



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

JOSÉ LUCAS TOSCANO MATIAS

AVALIAÇÃO DAS SECAS NAS BACIAS DO RIO TAPEROÁ E
ALTO PARAÍBA

JOÃO PESSOA-PB
2018

JOSÉ LUCAS TOSCANO MATIAS

**AVALIAÇÃO DAS SECAS NAS BACIAS DO RIO TAPEROÁ E ALTO
PARAÍBA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil, com área de concentração em Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof^a Dra. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

**JOÃO PESSOA-PB
2018**

M433a Matias, José Lucas Toscano

Avaliação das secas nas bacias do Rio Taperoá e Alto Paraíba/ José Lucas Toscano Matias. – João Pessoa, 2018.

63f. il.:

Orientador: Prof^a. Dra. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Secas 2. Indicadores de seca 3. SPI 4. SRI 5. Volume do reservatório
I. Título.

BS/CT/UFPB

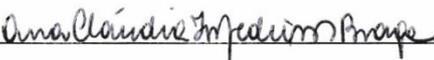
CDU: 2.ed.624(043.2)

JOSÉ LUCAS TOSCANO MATIAS

**AVALIAÇÃO DAS SECAS NAS BACIAS DO RIO TAPEROÁ E ALTO
PARAÍBA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil, com área de concentração em Recursos Hídricos. Aprovado em 11 de junho de 2018.

BANCA EXAMINADORA



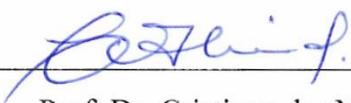
Prof.^a Dr.^a. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado



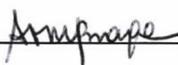
Prof. Dr. Adriano Rolim da Paz
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado



Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado



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

João Pessoa-PB

2018

AGRADECIMENTOS

Sem dúvida alguma, os primeiros agradecimentos irão aos meus pais, que não hesitaram uma vez se quer em me dar suporte para trilhar os meus sonhos. Deram-me tudo que eu necessitava para estar hoje onde estou e são imensuravelmente amados por mim. Como também aos meus irmãos que, em meio as nossas diferenças, ajudaram-me muito em saber como ter paciência e amar outra pessoa como se fosse uma extensão sua. Amo vocês.

Agradeço também à professora Ana Cláudia que desde o momento que cheguei na UFPB me ajudou de todas as formas possíveis, sendo uma excelente professora, coordenadora e orientadora. Bem como aos professores que me estimularam positivamente a galgar nos caminhos do conhecimento e entender a importância da nossa profissão.

Aos meus amigos que estiveram sempre sendo racionais e otimistas quando eu falhava nesses quesitos. Deram-me toda força e apoio que eu precisava para entender que sou capaz. Desde os amigos de longas datas de Guarabira, até os que fiz em Campina Grande, em parte da graduação, e agora em João Pessoa, quem ler se reconhecerá em algum momento. Meu muito obrigado de verdade.

RESUMO

As secas são fenômenos naturais que afetam diversas regiões do globo e estão relacionadas com a escassez hídrica. Há inúmeros relatos históricos que narram os impactos dos eventos de seca, principalmente sobre o Nordeste brasileiro, zona de clima semiárido e acometido constantemente pelo fenômeno. A população que vive nessa área – cerca de 26,62 milhões de habitantes – sofrem com os desdobramentos negativos de períodos prolongados de seca. Entender o fenômeno, sua severidade e prever as proporções possivelmente alcançadas por este é essencial para que as entidades gestoras tomem medidas mitigadoras dos efeitos da seca. O Cariri paraibano é a região brasileira com o menor índice pluviométrico médio do país, nele estão contidas as bacias do Rio Taperoá e do Alto Curso do Rio Paraíba, principais afluentes do Açude Epitácio Pessoa, preponderante meio abastecedor da cidade de Campina Grande e região circunvizinha. São usados, então, indicadores de seca meteorológico (SPI) e hidrológico (SRI) para a categorização e avaliação das secas nessas regiões, bem como sua correlação com a variação do volume do reservatório em questão. Foi observado durante a série histórica a ocorrência e frequência das secas, como também sua severidade e variação da capacidade do reservatório Epitácio Pessoa. Verificou-se a presença de períodos de secas comuns às bacias, com categorias desta variando de fracas a excepcionais, de modo a constituir intervalos de até 85 meses seguidos de seca, de média moderada, como resposta da análise do SPI, 36 meses seguidos mediante resultados do SRI, sendo 18 deles de secas excepcionais. Os períodos observados acometidos pelo fenômeno apresentaram reflexos no volume do reservatório, que chegou a variar cerca de 70% de sua capacidade no período estudado. Observou-se que, para o caso de tais bacias, quanto maior se dava a escala temporal, tanto do SPI quanto do SRI, maiores eram os períodos de seca, embora menos severos, sendo o contrário também verdadeiro.

Palavras-chave: Indicadores de Seca, SPI, SRI, Reservatório, Rio Taperoá e Alto Paraíba.

ABSTRACT

The droughts are natural events that affect different regions of the globe and are related to the water shortage. There are innumerable historic stories that narrate the impacts of the drought event, especially at the Brazilian Northeast, a zone of semiarid climate and constantly affected by this phenomenon. The population living in this area – around 26,62 million of habitants – suffer from the negative consequences of prolonged periods of drought. Understand the phenomenon, its severity and predict the proportions possibly achieved by it is essential for management entities to take actions that mitigate the effects of the drought. The “Cariri paraibano” is the Brazilian region with the lowest average rainfall index in the country, and on this region the hydrological basins of “Taperoá River” (Rio Taperoá in Portuguese) and High Course of Paraíba River (Alto Curso do Rio Paraíba in Portuguese) are contained, major affluent of the Epiácio Pessoa weir, prevailing water supplier of Campina Grande city and surrounding region. That way, are used meteorological indicators of drought (SPI) and hydrological (SRI) to the categorization and evaluation of the drought at this region, as well as its correlation with the volume variation of the reservoir in the study. Was observed during the historical series the droughts’ occurrence and frequency, as well as its severity and capacity variation of the Epiácio Pessoa reservoir. It was verified the presence of drought periods in both basins, with its category varying between weak to exceptional, so as to constitute intervals of up to 85 consecutive months of drought, of moderate average, as an answer to the SPI analysis, 36 consecutive months through SRI results, 18 of them being of exceptional drought. The observed periods affected by the phenomenon had reflexes in the volume of the reservoir, which reached about 70% of its capacity in the studied period. It was observed that in the case of such basins, the greater the time scale, both for SPI and SRI, the longer the periods of drought, although less severe, the opposite being also true.

Key words: Drought indicators, SPI, SRI, Reservoir, Taperoá River and High Course Paraíba.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra às Secas

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bacias Hidrográficas da Paraíba. Fonte: AESA (2018).	20
Figura 2 - Bacias da Bacia do Rio Paraíba. Destacada em vermelho tem-se a bacia do Rio Taperoá e a tracejada mais à esquerda, a do Alto Curso do Rio Paraíba. Fonte: AESA (2018).....	21
Figura 3 - Diagramas de Gantt para as bacias do Rio Taperoá (1994-2016) e Rio Alto Paraíba (1963-2016). Espaços em azul: anos com dados completos; espaços em cinza escuro: dados faltantes; espaços em branco: anos sem dados. Fonte: autor.....	24
Figura 4 - Localização dos postos pluviométricos (em vermelho) e dos postos fluviométricos (em amarelo) selecionados. Fonte: AESA (2018), adaptado pelo autor.....	25
Figura 5 - Gráfico com o SPI-12 do posto pluviométrico de Cabaceiras, representativo da bacia do Rio Taperoá. Fonte: autor.	33
Figura 6 - Gráfico com o SPI-12 do posto pluviométrico de Camalaú, representativo da bacia do Rio Alto Paraíba. Fonte: autor.	35
Figura 7 - Gráfico com o SPI-18 do posto pluviométrico de Cabaceiras, representativo da bacia do Rio Taperoá. Fonte: autor.	38
Figura 8 - Gráfico com o SPI-18 do posto pluviométrico de Camalaú, representativo da bacia do Rio Alto Paraíba. Fonte: autor.	40
Figura 9 - Gráfico com o SPI-24 do posto pluviométrico de Cabaceiras, representativo da bacia do Rio Taperoá. Fonte: autor.	43
Figura 10 - Gráfico com o SPI-24 do posto pluviométrico de Camalaú, representativo da bacia do Rio Alto Paraíba. Fonte: autor.	46
Figura 11 - Gráfico simultâneo entre os SRIs de 12, 18 e 24 meses. Fonte: autor.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estações Pluviométricas para as bacias do Rio Taperoá e do Alto Paraíba. Fonte: autor...	26
Tabela 2 - Estações Pluviométricas Seleccionadas para a Bacia do Rio Taperoá. Fonte: autor.	26
Tabela 3 - Estações Fluviométricas seleccionadas. Fonte: autor.	27
Tabela 4 - Categorização de Secas para o SPI e o SRI. Fonte: CGEE (2016).	29
Tabela 5 - Categorização de Secas para o SPI e o SRI com indicação das cores que representam cada categoria. Fonte: CGEE (2016).	30
Tabela 6 - Corte da série de resultados do SPI-12 para bacia do Rio Taperoá entre os anos de 1998 e 1999. Fonte: autor.	33
Tabela 7 - Corte da série de resultados do SPI-12 para bacia do Rio Taperoá entre os anos de 2012 e 2014. Fonte: autor.	34
Tabela 8 - Corte da série de resultados do SPI-12 para bacia do Rio Alto Paraíba entre os anos de 1998 e 2000. Fonte: autor.....	36
Tabela 9 - Corte da série de resultados do SPI-12 para bacia do Rio Alto Paraíba entre os anos de 2012 e 2014. Fonte: autor.....	36
Tabela 10 - Corte da série de resultados do SPI-18 para bacia do Rio Taperoá entre os anos de 1998 e 1999. Fonte: autor.	39
Tabela 11 - Corte da série de resultados do SPI-18 para bacia do Rio Taperoá entre os anos de 2012 e 2014. Fonte: autor.	39
Tabela 12 - Corte da série de resultados do SPI-18 para bacia do Rio Alto Paraíba entre os anos de 1998 e 2000. Fonte: autor.....	41
Tabela 13 - Corte da série de resultados do SPI-18 para bacia do Rio Alto Paraíba entre os anos de 2012 e 2014. Fonte: autor.....	42
Tabela 14 - Corte da série de resultados do SPI-24 para bacia do Rio Taperoá entre os anos de 1998 e 2000. Fonte: autor.	44
Tabela 15 - Corte da série de resultados do SPI-24 para bacia do Rio Taperoá entre os anos de 2012 e 2016. Fonte: autor.	44
Tabela 16 - Corte da série de resultados do SPI-24 para bacia do Rio Alto Paraíba entre os anos de 1998 e 1999. Fonte: autor.....	46
Tabela 17 - Corte da série de resultados do SPI-24 para bacia do Rio Alto Paraíba entre os anos de 2013 e 2014. Fonte: autor.....	47
Tabela 18 - Resumo em porcentagem (%) da ocorrência de cada categoria de seca entre os anos de 1994 e 2016, conforme SPI, para a bacia do Rio Taperoá. Fonte: autor.....	48
Tabela 19 - Resumo em porcentagem (%) da ocorrência de cada categoria de seca entre os anos de 1963 e 2016, conforme SPI, para a bacia do Alto Paraíba. Fonte: autor.....	49

Tabela 20 - Resumo quantitativo de cada categoria de seca ocorrida entre os anos de 1971 a 2014, conforme SRI para a bacia do Rio Taperoá. Fonte: autor.	50
Tabela 21 - Resumo quantitativo de cada categoria de seca ocorrida entre os anos de 1971 a 2014, conforme SRI para a bacia do Rio Alto Paraíba. Fonte: autor.	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Seca: um fenômeno natural	14
3.2 Categorização das secas e seus impactos	15
3.3 Indicadores de seca.....	16
4 METODOLOGIA	20
4.1 Caracterização da área de estudo	20
4.2 Levantamento de dados	23
4.2.1 <i>Dados de precipitação</i>	25
4.2.2 <i>Dados de vazão</i>	26
4.2.3 <i>Volumes do Reservatório</i>	27
4.3 Índice Padronizado de Precipitação – SPI.....	28
4.4 Índice Padronizado de Escoamento – SRI	30
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	32
5.1 SPI.....	32
5.1.1 <i>SPI-12</i>	32
5.1.2 <i>SPI-18</i>	37
5.1.3 <i>SPI-24</i>	42
5.1.4 <i>Análise simultânea entre os SPI-12, SPI-18 e SPI-24</i>	48
5.2 SRI.....	49
5.2.1 <i>Análise conjunta dos SRIs</i>	49
5.3 Volume do Reservatório.....	53
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	58
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

“O sertanejo é, antes de tudo, um forte”, já afirmava Euclides da Cunha no início do século XX, em sua obra *Os Sertões*, quando uma severa seca assolava mais uma vez o Nordeste brasileiro. Essa temática já era há muito abordada na literatura, sendo esse trecho mais um entre os tantos registros literários e históricos do fenômeno que “castigava” tal região do Brasil e, conseqüentemente, as pessoas que nela viviam. Dessa forma, esses indivíduos teriam que sobreviver sob condições adversas decorrentes da escassez de água por períodos prolongados – a chamada seca.

Por muito tempo a seca foi tida como uma condição anormal de contribuição climatológica e hidrológica, na qual os principais prejudicados seriam as pessoas que estavam estabelecidas nas regiões por ela acometidas, bem como o grau de vulnerabilidade destas. Contudo, é de conhecimento comum hoje que a seca é um evento de ocorrência natural e que não é o meio que deve se adaptar para atender as necessidades humanas, mas exatamente o contrário.

É na região semiárida do Brasil que o fenômeno se encontra com mais evidência, mesma região que apresenta a maior densidade demográfica do mundo de áreas com características similares, de acordo com a Plataforma de Semiáridos da América Latina. Para tanto, faz-se fundamental o entendimento do fenômeno da seca para que medidas de mitigação possam ser tomadas pelos órgãos gestores, sendo a preservação e manejo dos recursos hídricos disponíveis a principal arma de ação. Uma maneira eficaz de se mensurar a severidade das secas, como também a sua previsão, é com o uso de indicadores climatológicos e hidrológicos, uma vez que ambos auxiliaram na categorização do fenômeno e no âmbito do planejamento de ações atenuantes deste.

