipitação do período em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, Aziz Nacib. **Sertões e Sertanejos: uma geografia humana sofrida**. Dossiê Nordeste seco. 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA A SECA (DNOCS). **Açude Lagoa do Arroz**. Disponível em: <http://www.dnocs.gov.br/>. Acesso em maio de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA); CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **A questão da água no Nordeste**. Brasília-DF, 2012.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DA ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (AES). **Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos no Estado da Paraíba. Ano hidrológico 2008/2009**. João Pessoa, 2010.

ALBUQUERQUE, Tatiana Máximo Almeida. **Estudo dos processos de gestão de seca: aplicação no estado do Rio Grande do Sul**. 2010. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, dezembro de 2010.

CLASSIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DAS TERRAS PARA MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA DO ESTADO DA PARAÍBA. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/>. Acesso em novembro de 2015.

DINÂMICA DA COBERTURA VEGETAL PARA A BACIA DE SÃO JOÃO DO RIO DO PEIXE, PB, UTILIZANDO-SE SENSORIAMENTO REMOTO. Disponível em: <http://www.scielo.br/>. Acesso em novembro de 2015.

DOMINGOS, Sónia Izabel Sequeira. **Análise do índice de seca Standardized Precipitation Index (SPI) em Portugal Continental e sua comparação com o Palmer Drought Severity Index (PDSI)**. Tese de licenciatura em Meteorologia, Oceanografia e Geofísica Interna – variante Meteorologia. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, julho de 2006.

DUARTE, Renato. **Seca, pobreza e políticas públicas no nordeste do Brasil**. CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, Buenos Aires, 2001.

FERNANDES, Diego Simão. et al. **Índices para Quantificação da Seca**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Santo Antônio do Goiás, 2009.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA.
Hidrogeologia da bacia sedimentar do rio do peixe. Julho 2005.

OS 10 MAIORES PERÍODOS DE SECA NO BRASIL. Disponível em:
<<http://super.abril.com.br/>>. Acesso em novembro de 2015.

PORQUE NÃO CHOVE NO SERTÃO NORDESTINO? Disponível em:
<<http://novaescola.org.br/>>. Acesso em novembro de 2015.

SALES, Luís Gustavo de Lima; CÂNDIDO, Gesinaldo Ataíde; LEITE, Kelly Mara Marques.
Diagnóstico da realidade do abastecimento humano na sub-bacia do Rio do Peixe-PB: uma análise em nível de setor censitário do IBGE. Simpósio brasileiro de recursos hídricos. Bento Gonçalves/ RS, novembro de 2013.

SILVA, Ajosenildo Nunes. **Arquitetura, Litofácies e evolução Tectono-estratigráfica da Bacia do Rio do Peixe, Nordeste do Brasil.** Dissertação de mestrado em Geodinâmica pelo Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, setembro de 2009.

TUCCI, Carlos E. M., BRAGA, Benedito. **Clima e Recursos Hídricos no Brasil.** Porto Alegre: ABRH, 2003.