Nesse contexto, a Paraíba, Estado brasileiro com 223 municípios no total e com 170 deles inseridos no semiárido nordestino (FJN, 2018; IBGE, 2014), é frequentemente afetada por ocorrências de secas. No interior do mesmo Estado, Campina Grande e cidades circunvizinhas amargaram um quase colapso hídrico devido ao esgotamento praticamente total do volume de água do Açude Epitácio Pessoa, preponderante reservatório abastecedor dessas cidades. Um fator crucial para tal circunstância foi a seca estabelecida com início no ano de 2012 se estendendo até os dias atuais na região dos principais afluentes do reservatório, nas bacias hidrográficas do Rio Taperoá e do Alto Curso do Rio Paraíba.

O presente trabalho possui, então, o objetivo de categorizar e avaliar as secas históricas ocorridas nas bacias hidrográficas anteriormente citadas por meio de indicadores de secas

climatológico (Índice Padronizado de Precipitação – SPI) e hidrológico (Índice Padronizado de Escoamento – SRI). Além disso, correlacionar com a variação do volume do Açude Epitácio Pessoa, evidenciando os anos com períodos de seca, sua frequência e a inércia das entidades gestoras em não lançar medidas que venham a atenuar os impactos negativos que se alastram por toda população vulnerável ao fenômeno.

.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar as secas nas bacias hidrográficas do Rio Paraíba, na porção das bacias do Rio Alto Paraíba e do Rio Taperoá, quanto ao período de ocorrência e sua severidade.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar e categorizar as secas da região por meio do Índice Padronizado de Precipitação (SPI);
- Avaliar e categorizar as secas da região por meio do Índice Padronizado de (SRI);
- Avaliar as secas por meio do volume do reservatório do açude Epitácio Pessoa (Açude Boqueirão).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Seca: um fenômeno natural

O Brasil é um dos poucos países do mundo que possui dimensões continentais, apresentando, por conseguinte, uma ampla diversidade, seja no tocante à cultura, à vegetação, ao clima, dentre outras incontáveis variabilidades. Acerca do clima, o território brasileiro abrange climas frios e quentes, com altos e baixos índices pluviométricos. Com relação aos climas com elevadas temperaturas durante todo o ano com distribuição irregular da precipitação durante o ano, põe-se em evidencia o semiárido brasileiro.

Compreendido quase que completamente na região Nordeste do país e uma parte do norte do estado de Minas Gerais, o semiárido brasileiro é marcado por baixos índices pluviométricos, com chuvas concentradas em poucos meses do ano, altas taxas de evaporação, chegando a valores de 2000mm/ano a 3000mm/ano em algumas regiões (Campos, 1997). Conforme mencionado pelo mesmo autor, a região em questão está localizada, em sua grande maioria, sobre rochas cristalinas, configurando a presença de solos rasos, com baixa capacidade de retenção de água, estando limitada a zonas fraturadas e resultando na presença de rios intermitentes.

A junção desses fatores fisiográficos unidos às irregularidades do regime pluviométrico, propicia o fenômeno da seca. Dessa forma, a seca é uma ocorrência natural e o Nordeste é uma região que ganha notoriedade nesse aspecto pela frequência de acontecimentos do fenômeno (anos isolados ou anos seguidos de seca). Segundo o CGEE (2016), a seca é uma ocorrência sustentada e de extensão regional em que a disponibilidade de água natural fica abaixo da média e pode ser vista como um desvio em relação às condições de longo prazo de variáveis como precipitação, umidade do solo, água subterrânea e vazão fluvial.

A ocorrência de secas no semiárido do Nordeste do Brasil é mencionada desde o período colonial, quando os portugueses aqui se estabeleceram e, ao ocupar o interior dos atuais estados do Nordeste, vivenciaram secas intensas e relatam tais fatos na literatura da época. Nesse cenário, foi a seca que ocorrera nos anos de 1877-1879 considerada a pior entre todas que se têm registros. Dizimou mais da metade da população e praticamente todo rebanho bovino (CGEE, 2016). No decorrer dos anos, outras grandes secas foram registradas e com consequentes impactos direcionados ao meio social, econômico, ecológico, dentre outros. Não obstante, é significativo ressaltar que, como grifado por Campos (1997):

A seca não deve ser considerada como uma condição seca, mas uma condição de secura anormal em relação às necessidades. Em qualquer área, a natureza geralmente

produz uma vegetação em harmonia com o ciclo de umidade disponível para o crescimento da planta. O homem frequentemente viola essa harmonia ao introduzir culturas de pouca adaptação, e a crença de seca é aumentada com o mau uso da terra. (p. 270).

3.2 Categorização das secas e seus impactos

Com efeito, a ocorrência de uma seca e as suas consequências podem requerer bastante tempo até serem percebidas pelos sistemas socioeconômicos, pois tendem a evoluir temporalmente de forma lenta (Santos *et al.*, 2015). De acordo com sua duração, severidade, dentre outras feições, e de acordo com a visão do observador, as secas podem ser caracterizadas como secas climatológicas ou meteorológicas, secas edáficas, secas sociais e secas hidrológicas (Caampos, 1997; Oliveira *et al.*, 2017; Zarch *et al.* 2014).

De acordo com os mesmos autores, a seca climatológica está relacionada com a sua eventualidade, em um dado período, em um déficit no valor total do volume precipitado direcionados às necessidades. Secas desse tipo podem acarretar na diminuição de produção agrícola e no provimento de água para abastecer a população e demais fins. Como consequência da seca meteorológica, a seca edáfica ocorre quando a umidade no solo não perdura o suficiente para que os cultivos atinjam por completo seu ciclo vegetativo. Tal deficiência de umidade no solo é denominada de seca edáfica, podendo ser decorrente primariamente devido à escassez ou má distribuição das chuvas no decurso do tempo.

Como consequência das secas edáficas, faz-se presente a seca social. Pelo fato da primeira estar relacionada com a agricultura de sequeiro, as perdas econômicas e os transtornos sociais por ela causados abrem caminho para problemas como a fome, migração e desagregação familiar (Oliveira *et al.*, 2017).

Conforme ressalta Campos (1997) e Zarch *et al.* (2014), a chamada seca hidrológica diz respeito a insuficiência no suprimento do volume de água, sendo em anos deficitários, ou em uma sequência de anos fracos de escoamento, há probabilidade de que ocorra carência para suprir as atividades econômicas que dela necessitam.

Nesse contexto, os impactos das secas no passar dos anos são contundentes e necessitam da devida atenção. Em seu estudo sobre as consequências negativas das secas entre os anos de 1964-2014 no município de Boqueirão-PB, cidade pertencente ao Cariri paraibano e inserida no semiárido nordestino, Farias *et al.* (2017) analisaram perdas econômicas, agrícolas e agropecuárias, com secas em diferentes escalas de tempo – 3, 6, 12 e 24 meses – evidenciando a presença de secas severas e extremas em todas as escalas, refletindo diretamente em todos os setores anteriormente citados.

Rêgo *et al.* (2015) avaliaram a crise do abastecimento da cidade de Campina Grande à luz da atuação dos gestores, usuários, poder público, imprensa e população. Foi constatada a dimensão catastrófica que tomou a problemática envolta da severa seca estabelecida entre os anos de 2012-2015 na bacia do Rio Paraíba, do qual, duas de suas sub-bacias são as principais afluentes do Açude Epitácio Pessoa, popularmente conhecido como Açude Boqueirão. Ainda de acordo com o mesmo autor, este é o precípua meio abastecedor da cidade de Campina Grande (maior cidade do interior paraibano) e cidades circunvizinhas, abastecendo mais de um milhão e meio de habitantes, além dos setores comerciais e industriais, trazendo prejuízos que perpassam todos os escopos da conjuntura socioeconômica.

Os impactos das secas estão relacionados à vulnerabilidade que determinada região, contingente populacional e sistemas hídricos possuem. O conceito de tal vulnerabilidade está embasado nas análises de sistemas de suprimento de água dessas regiões. Na medida em que se possui sistemas que abastecem grandes centros urbanos e as atividades por eles desenvolvidas, há a possibilidade premente do esgotamento das disponibilidades hídricas para o provimento de recursos desse meio em quantidade e qualidade demandadas (Campos, 1997).

Campos (1997) cita Arrojado Lisboa (1913), o qual sustenta a máxima de que:

há necessidade do tratamento do fenômeno das secas em todas as suas feições: a geográfica, a climatológica, a geológica, a botânica, a de engenharia técnica, a higiênica e a econômica e social. [...] o problema da seca não terá solução antes de devidamente considerado no conjunto em todos os seus aspectos.

Segundo Touma *et al.* (2014), a interseção entre o risco, a exposição e a vulnerabilidade, aumenta a probabilidade de as secas implicarem no aumento dos riscos da ocorrência de impactos sobre os sistemas sensíveis a ocorrência de tal fenômeno (sistemas humanos e naturais). Dessa forma, são desencadeados problemas que vão do nível socioeconômico até mesmo aos que tangenciam o âmbito da saúde (Ribeiro, 2016).

3.3 Indicadores de seca

Touma *et al.* (2014) enfatizam o fato de que a ampla difusão de conhecimento atrelada aos impactos da seca, seus efeitos no passado e os possíveis mecanismos pelos quais as secas podem mudar no futuro estão recebendo atenção substancial na literatura, principalmente devido às mudanças climáticas que assolam o planeta como um todo. Neste sentido, o uso de indicadores permite uma avaliação mais precisa do fenômeno da seca, bem como permite um melhor planejamento de ações para mitigação de seus impactos.

O enquadramento das secas ocorridas nas séries históricas de determinadas bacias hidrográficas possuem ampla relevância no que toca ao gerenciamento e planejamento de recursos hídricos. Unido com a previsão do fenômeno, que é também um importante auxílio no planejamento de ações amenizadoras dos efeitos negativos da seca, são usados indicadores que dão uma boa estimativa para os eventos secos prolongados.

Isso se deve ao fato de que ao estimar a seca, observando sua eventualidade e sua frequência, tem-se assim um prenúncio de suas ocorrências e de seus respectivos comportamentos, de maneira a se tornar uma ferramenta essencial para que os entes responsáveis pela gestão de atenuação dos impactos tomem ações mais concertadas com relação a mitigação dos desdobramentos negativos inerentes à ocorrência de secas e a realidade do semiárido nordestino.

Recentemente, o Monitor de Secas do Nordeste, que surgiu em razão da seca pluriannual vivenciada pelos estados da região (CGEE, 2016), em especial a iniciada em 2012, vem sendo o suprimento de uma necessidade histórica de monitoramento e gerenciamento das secas no Brasil. Participam o Governo Federal e os governos dos estados do Nordeste brasileiro, como também universidades e participação da sociedade civil. Desse modo, são construídos mapas mensais que, baseados em alguns indicadores, categorizam e evidenciam a abrangência das secas no Nordeste.

O Monitor de Secas do Nordeste possui equipe de modelagem e validação, tornando-o um forte recurso para as entidades responsáveis tomarem medidas cabíveis à redução das repercussões negativas do fenômeno climático em questão. Os principais indicadores utilizados para construção do mapa de secas por tal Monitor são: Índice Padronizado de Precipitação (SPI), Índice Padronizado de precipitação-*evapotranspiração* (SPEI), mapas de vegetação e umidade do solo, índice da saúde da vegetação (VHI), temperaturas máximas e médias dos meses anteriores, climatologia da precipitação mensal, precipitação observada e anomalias das precipitações dos meses anteriores, como também o Índice Padronizado de Escoamento (SRI) e o Índice Hidro-Verânico (SDRI) (FUNCEME-CE, 2018).

Assim, com respeito a existência de diferentes tipos de secas, uma ampla variedade de indicadores de secas e índices de avaliação têm sido introduzidos na literatura (Zarch *et al.*, 2014), incluindo: Índice Palmer de Severidade de Seca (PDSI); Índice de Abastecimento de Água Superficial (SWSI); Índice Padronizado de Precipitação (SPI); Índice de Reconhecimento de Seca (RDI); e o Índice de Junção de Déficit (JDI).

Outros indicadores também são citados no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. São salientadas metodologias que foram utilizadas no Nordeste

brasileiro ou desenvolvidas para este. Tem-se, desse modo, o Índice de Disponibilidade de Umidade (MAI), proposto por Hargreaves (1973), e o Índice de Severidade de Seca, proposto por Herbst, Bredenkamp e Barker (1966), com ambos baseados em dados de precipitação (SEMARH, 2001).

Além desses, há também o definido por Campos e Lima (1993), que delineiam o conceito de Clico Máximo Anual Contínuo de Umidade no Solo (CMACU), que utiliza o balanço hídrico diário do solo para determinar a periodicidade de ocorrência de secas. Ainda, Molinas e Andrade (1993) desenvolveram o MUSAG, que é um modelo de balanço de umidade no solo, utilizando para a avaliação e previsão de déficits hídricos na agricultura para localidades do Nordeste do Brasil (SEMARH, 2001).

O Índice Padronizado de Precipitação (SPI), desenvolvido por McKee *et al.* (1993), quantifica o déficit ou excesso de precipitação em diversas escalas de tempo. Essa característica torna o SPI uma valiosa ferramenta para todos os estudos de disponibilidade hídrica, sejam eles de curta ou longa duração. O SPI utiliza como entrada dados de precipitação, reconhecida como indicador-chave de detecção e caracterização do fenômeno da seca e sua persistência (Santos *et al.*, 2015). Em seu estudo relacionado a uma avaliação multi-modelo e multi-índice das características das secas no século XXI, Touma *et al.* (2014) apresentam respostas representativas do SPI para regiões semiáridas da América do Sul. Entre seus resultados, os autores encontraram que o índice foi adequado e respondeu conforme o esperado.

Fechine (2015) identificou secas meteorológicas na região metropolitana de Fortaleza usando o SPI e obteve resultados satisfatórios e representativos acerca daquela região. Santos *et al.* (2015) utilizaram o SPI na construção de mapas de previsão de secas na primavera em Portugal Continental, unindo a ele dados de evapotranspiração, com vista em obter melhores resultados, os quais foram atingidos e ratificados no decorrer da sua pesquisa, além da sugestão da inserção de outros parâmetros para tornar a previsão ainda mais completa, como a correlação entre a ocorrência de eventos de seca com os períodos de atuação do *El Niño*, do Dipolo do Atlântico Tropical e a posição da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical). Com isso, chegou-se à conclusão da relação existente entre o fenômeno das secas com aqueles atmosféricos de grande escala, influenciando na distribuição de chuvas da região estudada.

Em uma avaliação global das secas em meio aos diferentes climas através do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) e do Índice de Reconhecimento de Secas (RDI), Zarch *et al.* (2014) obtiveram resultados coerentes referentes ao semiárido do Nordeste do Brasil, mostrando uma tendência pouco significativa da região em ficar mais seca, enquanto que, ao inserir dados de evapotranspiração, essa tendência aumenta razoavelmente. Farias *et al.* (2017)

avaliaram os impactos das secas no município de Boqueirão, PB, mediante o SPI, categorizando e quantificando os tipos de secas que ocorreram no município, constatando a presença de resultados válidos e representativos.

Além dos indicadores de seca que utilizam a precipitação para gerar respostas, existem também outros que usam dados hidrológicos, como os de vazão, para enquadrar as secas em categorias para determinada série de dados. Entre esses, o SRI (Standardized Runoff Index) apresenta uma metodologia simples e de fácil compreensão, ao mesmo passo que com resultados coerentes. Aliado ao SPI, o SRI é outro índice para a categorização de eventos de seca, utilizando dados referentes às vazões de determinado local, e representa um complemento útil ao SPI para a categorização das secas utilizando dados de vazão (SHUKLA; WOOD, 2008).

No estudo realizado pelos últimos autores anteriormente citados, no qual avaliaram o uso do Índice Padronizado de Escoamento para caracterizar secas hidrológicas nos Estados Unidos, foi utilizado também o SPI, ambos em diferentes escalas, visando relacioná-los e se ter uma ideia da eficácia e as limitações de cada índice. Assim, foi observado que quanto menores as escalas de tempo, mais houve variações nas escalas dos picos de períodos secos ou úmidos, bem como que o SPI possuiu maior sensibilidade aos dados do que o SRI, pelo fato das diferentes naturezas dos dados utilizados nos dois índices. Tucci (1979), no mesmo contexto, desenvolve um algoritmo que vincula a capacidade de infiltração com a umidade do solo, permitindo que as quantidades de água infiltradas e escoadas possam ser mensuradas (SEMARH, 2001).

A análise da variação dos volumes dos reservatórios a jusante das bacias em que são estudados o fenômeno da seca se faz fundamental, à medida em que correlaciona os efeitos pluviométricos e, conseqüentemente, fluviométricos com tal variação. Isso acontece em razão da interligação intrincada entre as ocorrências naturais de chuva e de geração de escoamento que recaem sobre o reservatório, alterando seus níveis conforme o período, seja ele úmido seja ele seco.

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba é a segunda maior do Estado da Paraíba (ver Figura 1), abrangendo 38% do seu território e possui um contingente populacional de 1.828.178 habitantes, que corresponde a 52% da população total do Estado (AESAs), pois nela encontram-se as duas maiores cidades do estado da Paraíba: João Pessoa e Campina Grande. Esta bacia subdivide-se na bacia do Rio Taperoá e Regiões do Alto, Médio e Baixo Cursos do Rio Paraíba.

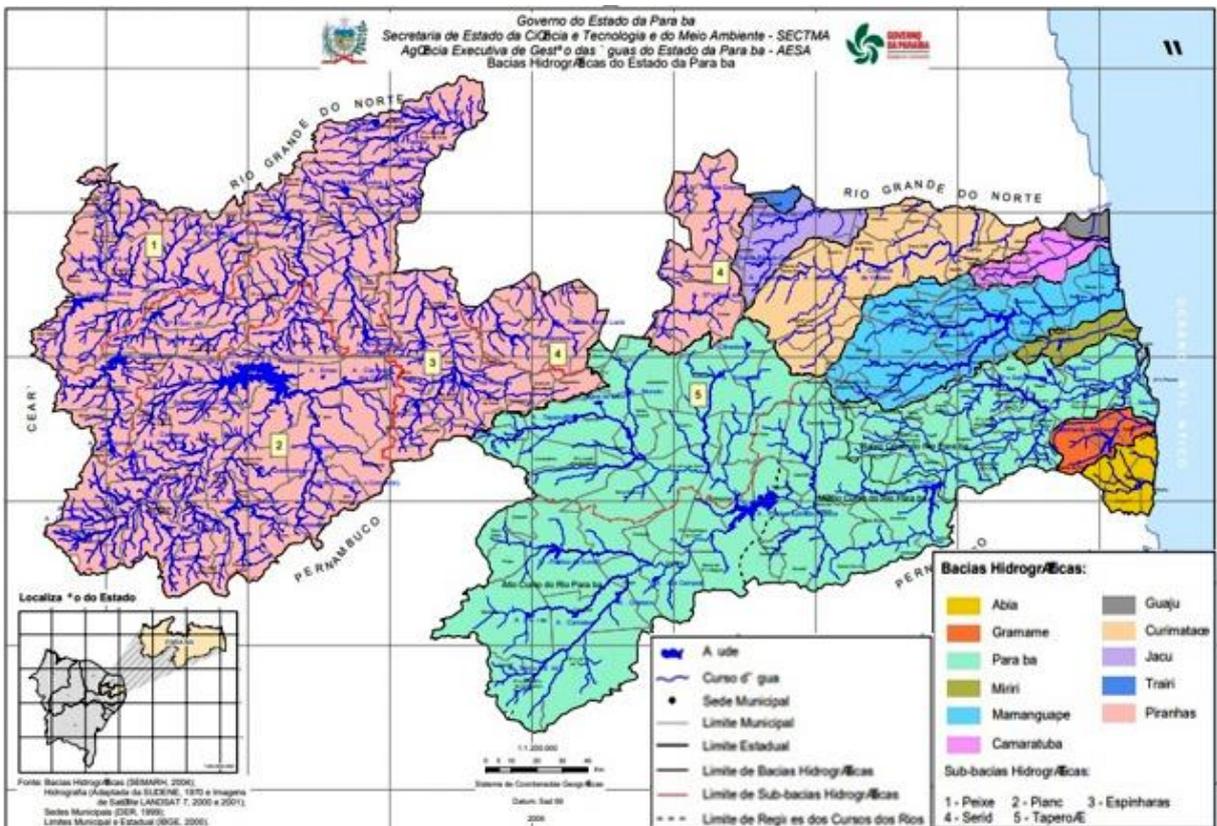


Figura 1 - Bacias Hidrográficas da Paraíba. Fonte: AESA (2018), adaptada pelo autor.

O presente trabalho terá como objeto de estudo as bacias hidrográficas do Rio Taperoá e do Alto Curso do Rio Paraíba (ver Figura 2). A localização da primeira está compreendida entre as latitudes $6^{\circ}51'47''$ e $7^{\circ}34'33''$ sul e as longitudes $36^{\circ}00'10''$ e $37^{\circ}14'00''$ oeste; e, a da última, entre as latitudes $7^{\circ}20'48''$ e $8^{\circ}18'12''$ sul e as longitudes $36^{\circ}07'44''$ e $37^{\circ}21'22''$ oeste. Suas áreas correspondem a, respectivamente, $5.666,38 \text{ km}^2$ e $6.717,39 \text{ km}^2$ (AESAs).



Figura 2 - Bacias da Bacia do Rio Paraíba. Destacada em vermelho tem-se a bacia do Rio Taperoá e a tracejada mais à esquerda, a do Alto Curso do Rio Paraíba. Fonte: AESA (2018).

As bacias estão inseridas na mesorregião paraibana denominada Borborema, onde há a preponderância do clima semiárido, as bacias hidrográficas fazem parte do polígono de secas brasileiro – região que abrange predominantemente o Nordeste do Brasil e uma pequena porção do norte do Estado de Minas Gerais. O clima semiárido, como salientado em tópicos anteriores, apresenta regime pluviométrico com distribuição variável no espaço e no tempo, com concentração de chuvas em poucos meses do ano e o restante dos meses com assídua seca acompanhada de clima consideravelmente quente.

Devido à intermitência do clima semiárido, que atinge seu grau mais acentuado no interior nordestino, mais precisamente na microrregião geográfica dos Cariris Velhos (Rêgo *et al.*, 2015), a isoieta média anual registra a marca de 500 mm. Cabe ressaltar, a nível ilustrativo, a posição famosa assumida nacionalmente pela cidade de Cabaceiras por possuir o menor índice pluviométrico médio do país, 338,3mm (Medeiros, 2016) – a referida cidade faz parte da bacia do Rio Taperoá.

A região que engloba as bacias hidrográficas, possui vegetação típica da Caatinga, bioma característico do semiárido, composta principalmente por plantas arbustivas, árvores de

pequeno e médio porte, bem adaptadas ao clima, conferindo-lhe uma aparência peculiar e diretamente vinculada ao semblante do semiárido brasileiro: com poucas ou nenhuma folha (plantas xerófitas), galhos retorcidos, aspecto acinzentado, que muda rapidamente com rápidos eventos de precipitação (MMA, 2018).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2018), o avanço do desmatamento chega a abranger 46% do bioma, em razão do uso ilegal e insustentável para fins domésticos e industriais. Além disso, o setor agropecuário também entra como agente no desmatamento da caatinga – fato que recai com veemência no tocante às mudanças climáticas, agravando, por conseguinte, a problemática local.

Dentro das duas bacias hidrográficas, podem ser citados como principais os reservatórios: Epitácio Pessoa, Sumé, Poções e Camalaú, com capacidades máximas de 411.686.287 m³, 44.864.100 m³, 29.861.562 m³ e 48.107.240 m³, respectivamente (AESAs, 2018). O maior reservatório dentre os citados é o Epitácio Pessoa, popularmente conhecido como Açude de Boqueirão, que se constitui como precípua mecanismo de abastecimento de Campina Grande e cidades circunvizinhas, alcançando mais de meio milhão de habitantes dentre os 26 municípios que são supridos por esse manancial (Araújo, 2006; Rêgo *et al.*, 2015).

Com início no ano de 2012 até o presente momento, uma severa seca tem acometido a região que abarca as bacias com os principais afluentes do reservatório Epitácio Pessoa – Rio Taperoá e Alto Curso do Rio Paraíba – acarretando em uma gama de prejuízos socioeconômicos às localidades e ao contingente populacional por ele abastecidos.

Os grandes centros econômicos e comerciais, como é o caso da cidade de Campina Grande, segunda maior cidade do Estado da Paraíba, são expressivamente prejudicados, bem como sua população, que sofre as consequências socioeconômicas dos extensos períodos de seca. Em 2015, ano de reduções acentuadas na outorga de uso da água, foram lançadas resoluções de ações conjuntas entre ANA e AESA que estabeleciam condições especiais para o uso dos recursos hídricos, como a redução da captação média da vazão de 881 l/s até 31 de outubro de 2015 e de 650 l/s a partir de 1º de novembro do mesmo ano (ANA/AESA, 2015).

Além desta, os mesmos órgãos em modo conjunto lançaram mais uma resolução, em dezembro de 2015, que regularizava a captação de mananciais do Estado da Paraíba por carros-pipa para fins de consumo humano urbano e rural e a dessedentação de animais, em virtude das condições atuais da seca no Estado. Logo, é evidenciada a magnitude da problemática que assolava a região nesse período.

4.2 Levantamento de dados

Com vistas no desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas séries históricas de dados de chuva e vazão de postos pluviométricos e fluviométricos das bacias hidrográficas do Rio Taperoá e do Alto Curso do Rio Paraíba e ainda dados de volume do reservatório Epitácio Pessoa.

As séries históricas de dados de cada uma das estações pluviométricas e fluviométricas foram analisadas minuciosamente. Por meio de planilhas eletrônicas e metodologias de inferência visual, pode-se observar de maneira nítida as condições que se encontravam as séries de dados, vendo quais os períodos comuns de dados consistentes para as das bacias, bem como falhas, anos faltosos e aqueles com registros acumulados de chuva e vazão em escala mensal.

Com efeito, em posse de todas as séries históricas de dados disponíveis para as bacias do Rio Taperoá e do Alto Curso do Rio Paraíba, construiu-se, com auxílio de uma planilha eletrônica, um gráfico análogo ao diagrama de Gantt (Figura 3), evidenciando os anos e, dentro destes, os meses, enfatizando aqueles que possuíam registros de dados mensais de modo a escolher o melhor intervalo de tempo entre os postos de monitoramento.

Para a validação dos resultados obtidos tanto no SPI quanto no SRI, foi utilizado o Monitor de Secas do Nordeste, ferramenta que produz mapas mensais das secas do Nordeste brasileiro. Esse instrumento é composto por inúmeros parâmetros que levam a um resultado satisfatório, representativo e mais próximo da realidade. Logo, configura-se como um meio eficaz de validação dos resultados das categorias de secas mediante os indicadores de seca utilizados no presente trabalho.

RIO TAPEROÁ		AESA																						
Postos Pluv.	Código	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Cabaceiras	736022																							
Desterro	737018																							
Junco do Seridó	636046																							
Soledade	736008																							
Taperoá	736002																							

RIO ALTO PARAÍBA		HIDROWEB																														
Postos Pluv.	Código	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Camalaú	736021																															
Caraúbas	736020																															
Prata	737004																															
S. Seb. do Umb.	837000																															

RIO ALTO PARAÍBA		AESA																						
Postos Pluv.	Código	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Camalaú	736021																							
Caraúbas	736020																							
Prata	737004																							
S. Seb. do Umb.	837000																							

Figura 3 - Diagramas de Gantt para as bacias do Rio Taperoá (1994-2016) e Rio Alto Paraíba (1963-2016). Espaços em azul: anos com dados completos; espaços em cinza escuro: dados faltantes; espaços em branco: anos sem dados. Fonte: autor

Tabela 1 - Estações Pluviométricas para as bacias do Rio Taperoá e do Alto Paraíba. Fonte: autor.

Bacia Hidrográfica	Estação Pluviométrica	Código	Entidade responsável	Longitude (°)	Latitude (°)
Rio Taperoá	Cabaceiras	736022	AESA	-36,2833	-7,6000
	Desterro	737018	DNOCS	-36,3667	-7,0667
	Junco do Seridó	636046	AESA	-36,7130	-6,9950
	Soledade	736008	DNOCS	-37,1000	-7,2833
	Taperoá	736002	DNOCS	-36,8333	-7,2000
Alto Curso do Rio Paraíba	Camalaú	736021	AESA	-36,8667	-7,9167
	Caraúbas	736020	AESA	-36,5167	-7,7167
	Prata	737004	AESA	-37,1000	-7,6833
	São Sebastião do Umbuzeiro	837000	AESA	-37,0167	-8,1500

Tabela 2 - Estações Pluviométricas Seleccionadas para a Bacia do Rio Taperoá. Fonte: autor.

Bacia Hidrográfica	Estação	Código	Entidade responsável	Longitude(°)	Latitude (°)
Rio Taperoá	Cabaceiras	736022	AESA	-36,28333	-7,60000
	Desterro	737018	AESA	-37,08810	-7,29030
	Junco do Seridó	636046	AESA	-36,71300	-6,99500
	Soledade	736008	AESA	-36,36190	-7,06080
	Taperoá	736002	AESA	-36,82811	-7,21639

Constatou-se que a partir de janeiro do ano de 1963 – para os dados advindos da ANA – todos os postos seleccionados apresentavam dados (com algumas falhas, no entanto pouco expressivas). O ano de 1992, também para todos os postos, não apresentou qualquer registro de precipitação. A partir de janeiro do ano de 1994 a dezembro de 2016, os dados compõem-se consistentes e, na grande maioria, com ausência de falhas. Neste caso, correspondentes a bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Paraíba. Portanto, para a análise que é edificada neste trabalho, o intervalo de tempo utilizado para os dados de precipitação vai de janeiro de 1963 a dezembro de 2016, resultando em um total de 54 anos.

Como anteriormente citado, no caso dos postos analisados para a bacia hidrográfica do Rio Taperoá, somente são utilizados os dados extraídos da AESA, por motivos já explanados. Logo, o período de tempo para a análise é de janeiro de 1994 a dezembro de 2016.

4.2.2 Dados de vazão

Com relação aos postos fluviométricos, as séries históricas representativas para as bacias foram adquiridas via portal Hidroweb da ANA, sendo disponibilizadas apenas uma série fluviométrica para cada bacia hidrográfica em questão. Este fato faz da análise das séries das

estações de monitoramento fluviométrico possuir caráter local – diferentemente daquela feita com os postos pluviométricos. Foram selecionados, pois, as estações fluviométricas conforme a tabela 3.

Tabela 3 - Estações Fluviométricas selecionadas. Fonte: autor.

Bacia Hidrográfica	Estação Fluviométrica	Código	Entidade responsável	Longitude(°)	Latitude(°)
Rio Taperoá	Poço de Pedras	38850000	ANA-CPRM	-36,4336	-7,3981
Alto Curso do Rio Paraíba	Caraúbas	38830000	ANA-CPRM	-36,5053	-7,7211

Do mesmo modo que nas séries históricas referentes aos dados pluviométricos, nas séries de dados fluviométricos, foi elaborado um gráfico de Gantt para que se pudesse compatibilizar o período estudado entre as duas estações e fosse, então, passível de uma análise mais acurada. Após essa etapa, observou-se que o melhor intervalo de tempo para o presente estudo foi entre janeiro de 1971 a dezembro de 2014.

4.2.3 Volumes do Reservatório

As bacias hidrográficas do Rio Taperoá e do Alto Curso do Rio Paraíba constituem-se como as principais afluentes do Açude Epitácio Pessoa, popularmente conhecido como Açude Boqueirão, preponderante manancial abastecedor da cidade de Campina Grande (segunda maior cidade do Estado da Paraíba, forte polo socioeconômico) e região circunvizinha como anteriormente mencionado.

Nesse sentido, a análise da variação do volume de tal reservatório tomando como base seus principais afluentes, mediante as oscilações periódicas de escoamento nos rios que desembocam no Açude Epitácio Pessoa, é fundamental para o entendimento do comportamento hidrológico subsequente ao período de seca. Os dados foram obtidos junto à AESA e correspondem ao período de análise dos dados fluviométricos (1971-2014).

Nesse sentido, para que fosse estabelecido um paralelo entre os resultados obtidos da análise das respostas oriundas do SRI, foram utilizados gráficos que representam a variação do volume do Açude Epitácio Pessoa em função do tempo. O principal objetivo é de enfatizar alguns períodos isolados de seca, de modo a maximizar a visualização do fenômeno e a decorrente resposta do conteúdo do reservatório.

4.3 Índice Padronizado de Precipitação – SPI

O *Standardized Precipitation Index* (SPI) – Índice Padronizado de Precipitação, tradução livre – foi desenvolvido por McKee *et al.* (1993), é um indicador meteorológico que tem por finalidade o aprimoramento da caracterização e monitoramento dos períodos destacados por se configurarem anormalmente secos e úmidos (Rosa, 2011). O SPI segue o limiar da distribuição de probabilidade da precipitação e pode ser calculado para diferentes escalas de tempo (para i anos e j meses).

A escala mensal j é comumente aplicada a partir de 1 mês até n meses, a depender da finalidade almejada, sendo comum a escolha das escalas 3, 6, 12, 18, 24 e 36 meses. Para a escala anual i , é recomendada uma quantidade mínima de 30 anos de dados consecutivos. Nesse contexto, conforme a escala temporal estabelecida, o SPI passa a ser denotado como SPI-3 quando a escala j é corresponde a 3 meses; SPI-6, quando corresponde a 6 meses; SPI-12, quando corresponde a 12 meses; e assim sucessivamente. No presente trabalho foram utilizadas as escalas temporais de 12, 18 e 24 meses, que refletem secas de mais longo prazo (hidrológicas) e que impactam a acumulação de água no o reservatório. Em caso de dados faltosos, foi utilizado o código ‘-9999’, para que a consistência do resultado não se dê de modo desconcertado (NDMC, 2018).

Para o cálculo do SPI, adotam-se os passos enumerados a seguir (CGEE, 2016):

- I. Escolha de uma escala de tempo, como, por exemplo, o total de precipitação em um mês ou em um conjunto de meses;
- II. Ajuste da distribuição de probabilidade, que é uma função que define probabilidades para os valores de uma variável aleatória – para a presente análise, a precipitação em n -meses;
- III. Estimativa dos valores da probabilidade de não excedência, isto é, a probabilidade acumulada de valores de precipitação serem menores que este na série de escala temporal, do evento de precipitação do ano cujo o qual objetiva-se analisar a seca;
- IV. Cálculo da variável reduzida utilizando uma função de distribuição normal;
- V. Reconhecer o correspondente ao valor da probabilidade de não excedência, como detalhado a seguir.

A função de distribuição de probabilidade que foi utilizada no ajuste dos dados foi a gama com dois parâmetros, a qual é definida seguinte a fórmula:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, x > 0 \quad (Eq. 1)$$

em que:

$\alpha > 0$ é o parâmetro de forma (adimensional); $\beta > 0$ é o parâmetro de escala (adimensional); x é a variável aleatória em estudo; Γ é a função gama.

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (Eq. 2)$$

Com base no proposto pela Eq. 1, a distribuição gama somente está definida para valores de x maiores que zero. Portanto, quando determinado mês se dá com valores nulos, o uso de uma transformação da distribuição de probabilidade acumulada se faz premente, e é definida por:

$$G(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (Eq. 3)$$

de modo que $G(x)$, denominada função gama incompleta, é a função de distribuição estipulada a partir dos valores diferentes de zero da série histórica de dados que é utilizada e q é a probabilidade de aparecer valores zeros na amostra. Logo, o SPI é definido como sendo:

$$SPI = \varphi^{-1}[F(x)] \quad (Eq. 4)$$

de forma que φ é a função de distribuição normal reduzida. Para tanto, os valores de SPI são classificados de acordo com a Tabela 4:

Tabela 4 - Categorização de Secas para o SPI e o SRI. Fonte: CGEE (2016).

Categorias de Seca	SPI
Seca Fraca	-0,50 a -0,79
Seca Moderada	-0,80 a -1,29
Seca Grave	-1,30 a -1,59
Seca Extrema	-1,60 a -1,99
Seca Excepcional	$\leq -2,00$

O fenômeno natural da seca nas bacias supracitadas foi avaliado primeiramente por meio das precipitações mensais utilizando o SPI, no qual, a partir dos resultados, as secas foram classificadas seguindo o mesmo critério utilizado por CGEE (2016). Esse critério aloca as secas em cinco categorias: fraca, moderada, grave, extrema e excepcional conforme apresentado na Tabela 5 (no decorrer da análise dos resultados, as categorias de secas grifadas nos gráficos e tabelas seguirão a indicação de tal tabela).

As escalas temporais utilizadas no cálculo do SPI foram de 12, 18 e 24 meses para os cinco postos pluviométricos selecionados na bacia do Rio Taperoá e os quatro da bacia do Alto Curso do Rio Paraíba. Cabe ainda ressaltar que as tabelas que mostram os resultados do SPI para os postos pluviométricos de cada bacia hidrográfica, são cortes para evidenciar somente

os períodos de seca em comum entre todos as estações da bacia – o que indica uma seca generalizada na área desta.

Tabela 5 - Categorização de Secas para o SPI e o SRI com indicação das cores que representam cada categoria.
Fonte: CGEE (2016).

	Entre -0,50 e -0,79	Seca Fraca
	Entre -0,80 e -1,29	Seca Moderada
	Entre -1,30 e -1,59	Seca Grave
	Entre -1,60 e -1,99	Seca Extrema
	Menor que -2,00	Seca Excepcional

4.4 Índice Padronizado de Escoamento – SRI

O Índice Padronizado de Escoamento (SRI) segue sequência de funcionamento análoga ao do SPI, utilizando, por sua vez, os dados de vazão fluvial de determinado posto fluviométrico. O SRI caracteriza-se como um indicador de seca hidrológica, adequando-se a diferentes escalas de tempo, de mensais a sazonais, de modo a se configurar como um bom complemento ao SPI por aludir às facetas hidrológicas da seca (Shukla e Wood, 2008).

Para tanto, os parâmetros de identificação da severidade das secas conforme resultados obtidos, seguem os mesmos valores àqueles adotados pelo SPI (Tabela 4). Apesar de ampla similaridade com o SPI, uma particularidade presente apenas no SRI é o fato de ser impreterível o uso de uma série histórica de dados contínua, isto é, livre de eventuais falhas.

As secas observadas, mediante os resultados obtidos da aplicação da série histórica de vazão no SRI para as bacias do Rio Taperoá e do Alto Curso do Rio Paraíba, apresentam um alcance diferente daquele denotado pelas respostas do SPI, uma vez que somente são analisados um posto fluviométrico em cada bacia, figurando uma abordagem local à análise do SRI – enquanto à do SPI foi atrelada a uma dimensão regional.

A série de dados das estações de monitoramento fluviométrico vão de janeiro do ano de 1971 a dezembro do ano de 2014 para ambas as bacias. Foram estabelecidas as escalas temporais de 12, 18 e 24 meses, de maneira a visualizar a prospecção das secas a partir de diferentes intervalos de tempo, bem como sua provável interferência nas variações do volume do reservatório. Para a bacia do Rio Taperoá foi selecionado o posto fluviométrico de Poço de Pedras, localizado no município de São João do Cariri; para a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba, a estação de dados de vazão fluvial escolhida foi a de Caraúbas, locada no município de seu nome.

4.5 Volume do reservatório

Nesse sentido, para que fosse estabelecido um paralelo entre os resultados obtidos da análise das respostas oriundas do SRI, foram utilizados gráficos que representam a variação do volume do Açude Epitácio Pessoa em função do tempo. O principal objetivo é de enfatizar alguns períodos isolados de seca, de modo a maximizar a visualização do fenômeno e a decorrente resposta do conteúdo do reservatório.

A princípio, pensou-se em fazer uso de Indicadores de Estado para a avaliação da variação do volume do reservatório. Entretanto, frente à complexidade de inserção de demanda do reservatório na análise de tais indicadores, o que poderia comprometer a caracterização dos eventos de seca, optou-se por apenas realizar a correlação existente entre os períodos secos apontados pelo SRI.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Serão analisados os resultados obtidos através do SPI e do SRI para avaliação e categorização de secas nas bacias hidrográficas do Alto Curso do Rio Paraíba e do Rio Taperoá, bem como a variação do comportamento do reservatório Eptácio Pessoa (Açude Boqueirão) mediante gráficos, tabelas e pontuações pertinentes acerca da problemática em questão.

5.1 SPI

5.1.1 SPI-12

Para a bacia do Rio Taperoá, foram avaliados os postos pluviométricos de Cabaceiras, Desterro, Junco do Seridó, Soledade e Taperoá em um período mais curto de dados, devido à disponibilidade de dados consistentes representativos da bacia, bem como com poucas falhas ao longo da série histórica (como já mencionado em tópicos anteriores).

O período de análise da bacia em questão foi de janeiro de 1994 a dezembro de 2016, totalizando um período de 23 anos, quando o SPI recomenda um intervalo mínimo de 30 anos de dados. Dessa forma, com base no funcionamento do SPI, os resultados obtidos para tal bacia podem apresentar uma superestimação ou subestimação da categorização dos fenômenos de seca, isto é, pondo como mais secos intervalos de tempo que não apresentaram secas significantes ou menos secos aqueles que tiveram secas mais severas. Isso acontece em razão do fato de não possuir tantos parâmetros dentro do intervalo de dados que corroborem em caracterizar com mais precisão as secas da região em questão.

Apesar de tal inconveniente, os resultados obtidos para a bacia do Rio Taperoá foram condizentes com os períodos de seca registrados historicamente, como os eventos de seca entre os anos de 1998-1999 e 2012-2014. Dentre os gráficos obtidos para os resultados de cada posto pluviométrico, foi selecionado o da estação de monitoramento pluviométrico de Cabaceiras por ser representativo com relação aos demais gráficos – que apresentaram comportamento semelhante, com exceção do posto pluviométrico de Desterro, o qual possui categorias menos graves de secas quando comparados aos demais, embora apresente o período mais longo de seca (32 meses, variando entre secas fracas, moderadas e graves).

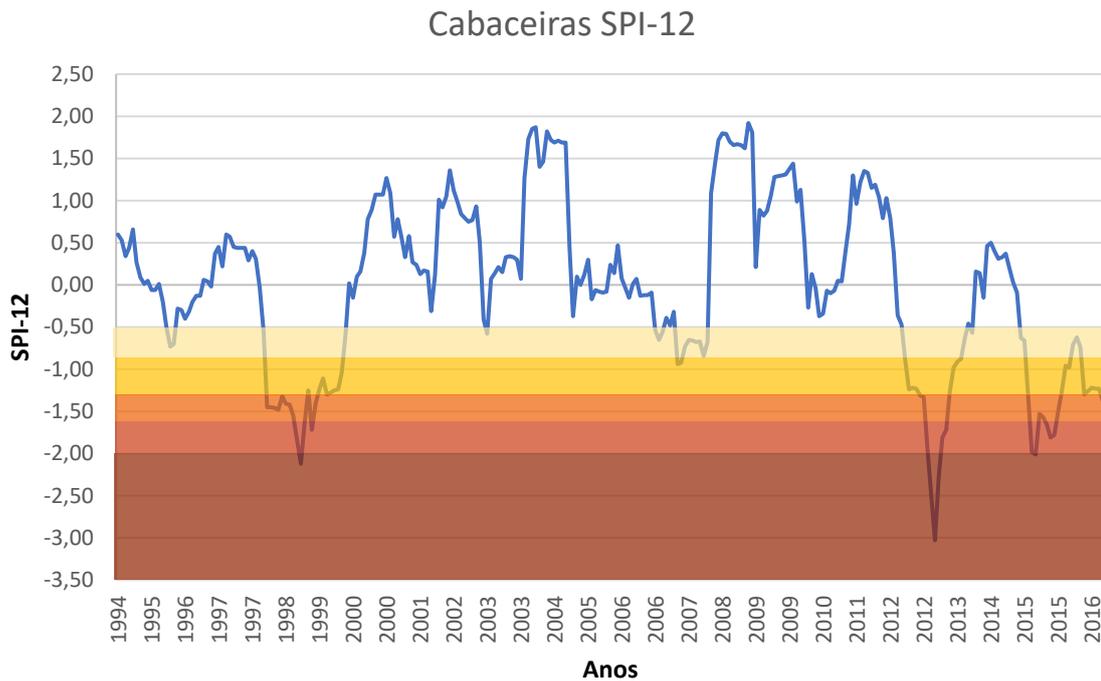


Figura 5 - Gráfico com o SPI-12 do posto pluviométrico de Cabaceiras, representativo da bacia do Rio Taperoá.
Fonte: autor.

Para os períodos de secas mais severas visualizados em comum entre todos os postos avaliados, para a seca entre os anos de 1998 e 1999, o posto de Soledade foi o que apresentou o quadro de secas mais severas, com 2 meses de seca fraca, 4 meses de seca grave, 11 meses de seca extrema e 7 meses de seca excepcional, chegando a um SPI de -2,96. Com relação ao período de 2012 a 2014, a estação de monitoramento pluviométrico de Junco do Seridó foi a que se destacou em eventos de secas severas com 2 meses de seca moderada, 3 meses de seca grave, 9 meses de seca extrema e 9 meses de seca excepcional, atingindo um SPI de -2,94.

Tabela 6 - Corte da série de resultados do SPI-12 para bacia do Rio Taperoá entre os anos de 1998 e 1999.
Fonte: autor.

RIO TAPEROÁ		SPI-12				
ANOS	MESES	Cabaceiras	Desterro	J. do Seridó	Soledade	Taperoá
1998	1	0,31	-1,2	-0,25	-0,64	-0,32
1998	2	-0,03	-1,3	-0,25	-0,77	-0,29
1998	3	-0,55	-1,5	-0,9	-1,68	-1,44
1998	4	-1,45	-1,48	-1,38	-2,29	-1,67
1998	5	-1,45	-1,44	-1,71	-2,31	-1,87
1998	6	-1,46	-1,48	-1,77	-2,29	-1,98
1998	7	-1,48	-1,42	-1,92	-1,96	-1,9
1998	8	-1,32	-1,35	-1,82	-1,74	-1,8
1998	9	-1,41	-1,35	-1,83	-1,74	-1,82
1998	10	-1,42	-1,35	-1,81	-1,79	-1,84

RIO TAPEROÁ		SPI-12				
ANOS	MESES	Cabaceiras	Desterro	J. do Seridó	Soledade	Taperoá
1998	11	-1,55	-1,25	-1,86	-1,92	-1,86
1998	12	-1,84	-1,6	-2,04	-2,25	-2,11
1999	1	-2,12	-1,54	-2,14	-2,96	-2,27
1999	2	-1,66	-1,27	-1,7	-2,73	-1,98
1999	3	-1,25	-1,46	-1,47	-2,07	-1,65
1999	4	-1,72	-1,47	-1,61	-1,89	-1,75
1999	5	-1,4	-0,73	-0,61	-1,64	-1,04
1999	6	-1,23	-0,74	-0,56	-1,42	-1,08
1999	7	-1,11	-0,58	-0,52	-1,45	-0,82
1999	8	-1,3	-0,63	-0,6	-1,67	-0,93
1999	9	-1,28	-0,63	-0,6	-1,66	-0,94
1999	10	-1,25	-0,6	-0,58	-1,6	-0,95
1999	11	-1,24	-0,71	-0,57	-1,59	-0,94
1999	12	-1,04	-0,17	-0,4	-1,4	-0,61

Tabela 7 - Corte da série de resultados do SPI-12 para bacia do Rio Taperoá entre os anos de 2012 e 2014.
Fonte: autor.

RIO TAPEROÁ		SPI-12				
ANOS	MESES	Cabaceiras	Desterro	J. do Seridó	Soledade	Taperoá
2012	4	0,38	-0,65	-0,87	0,26	0,14
2012	5	-0,36	-1,52	-1,76	-0,43	-1,03
2012	6	-0,47	-1,52	-1,62	-0,08	-0,91
2012	7	-0,88	-1,63	-1,86	-0,69	-1,41
2012	8	-1,24	-1,63	-1,97	-0,84	-1,43
2012	9	-1,22	-1,63	-1,98	-0,84	-1,45
2012	10	-1,23	-1,64	-2,13	-0,87	-1,62
2012	11	-1,31	-1,34	-2,1	-0,87	-1,57
2012	12	-1,33	-1,71	-2,31	-0,93	-1,68
2013	1	-1,96	-1,69	-2,66	-1,32	-1,8
2013	2	-2,48	-1,69	-2,94	-1,9	-2,26
2013	3	-3,03	-1,69	-3,32	-2,17	-2,41
2013	4	-2,26	-1,69	-2,56	-1,73	-1,46
2013	5	-1,81	-1,69	-2,32	-1,4	-1,16
2013	6	-1,72	-1,69	-2,13	-1,83	-1,3
2013	7	-1,27	-1,69	-1,86	-1,68	-0,99
2013	8	-0,98	-1,69	-1,73	-1,51	-0,99
2013	9	-0,91	-1,69	-1,72	-1,42	-0,98
2013	10	-0,88	-1,69	-1,69	-1,45	-0,99
2013	11	-0,63	-1,34	-1,52	-1,3	-0,89
2013	12	-0,46	-0,76	-1,3	-1,13	-0,61
2014	1	-0,57	-1,36	-1,42	-1,45	-0,87
2014	2	0,16	-1,17	-0,94	-0,72	-0,42
2014	3	0,14	-1,09	-0,32	-0,32	-0,1

Para a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba, foram avaliados os dados dos postos de Camalaú, Caraúbas, Prata e São Sebastião do Umbuzeiro. O período de análise dos dados para esta bacia possui maior extensão, sendo de janeiro de 1963 a dezembro de 2016, de acordo com a disponibilidade de dados consistentes e com poucas ou nenhuma falha ao longo da série, totalizando num intervalo de 53 anos.

Por possuir um período maior que o mínimo recomendado para o uso do SPI, os resultados obtidos para a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba apresentam maior potencial em serem condizentes e acurados com os eventos reais de seca da região. Do mesmo modo que para a bacia do Rio Taperoá, foi escolhido um gráfico dos resultados do SPI para um dos postos da bacia do Alto Curso do Rio Paraíba que fosse mais representativo entre os gráficos obtidos. Para tanto, foi escolhido o gráfico da estação pluviométrica de Camalaú (Figura 7).

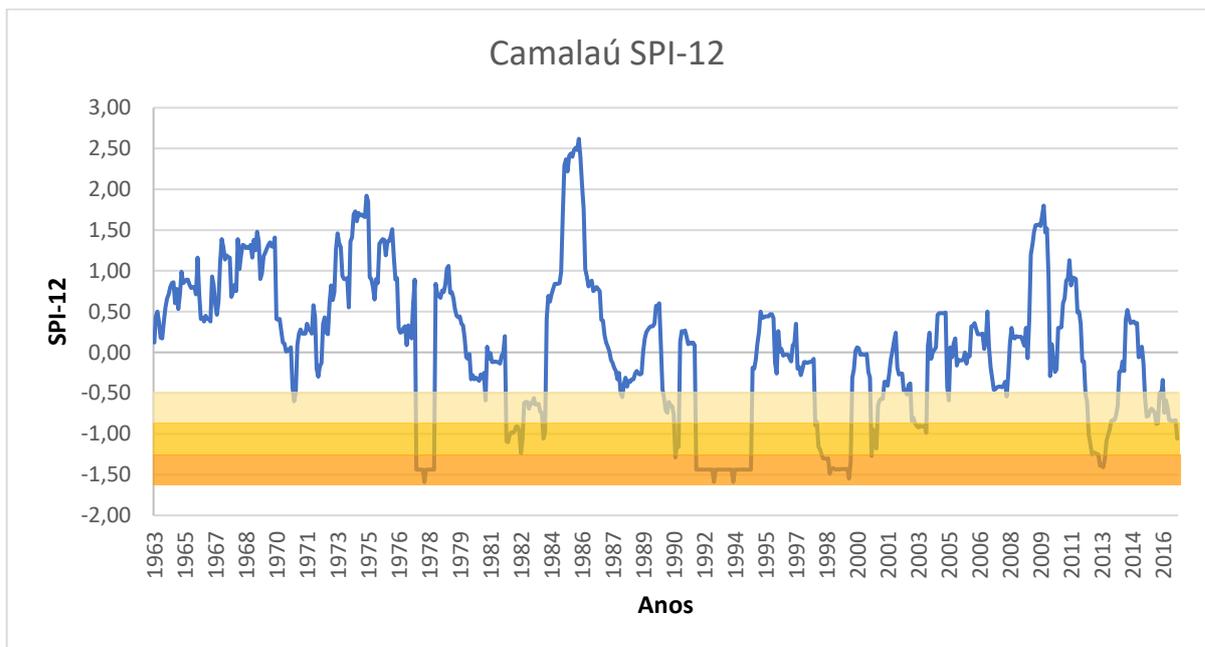


Figura 6 - Gráfico com o SPI-12 do posto pluviométrico de Camalaú, representativo da bacia do Rio Alto Paraíba. Fonte: autor.

No caso da bacia do Alto Curso do Rio Paraíba, foram observados períodos de secas compatíveis com aqueles vistos para a bacia do Rio Taperoá, com poucas diferenças, além da constatação de mais um período, entre os anos de 1981 e 1984. Foram os períodos similares: de outubro de 1997 a janeiro de 2000 e de março de 2012 a fevereiro de 2014. Para o primeiro período, o posto pluviométrico do município de Prata apresentou o período mais longo, com 7 meses de seca fraca e 20 meses de seca moderada; além dele, o posto do município de Camalaú também merece destaque por ter sido o único que neste período apresentou seca grave, com 5 meses de seca moderada e 17 meses de seca grave – chegando a um SPI de -1,55.

Para o segundo período citado, o posto do município de Prata continuou apresentando o período mais longo de seca, com 7 meses de seca fraca, 15 meses de seca moderada e 2 meses de seca grave. Em adição, o posto do município de Camalaú continuou se destacando pelos mesmos motivos, com 4 meses de seca fraca, 13 meses de seca moderada e 4 meses de seca grave.

Tabela 8 - Corte da série de resultados do SPI-12 para bacia do Rio Alto Paraíba entre os anos de 1998 e 2000.
Fonte: autor.

ALTO PARAÍBA		SPI-12			
ANOS	MESES	Camalaú	Caraúbas	Prata	S. Seb. U.
1998	3	-0,9	-0,45	-0,57	-0,75
1998	4	-0,85	-0,76	-0,64	-0,76
1998	5	-1,16	-0,84	-0,89	-0,87
1998	6	-1,19	-0,88	-0,9	-0,87
1998	7	-1,26	-0,91	-0,94	-0,88
1998	8	-1,3	-0,94	-1,01	-0,78
1998	9	-1,3	-0,89	-1	-0,73
1998	10	-1,31	-0,9	-1,01	-0,85
1998	11	-1,3	-0,91	-1	-0,84
1998	12	-1,49	-1,16	-1,21	-0,95
1999	1	-1,43	-1,19	-1,24	-0,91
1999	2	-1,42	-1,16	-1,08	-0,88
1999	3	-1,43	-0,79	-1,07	-0,84
1999	4	-1,44	-0,96	-1,2	-0,91
1999	5	-1,43	-0,27	-1,16	-0,74
1999	6	-1,44	-0,2	-1,16	-0,74
1999	7	-1,43	0,09	-1,15	-0,68
1999	8	-1,43	0,04	-1,15	-0,66
1999	9	-1,43	0,03	-1,15	-0,61
1999	10	-1,43	0,04	-1,1	-0,67
1999	11	-1,43	0,03	-1,1	-0,57
1999	12	-1,55	0,53	-1,09	-0,59
2000	1	-1,34	0,79	-1,09	-0,49

Tabela 9 - Corte da série de resultados do SPI-12 para bacia do Rio Alto Paraíba entre os anos de 2012 e 2014.
Fonte: autor.

ALTO PARAÍBA		SPI-12			
ANOS	MESES	Camalaú	Caraúbas	Prata	S. Seb. U.
2012	3	-0,52	0,38	-0,9	-0,18
2012	4	-0,61	0,15	-0,97	-0,48
2012	5	-1,01	-0,82	-1,13	-0,91
2012	6	-1,12	-0,87	-1,15	-0,91
2012	7	-1,25	-0,97	-1,18	-0,92

ALTO PARAÍBA		SPI-12			
ANOS	MESES	Camalaú	Caraúbas	Prata	S. Seb. U.
2012	8	-1,23	-0,98	-1,18	-0,85
2012	9	-1,23	-0,93	-1,18	-0,79
2012	10	-1,25	-0,94	-1,19	-0,86
2012	11	-1,25	-0,94	-1,19	-0,87
2012	12	-1,39	-1,05	-1,31	-0,95
2013	1	-1,38	-1,09	-1,31	-0,95
2013	2	-1,41	-1,19	-1,21	-0,94
2013	3	-1,31	-1,2	-1,21	-0,94
2013	4	-1,09	-1,19	-1,18	-0,89
2013	5	-1,01	-1,05	-0,99	-0,82
2013	6	-0,95	-1,06	-0,97	-0,84
2013	7	-0,84	-1,02	-0,83	-0,74
2013	8	-0,83	-0,92	-0,79	-0,67
2013	9	-0,83	-0,87	-0,78	-0,62
2013	10	-0,77	-0,87	-0,79	-0,52
2013	11	-0,65	-0,89	-0,76	-0,4
2013	12	-0,24	-0,95	-0,58	0,05
2014	1	-0,23	-1	-0,65	-0,03
2014	2	-0,11	-0,75	-0,51	0,03

Para a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba, os resultados do SPI apresentaram ainda um período de seca entre os anos de 1990 a 1994, com secas predominantemente moderadas em todos os postos. No entanto, foi comum também entre todos os postos analisados para essa bacia, a ausência de dados para o ano de 1992 e falhas no ano de 1993. Este fato pode ter colaborado para tal resultado nesse período, de modo a atribuir incertezas às respostas do SPI para esse intervalo de tempo.

Além disso, o posto pluviométrico do município de Caraúbas apresentou um longo período de seca entre maio de 2012 e dezembro de 2016, com 56 meses seguidos de seca, variando entre secas fracas e moderadas com um total de 10 e 46 meses, respectivamente, para essas categorias.

5.1.2 SPI-18

Seguindo os mesmos passos, análises e ressalvas do SPI-12 para as bacias do Alto Curso do Rio Paraíba e do Rio Taperoá, para o SPI-18 foram obtidos os seguintes resultados com relação a bacia do Rio Taperoá:

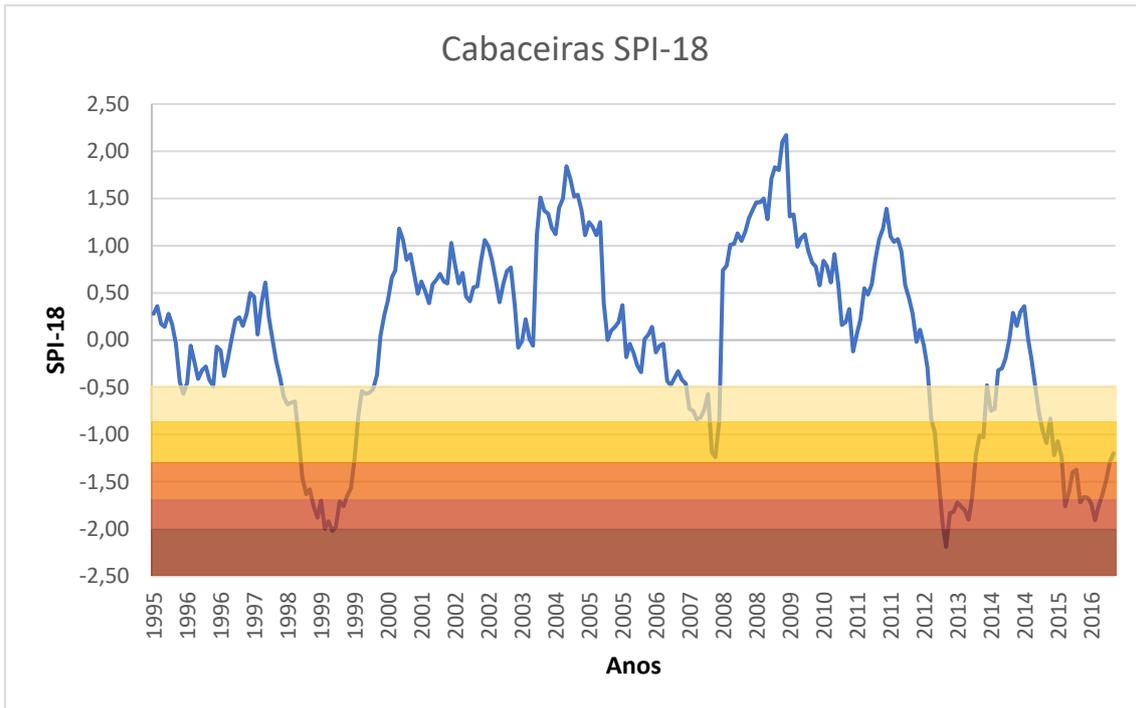


Figura 7 - Gráfico com o SPI-18 do posto pluviométrico de Cabaceiras, representativo da bacia do Rio Taperoá.
Fonte: autor.

Mais uma vez, foi escolhido o gráfico com os resultados do SPI para a posto pluviométrico do município de Cabaceiras, visando a comparação deste com o do SPI-12 para o mesmo posto, além de possuir representatividade entre as respostas do SPI dos demais postos analisados para essa bacia.

O período entre os anos de 1998 e 1999 foram novamente apontados com eventos de seca em comum entre os postos pluviométricos, com destaque para o posto do município de soledade, com um intervalo de seca de 24 meses, sendo 2 meses de seca fraca, 3 meses de seca moderada, 4 meses de seca grave, 3 meses de seca extrema e 12 meses de seca excepcional, atingindo um SPI de -2,59. Cabe ainda salientar que no posto do município de Junco do Seridó, esse período de seca iniciou em 1997 e foi até 1999, com 35 meses seguidos de seca (8 meses de seca fraca, 19 meses de seca moderada e 8 meses de seca grave).

Entre os anos de 2012 e 2014, as secas voltam a aparecer, com notoriedade no posto pluviométrico de Junco do Seridó. Esse posto apresentou 25 meses seguidos de eventos de seca, com 3 meses de seca fraca, 6 meses de seca moderada, 1 mês de seca grave, 4 meses de seca extrema e 11 meses de seca excepcional, alcançando um SPI de -2,93.

Tabela 10 - Corte da série de resultados do SPI-18 para bacia do Rio Taperoá entre os anos de 1998 e 1999.
Fonte: autor.

RIO TAPEROÁ		SPI-18				
ANOS	MESES	Cabaceiras	Desterro	J. do Seridó	Soledade	Taperoá
1998	1	0,24	-1,11	-0,21	-0,33	-0,42
1998	2	-0,01	-1,18	-0,32	-0,7	-0,55
1998	3	-0,23	-1,23	-0,48	-1,01	-0,83
1998	4	-0,4	-1,2	-0,72	-1,17	-1,01
1998	5	-0,6	-1,23	-1	-1,26	-1,17
1998	6	-0,68	-1,52	-1,17	-1,36	-1,26
1998	7	-0,66	-1,52	-1,2	-1,52	-1,17
1998	8	-0,65	-1,49	-1,04	-1,4	-1
1998	9	-1,04	-1,57	-1,67	-1,82	-1,81
1998	10	-1,46	-1,55	-1,76	-2,15	-1,82
1998	11	-1,63	-1,28	-1,95	-2,22	-2,03
1998	12	-1,58	-1,3	-1,95	-2,18	-2,14
1999	1	-1,76	-1,27	-1,93	-2,45	-2,33
1999	2	-1,88	-1,26	-1,92	-2,59	-2,32
1999	3	-1,7	-1,27	-1,58	-2,2	-1,94
1999	4	-2	-1,28	-1,83	-2,3	-2,12
1999	5	-1,92	-1,18	-1,36	-2,41	-1,82
1999	6	-2,02	-1,44	-1,48	-2,57	-1,95
1999	7	-1,98	-1,34	-1,5	-2,58	-1,69
1999	8	-1,71	-1,21	-1,37	-2,39	-1,57
1999	9	-1,76	-1,28	-1,46	-2,28	-1,56
1999	10	-1,65	-1,06	-1,15	-1,97	-1,38
1999	11	-1,57	-0,82	-0,9	-1,81	-1,12
1999	12	-1,27	-0,33	-0,58	-1,41	-0,78

Tabela 11 - Corte da série de resultados do SPI-18 para bacia do Rio Taperoá entre os anos de 2012 e 2014.
Fonte: autor.

RIO TAPEROÁ		SPI-18				
ANOS	MESES	Cabaceiras	Desterro	J. do Seridó	Soledade	Taperoá
2012	8	0,11	-0,3	-0,56	0,52	0,57
2012	9	-0,06	-0,46	-0,6	0,44	0,4
2012	10	-0,29	-0,96	-1,15	0,17	-0,19
2012	11	-0,84	-1,34	-1,88	-0,3	-1,06
2012	12	-0,98	-1,34	-2,04	-0,37	-1,16
2013	1	-1,48	-1,31	-2,23	-1,33	-1,63
2013	2	-1,94	-1,31	-2,43	-1,63	-1,75
2013	3	-2,19	-1,31	-2,93	-1,95	-2,22
2013	4	-1,83	-1,31	-2,81	-1,92	-1,88
2013	5	-1,82	-1,31	-2,86	-1,86	-1,9
2013	6	-1,72	-1,69	-2,62	-1,72	-1,84
2013	7	-1,76	-1,69	-2,64	-1,64	-1,74
2013	8	-1,8	-1,69	-2,74	-1,8	-1,94

RIO TAPEROÁ		SPI-18				
ANOS	MESES	Cabaceiras	Desterro	J. do Seridó	Soledade	Taperoá
2013	9	-1,9	-1,69	-2,48	-1,57	-1,55
2013	10	-1,66	-1,69	-2,13	-1,32	-1,31
2013	11	-1,21	-1,34	-1,77	-1,07	-0,91
2013	12	-1,01	-1,34	-1,69	-1,39	-0,83
2014	1	-1,03	-1,31	-1,7	-1,7	-0,99
2014	2	-0,48	-1,31	-1,47	-1,25	-0,8
2014	3	-0,75	-1,31	-1,22	-1,13	-0,82
2014	4	-0,73	-1,31	-0,99	-0,86	-0,65
2014	5	-0,32	-1,31	-0,98	-0,52	-0,39
2014	6	-0,3	-0,92	-1,01	-0,52	-0,38
2014	7	-0,19	-1,09	-0,94	-0,35	-0,28
2014	8	0,01	-0,92	-0,77	-0,19	-0,11
2014	9	0,29	-0,64	-0,38	0,13	0,2

Semelhantemente aos resultados obtidos na bacia do Rio Taperoá, na bacia do Alto Curso do Rio Paraíba para o SPI-18 também apresentou períodos de seca compatíveis. Deve-se também salientar que as ressalvas e análises feitas para o SPI-12 quanto à bacia do Alto Curso do Rio Paraíba continuam sendo válidas para a análise do SPI-18, quanto ao intervalo de tempo avaliado e os períodos de seca evidenciados pelos resultados.

O gráfico dos resultados do SPI escolhido para representar a bacia em questão foi novamente o do município de Camalaú, apresentando o aspecto ilustrado na Figura 8.

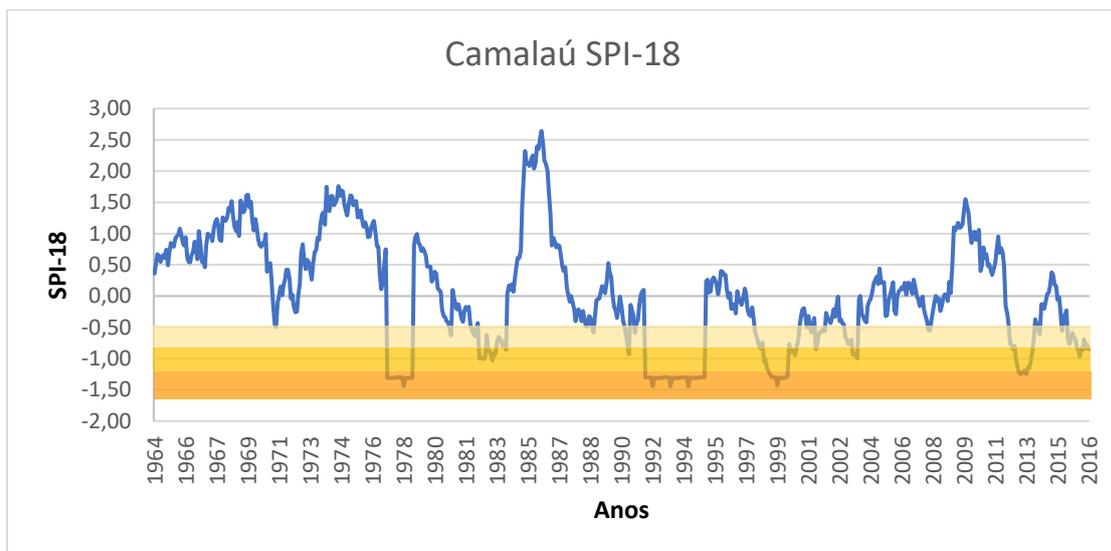


Figura 8 - Gráfico com o SPI-18 do posto pluviométrico de Camalaú, representativo da bacia do Rio Alto Paraíba. Fonte: autor.

Entre o mês de fevereiro de 1998 e o mês de agosto de 2000, foi visualizada um período de seca comum a todos os postos analisados para essa bacia, com evidência ao posto pluviométrico do município de Camalaú, com 7 meses de seca fraca, 14 meses de seca moderada e 10 meses de seca grave, alcançando um SPI de -1,43, de maneira a se estabelecer 31 meses de seca seguidos. Já entre os períodos de julho de 2012 e março de 2014, quem encontra-se em destaque é o posto do município de Prata, com 20 meses seguidos de seca moderada, apresentando um SPI de até -1,19. O posto do município de Caraúbas apresentou a mesma peculiaridade da análise do SPI-12, com um evento de seca longo (50 meses seguidos), sendo 6 meses de seca fraca e 44 meses de seca moderada.

Tabela 12 - Corte da série de resultados do SPI-18 para bacia do Rio Alto Paraíba entre os anos de 1998 e 2000.
Fonte: autor.

ALTO PARAÍBA		SPI-18			
ANOS	MESES	Camalaú	Caraúbas	Prata	S. Seb. U.
1998	2	-0,34	0,36	-0,56	-0,04
1998	3	-0,57	0,05	-0,63	-0,23
1998	4	-0,65	-0,11	-0,65	-0,39
1998	5	-0,73	-0,16	-0,75	-0,56
1998	6	-0,82	-0,21	-0,84	-0,61
1998	7	-0,84	-0,33	-0,91	-0,63
1998	8	-0,74	-0,28	-0,87	-0,35
1998	9	-1,05	-0,67	-0,87	-0,61
1998	10	-1,01	-0,77	-0,98	-0,62
1998	11	-1,16	-0,87	-1,05	-0,65
1998	12	-1,19	-0,88	-1,06	-0,66
1999	1	-1,25	-1	-1,03	-0,7
1999	2	-1,29	-1,05	-1,02	-0,75
1999	3	-1,3	-0,88	-0,94	-0,75
1999	4	-1,3	-0,96	-0,98	-0,85
1999	5	-1,3	-0,66	-0,98	-0,81
1999	6	-1,43	-0,78	-1,09	-0,9
1999	7	-1,31	-0,65	-1,1	-0,8
1999	8	-1,31	-0,57	-1,09	-0,66
1999	9	-1,31	-0,41	-1,17	-0,6
1999	10	-1,31	-0,31	-1,19	-0,61
1999	11	-1,31	-0,12	-1,17	-0,52
1999	12	-1,3	0,37	-1,11	-0,5
2000	1	-1,28	0,54	-1,05	-0,44
2000	2	-0,77	0,39	-0,73	-0,48
2000	3	-0,89	0,38	-0,77	-0,55
2000	4	-0,85	0,36	-0,64	-0,43
2000	5	-0,86	0,32	-0,6	-0,42

ALTO PARAÍBA		SPI-18			
ANOS	MESES	Camalaú	Caraúbas	Prata	S. Seb. U.
2000	6	-0,95	0,4	-0,69	-0,42
2000	7	-0,82	0,49	-0,71	-0,41
2000	8	-0,72	0,73	-0,56	-0,11
2000	9	-0,5	0,68	-0,45	-0,03

Tabela 13 - Corte da série de resultados do SPI-18 para bacia do Rio Alto Paraíba entre os anos de 2012 e 2014.
Fonte: autor.

ALTO PARAÍBA		SPI-18			
ANOS	MESES	Camalaú	Caraúbas	Prata	S. Seb. U.
2012	7	-0,77	0,34	-0,74	-0,42
2012	8	-0,77	-0,15	-1	-0,46
2012	9	-0,85	-0,17	-1,12	-0,4
2012	10	-0,8	-0,14	-1,1	-0,49
2012	11	-1,01	-0,87	-1,16	-0,67
2012	12	-1,13	-0,9	-1,19	-0,68
2013	1	-1,22	-1,03	-1,19	-0,73
2013	2	-1,25	-1,06	-1,1	-0,79
2013	3	-1,23	-1,09	-1,02	-0,79
2013	4	-1,2	-1,08	-1,01	-0,84
2013	5	-1,19	-0,92	-1	-0,85
2013	6	-1,25	-1	-1,09	-0,92
2013	7	-1,14	-1	-1,08	-0,82
2013	8	-1,15	-1,01	-1,06	-0,71
2013	9	-1,04	-0,93	-1,07	-0,64
2013	10	-0,89	-0,92	-1,01	-0,55
2013	11	-0,71	-0,93	-0,89	-0,43
2013	12	-0,37	-0,92	-0,74	-0,08
2014	1	-0,46	-0,98	-0,83	-0,26
2014	2	-0,54	-0,94	-0,84	-0,29
2014	3	-0,61	-1,01	-0,48	-0,31

No período que vai de 1981 a 1984, mais uma vez foram observadas respostas que indicam seca, bem como entre os anos de 1990 e 1994. Entretanto, para este último, o mesmo apontamento feito para os resultados do SPI-12 também é pertinente para o SPI-18.

5.1.3 SPI-24

De maneira similar às análises anteriores, o SPI-24 apresentou resultados de categorização de secas compatíveis com os períodos de secas do SPI-12 e do SPI-18 tanto para a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba quanto para a do Rio Taperoá. Foram aplicados as mesmas

séries históricas de dados. Da mesma forma, para a bacia do Rio Taperoá, foi escolhido o gráfico do SPI-24 do posto do município de Cabaceiras, em razão da sua representatividade quanto aos resultados obtidos para os demais postos selecionados da bacia em questão. Conforme Figura 9:

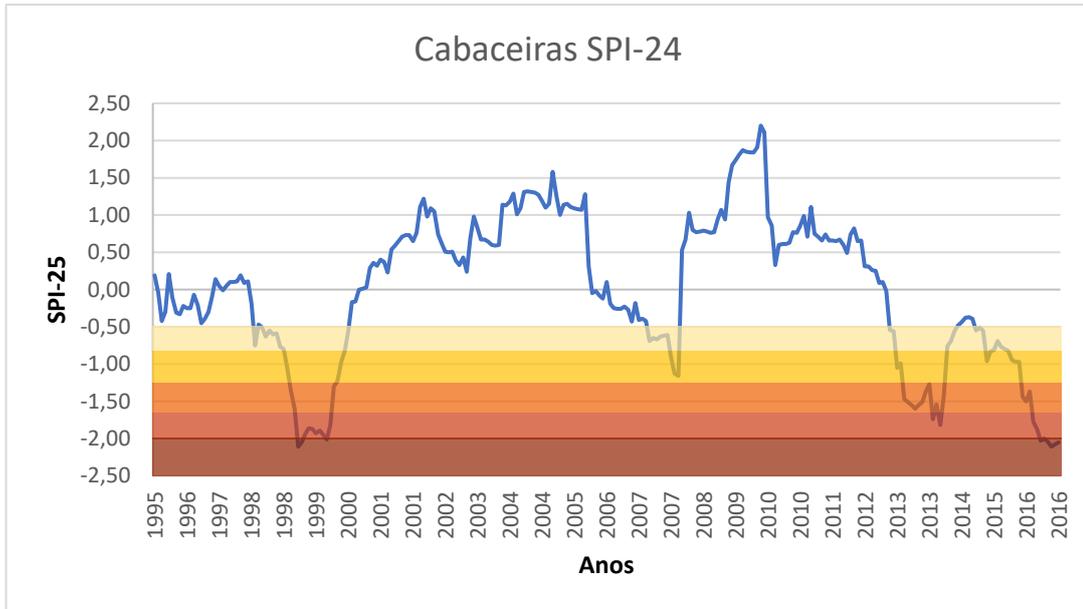


Figura 9 - Gráfico com o SPI-24 do posto pluviométrico de Cabaceiras, representativo da bacia do Rio Taperoá. Fonte: autor.

Entre os meses de fevereiro de 1998 e março de 2000, foi caracterizada, de modo geral, como um evento de seca mais moderado, entretanto, apresenta ainda quadros de secas extremas e excepcionais. Um posto de monitoramento pluviométrico que merece ser evidenciado é, novamente, o do município de Soledade, cujo qual apresentou nesse período de tempo 25 meses seguidos de seca, sendo 1 mês de seca fraca, 6 meses de seca moderada, 4 meses de seca grave, 1 mês de seca extrema e 12 meses de seca excepcional, atingindo um SPI de -2,84.

Para o período que vai de novembro de 2012 a dezembro de 2015, houve a predominância de uma seca grave sobre a região, segundo o resultado dos postos em questão. O posto pluviométrico do município de Junco do Seridó foi o que apresentou os níveis mais críticos de seca, com 36 meses seguidos de quadro de seca, sendo 10 meses de seca fraca, 12 meses de seca moderada, 2 meses de seca grave e 12 meses de seca excepcional, de maneira a alcançar um SPI de -2,70.

Os postos de medição de chuva dos municípios de Cabaceiras e Soledade, após a amenização do cenário do período citado no parágrafo anterior, voltam a apresentar resultados

que apontam para a acentuação do fenômeno da seca, chegando a secas com duração de 6 meses caracterizadas como excepcionais e extremas, respectivamente.

Tabela 14 - Corte da série de resultados do SPI-24 para bacia do Rio Taperoá entre os anos de 1998 e 2000.

Fonte: autor.

RIO TAPEROÁ		SPI-24				
ANOS	MESES	Cabaceiras	Desterro	J. do Seridó	Soledade	Taperoá
1998	2	0,11	-0,84	-0,38	-0,42	-0,58
1998	3	-0,19	-1,06	-0,7	-0,88	-0,85
1998	4	-0,75	-1,2	-0,96	-1,41	-1,16
1998	5	-0,47	-1,24	-0,93	-1,22	-1,07
1998	6	-0,51	-1,24	-1,02	-1,28	-1,13
1998	7	-0,63	-1,25	-1,06	-1,18	-1,18
1998	8	-0,55	-1,24	-0,97	-1,25	-1,16
1998	9	-0,6	-1,24	-1,04	-1,3	-1,25
1998	10	-0,59	-1,24	-1,03	-1,3	-1,24
1998	11	-0,77	-1,01	-1,19	-1,31	-1,31
1998	12	-0,8	-1,26	-1,34	-1,39	-1,44
1999	1	-1,05	-1,23	-1,38	-2,18	-1,51
1999	2	-1,35	-1,21	-1,38	-2,5	-1,55
1999	3	-1,6	-1,26	-1,73	-2,67	-2,03
1999	4	-2,11	-1,27	-1,97	-2,84	-2,18
1999	5	-2,05	-1,21	-1,5	-2,78	-1,99
1999	6	-1,94	-1,21	-1,48	-2,67	-2,03
1999	7	-1,86	-1,19	-1,53	-2,46	-1,84
1999	8	-1,87	-1,2	-1,57	-2,42	-1,89
1999	9	-1,93	-1,2	-1,58	-2,41	-1,88
1999	10	-1,89	-1,18	-1,53	-2,34	-1,86
1999	11	-1,95	-0,95	-1,58	-2,4	-1,85
1999	12	-2,01	-0,96	-1,52	-2,43	-1,74
2000	1	-1,82	-0,82	-1,45	-1,84	-1,56
2000	2	-1,3	-0,57	-0,93	-1,02	-1,36
2000	3	-1,23	-0,72	-1,1	-0,6	-1,46

Tabela 15 - Corte da série de resultados do SPI-24 para bacia do Rio Taperoá entre os anos de 2012 e 2016.

Fonte: autor.

RIO TAPEROÁ		SPI-24				
ANOS	MESES	Cabaceiras	Desterro	J. do Seridó	Soledade	Taperoá
2012	11	0,1	-1,07	-0,25	0,81	0,92
2012	12	-0,02	-1,34	-0,45	0,6	0,79
2013	1	-0,54	-1,31	-0,85	0,2	0,56
2013	2	-0,56	-1,31	-1,1	-0,05	0,22
2013	3	-1,05	-1,31	-1,59	-0,44	-0,25
2013	4	-0,99	-1,31	-2,08	-0,85	-0,75
2013	5	-1,47	-1,31	-2,7	-1,3	-1,57
2013	6	-1,51	-1,31	-2,47	-1,25	-1,53

RIO TAPEROÁ		SPI-24				
ANOS	MESES	Cabaceiras	Desterro	J. do Seridó	Soledade	Taperoá
2013	7	-1,55	-1,31	-2,48	-1,68	-1,7
2013	8	-1,6	-1,31	-2,51	-1,68	-1,73
2013	9	-1,55	-1,31	-2,5	-1,62	-1,71
2013	10	-1,51	-1,31	-2,55	-1,61	-1,77
2013	11	-1,37	-1,07	-2,45	-1,52	-1,66
2013	12	-1,27	-1,34	-2,39	-1,46	-1,53
2014	1	-1,74	-1,31	-2,54	-1,98	-1,75
2014	2	-1,54	-1,31	-2,57	-2,03	-1,8
2014	3	-1,82	-1,31	-2,01	-1,62	-1,35
2014	4	-1,42	-1,31	-1,41	-0,99	-0,95
2014	5	-0,76	-1,31	-1,18	-0,51	-0,45
2014	6	-0,69	-1,31	-1,24	-0,73	-0,52
2014	7	-0,56	-1,31	-1,21	-0,62	-0,41
2014	8	-0,48	-1,31	-1,17	-0,59	-0,4
2014	9	-0,44	-1,31	-1,14	-0,51	-0,38
2014	10	-0,38	-1,31	-1,1	-0,46	-0,33
2014	11	-0,37	-1,07	-0,9	-0,46	-0,31
2014	12	-0,39	-0,66	-0,98	-0,51	-0,35
2015	1	-0,55	-0,89	-1,03	-0,72	-0,51
2015	2	-0,51	-0,81	-0,88	-0,56	-0,04
2015	3	-0,55	-0,68	-0,79	-0,46	0,15
2015	4	-0,96	-0,66	-0,68	-0,44	0,25
2015	5	-0,83	-0,68	-0,61	-0,48	0,28
2015	6	-0,81	-0,68	-0,75	-0,52	0,21
2015	7	-0,69	-0,53	-0,65	-0,29	0,19
2015	8	-0,77	-0,53	-0,66	-0,34	0,2
2015	9	-0,8	-0,53	-0,67	-0,36	0,19
2015	10	-0,82	-0,52	-0,65	-0,37	0,19
2015	11	-0,95	-0,4	-0,72	-0,42	0,12
2015	12	-0,97	-0,73	-0,63	-0,55	0,03
2016	1	-0,97	-0,25	-0,48	-0,55	0,41
2016	2	-1,44	-0,19	-0,42	-0,92	0,38
2016	3	-1,5	-0,02	-0,4	-1,16	0,3
2016	4	-1,37	-0,19	-0,41	-1,28	0,1
2016	5	-1,77	-0,24	-0,43	-1,52	-0,2
2016	6	-1,88	-0,25	-0,49	-1,59	-0,27
2016	7	-2,03	-0,29	-0,53	-1,63	-0,38
2016	8	-2	-0,34	-0,53	-1,64	-0,41
2016	9	-2,04	-0,33	-0,56	-1,74	-0,42
2016	10	-2,11	-0,37	-0,56	-1,82	-0,46
2016	11	-2,08	-0,34	-0,74	-1,81	-0,5
2016	12	-2,05	-0,47	-0,81	-1,86	-0,56

Com relação a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba, os resultados também apresentam similaridades em comparação com o SPI-12 e o SPI-18, apesar de apresentar períodos menores de seca e razoavelmente menos intensos em razão da escala temporal utilizada. O gráfico do SPI-24 do posto pluviométrico de Camalaú foi novamente escolhido conforme as mesmas razões anteriormente levantadas.

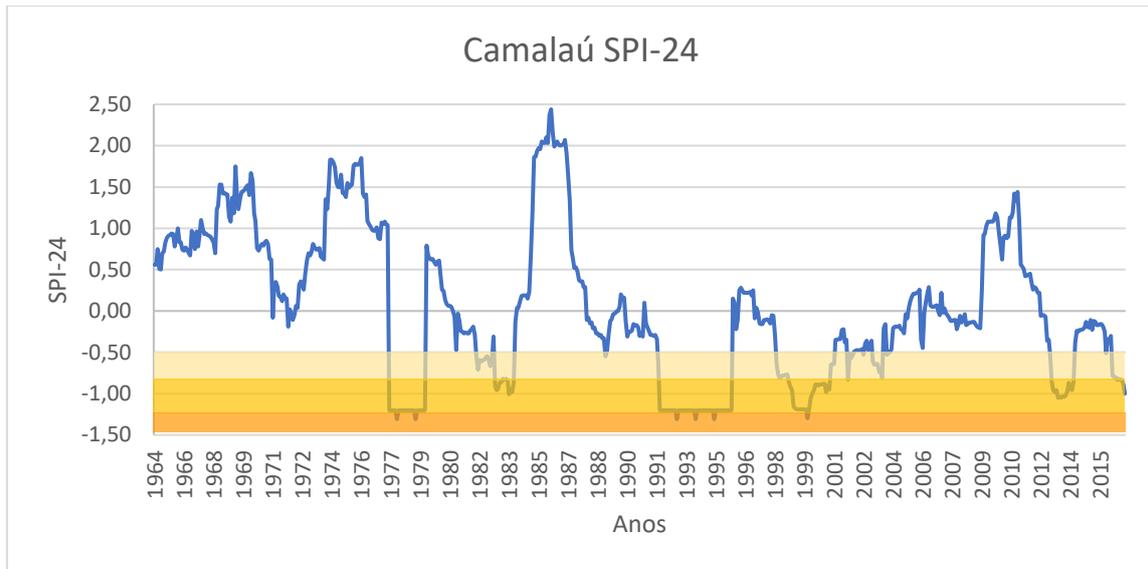


Figura 10 - Gráfico com o SPI-24 do posto pluviométrico de Camalaú, representativo da bacia do Rio Alto Paraíba. Fonte: autor.

No período de anos que vinha sendo comum a apresentação de eventos de seca com o SPI-12 e o SPI-18, apresentaram menor abrangência no SPI-24 – fato que acontece, por exemplo, entre os anos de 1998 e 1999, nos quais são apontados meses com secas predominantemente fracas e moderadas, principalmente nos postos de Camalaú e Prata.

De modo semelhante acontece entre o período de 2012 a 2014. A seca indicada pelos resultados está em períodos em comum entre os postos avaliados entre março de 2013 e março de 2014, sendo a seca moderada a categoria mais apontada. O posto pluviométrico de Caraúbas novamente apresenta continuidade do evento de seca, com 46 meses seguidos (de março de 2012 a dezembro de 2016), sendo 3 meses de seca fraca e 43 meses de seca moderada.

Tabela 16 - Corte da série de resultados do SPI-24 para bacia do Rio Alto Paraíba entre os anos de 1998 e 1999. Fonte: autor.

ALTO PARAÍBA		SPI-24			
ANOS	MESES	Camalaú	Caraúbas	Prata	S. Seb. U.
1998	3	-0,29	-0,07	-0,57	0,06
1998	4	-0,65	-0,34	-0,64	-0,26
1998	5	-0,77	-0,22	-0,82	-0,33

ALTO PARAÍBA		SPI-24			
ANOS	MESES	Camalaú	Caraúbas	Prata	S. Seb. U.
1998	6	-0,81	-0,22	-0,81	-0,33
1998	7	-0,8	-0,23	-0,8	-0,36
1998	8	-0,78	-0,23	-0,8	-0,32
1998	9	-0,78	-0,25	-0,8	-0,27
1998	10	-0,77	-0,25	-0,83	-0,32
1998	11	-0,77	-0,28	-0,83	-0,42
1998	12	-0,86	-0,33	-0,94	-0,5
1999	1	-0,92	-0,52	-0,98	-0,55
1999	2	-0,96	-0,57	-0,9	-0,49
1999	3	-1,16	-0,73	-0,88	-0,64
1999	4	-1,18	-0,87	-0,98	-0,65
1999	5	-1,19	-0,66	-0,99	-0,63
1999	6	-1,19	-0,63	-0,98	-0,63
1999	7	-1,19	-0,52	-0,99	-0,68
1999	8	-1,19	-0,57	-1	-0,62
1999	9	-1,19	-0,56	-1	-0,56
1999	10	-1,19	-0,56	-0,99	-0,58
1999	11	-1,19	-0,57	-0,98	-0,57
1999	12	-1,3	-0,45	-1,08	-0,66

Tabela 17 - Corte da série de resultados do SPI-24 para bacia do Rio Alto Paraíba entre os anos de 2013 e 2014.

Fonte: autor.

ALTO PARAÍBA		SPI-24			
ANOS	MESES	Camalaú	Caraúbas	Prata	S. Seb. U.
2013	3	-0,98	-0,66	-1,01	-0,58
2013	4	-0,96	-0,71	-1	-0,58
2013	5	-1,05	-0,91	-0,99	-0,65
2013	6	-1,04	-0,91	-0,99	-0,66
2013	7	-1,05	-0,92	-0,99	-0,71
2013	8	-1,03	-0,91	-0,98	-0,65
2013	9	-1,04	-0,85	-0,98	-0,59
2013	10	-1,02	-0,85	-0,98	-0,57
2013	11	-0,97	-0,85	-0,98	-0,57
2013	12	-0,87	-0,93	-1,04	-0,52
2014	1	-0,91	-1	-1,07	-0,55
2014	2	-0,96	-1	-0,98	-0,54
2014	3	-0,86	-1	-0,77	-0,47

5.1.4 Análise simultânea entre os SPI-12, SPI-18 e SPI-24

Na análise simultânea dos resultados obtidos para as três escalas de tempo escolhidas na avaliação do SPI, foi observada uma tendência de reduzir a severidade dos eventos de seca conforme a escala temporal é aumentada.

De certo, há grande probabilidade de que este fato esteja atrelado à escala temporal, isto é, quanto maior é o intervalo de tempo escolhido, mais as respostas do SPI tendem a apontar somente aquelas secas que se caracterizaram como realmente contundentes na série histórica. Além disso, é importante salientar que essa circunstância observada está relacionada para o caso do presente trabalho, não sendo uma verdade generalizada.

Além disso, uma seca prolongada apontada pelo SPI-24 pode ser bem mais prejudicial quanto aos impactos socioeconômicos de uma região que a seca evidenciada pelo SPI-12, em razão do seu alcance temporal ser mais duradouro e, conseqüentemente, mais pungente, mesmo que ambos os resultados indiquem a mesma categoria de seca.

Os períodos de secas aqui destacados não foram os únicos, apenas os mais nítidos e comum entre todos os postos da bacia analisados. De fato, no decorrer de toda a série de dados, tanto para a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba quando para a bacia do Rio Taperoá, houve eventos de seca de curta duração ou até mais prolongadas, embora não coincidisse com os outros postos analisados, levando-se a entendê-los como fenômenos isolados localmente.

Devido ao intuito de avaliação regional das bacias em questão com o SPI, deu-se foco, por conseguinte, apenas aos períodos de seca concomitantes, de um modo geral, entre os postos pluviométricos selecionados para cada bacia. Foram também elaboradas duas tabelas com vista em tornar mais visível o entendimento dos períodos de secas, como também sua proporção por meio do SPI.

As tabelas apresentadas a seguir possuem dados em porcentagem (%) e estão vinculadas, respectivamente, as bacias do Rio Taperoá e do Alto Curso do Rio Paraíba, sendo os dados relacionados a representação percentual daquela categoria de seca na região abordada.

Tabela 18 - Resumo em porcentagem (%) da ocorrência de cada categoria de seca entre os anos de 1994 e 2016, conforme SPI, para a bacia do Rio Taperoá. Fonte: autor.

RIO TAPEROÁ	SPI-12 (%)	SPI-18 (%)	SPI-24 (%)	Média (%)
Sem Seca	67,7	73,4	71,9	71,0
Seca Fraca	12,3	6,6	8,0	9,0
Seca Moderada	7,2	8,0	8,4	7,9
Seca Grave	5,3	4,1	5,5	5,0
Seca Extrema	5,4	5,4	3,3	4,7
Seca Excepcional	2,1	2,5	2,9	2,5

Tabela 19 - Resumo em porcentagem (%) da ocorrência de cada categoria de seca entre os anos de 1963 e 2016, conforme SPI, para a bacia do Alto Paraíba. Fonte: autor.

RIO ALTO PARAÍBA	SPI-12 (%)	SPI-18 (%)	SPI-24 (%)	Média (%)
Sem Seca	70,60	69,89	69,80	70,10
Seca Fraca	8,24	11,37	13,44	11,0
Seca Moderada	18,05	16,01	16,60	16,9
Seca Grave	3,10	2,73	0,16	2,0

Com base nas tabelas acima, pode-se constatar que maior parte do período analisado esteve fora da indicação de algum tipo de seca, com cerca de 70% do período tido como “normal”. A bacia do Rio Taperoá apresentou categorias de secas mais agressivas do que aquelas apontadas para a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba – fato que será discutido nos tópicos seguintes da análise dos resultados. No entanto, os períodos de secas, mesmo que em menor proporção, como mostrado nas tabelas, apresentam reflexos nos sistemas socioeconômicos que dependem da disponibilidade hídrica, bem como evidenciam a vulnerabilidade local ao fenômeno da seca.

5.2 SRI

5.2.1 Análise conjunta dos SRIs

A princípio, para a bacia do Rio Taperoá, foi observado que para uma menor escala de tempo, mais curtos são os eventos de seca de um modo geral, salvo poucas exceções, no entanto com categorias de secas mais severas que os resultados obtidos para maiores escalas temporais, de modo possuir um período de 23 meses seguidos de seca classificada como moderada para o SRI-12. Com relação ao SRI-18, existe semelhança entre este e o SRI-12, pois apresentam mesmas sequências de meses seguidos com seca. Contudo, cabe ainda abrir uma ressalva quanto essas duas escalas, visto que, apesar das suas correspondências, os períodos de secas observados para o SRI-18 são, no geral, mais longos e ligeiramente menos severos.

No tocante ao SRI-24, foi notado que quanto maior a escala temporal, maiores serão os intervalos de secas apontados, embora com categorias menos agressivas de eventos de seca. Com efeito, uma observação que merece ser salientada e que torna lúdico tal levantamento, foi a de que houve um período de 85 meses seguidos de seca na bacia do Rio Taperoá com base nos resultados obtidos via SRI-24, mas caracterizado em média com SRI de -0,8997; enquanto para o SRI-12, observou-se períodos com 26 meses seguidos de seca, contudo com SRI de -1,0015 – notoriamente menor que aquele citado acima na escala de 24 meses.

A seguir será apresentada uma tabela resumo (Tabela 20) dos períodos de seca observados na bacia do Rio Taperoá, bem como a quantidade de meses em cada categoria, sendo esta classificada como fraca (F), moderada (M), grave (G), extrema (Ext) ou excepcional (Exp), a duração (D) total em meses do período, o SRI médio da escala escolhida e, por conseguinte, a classificação média (CM) do evento de seca para o dado período. As células marcadas com o (*) indicam períodos de secas normalmente curtos que apresentaram os meses acometidos com o fenômeno em questão intercalados com um ou dois meses fora da classificação de seca (meses normais).

Tabela 20 - Resumo quantitativo de cada categoria de seca ocorrida entre os anos de 1971 a 2014, conforme SRI para a bacia do Rio Taperoá. Fonte: autor.

RIO TAPEROÁ		Quantidade (meses)						D (meses)	CM
Período	SRI-12	F	M	G	Ext	Exp			
05/1979 02/1981	-0,8328	3	19	-	-	-	22	Moderada	
03/1988 03/1989	-0,6621	7	2	-	-	-	9	Fraca*	
12/1990 04/1991	-1,0462	1	3	1	-	-	5	Moderada	
01/1993 02/1995	-1,0015	2	23	1	-	-	26	Moderada	
07/1997 05/1997	-0,5790	4	-	-	-	-	4	Fraca*	
11/1998 04/2000	-1,0082	3	13	2	-	-	18	Moderada	
01/2001 12/2001	-0,8486	-	9	-	-	-	9	Moderada	
01/2003 12/2003	-1,1127	1	9	2	-	-	12	Moderada	
05/2010 01/2011	-0,7212	5	4	-	-	-	9	Fraca	
05/2012 12/2014	-0,9496	8	22	2	-	-	32	Moderada	
Período	SRI-18	F	M	G	Ext	Exp	D (meses)	CM	
11/1979 02/1981	-1,0174	2	14	-	-	-	16	Moderada	
04/1983 08/1983	-0,6127	5	-	-	-	-	5	Fraca	
03/1988 10/1989	-0,7117	18	2	-	-	-	20	Fraca	
04/1990 10/1991	-0,7209	12	4	-	-	-	16	Fraca*	
02/1992 08/1992	-0,6243	7	-	-	-	-	7	Fraca	
01/1993 04/1995	-1,0773	4	16	8	-	-	28	Moderada	
01/1997 09/1997	-0,6893	9	-	-	-	-	9	Fraca	
02/1999 08/2000	-1,0035	7	8	4	-	-	19	Moderada	
04/2001 08/2002	-0,6620	12	3	-	-	-	15	Fraca*	
03/2003 12/2003	-0,9826	4	6	-	-	-	10	Moderada	
11/2012 12/2014	-1,1391	2	17	7	-	-	26	Moderada	
Período	SRI-24	F	M	G	Ext	Exp	D (meses)	CM	
03/1980 02/1981	-1,1354	1	11	-	-	-	12	Moderada	
04/1983 03/1984	-0,6680	12	-	-	-	-	12	Fraca	
04/1988 04/1995	-0,8997	48	26	11	-	-	85	Moderada	
03/1997 10/1997	-0,6968	7	1	-	-	-	8	Fraca	
03/1998 12/2003	-0,7722	52	12	4	-	-	68	Fraca	
04/2013 12/2014	-1,2916	1	9	11	-	-	21	Moderada	

Em seguida, com relação a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba, foram observados resultados análogos àqueles encontrados na bacia do Rio Taperoá. Isto é, é encontrada uma tendência a se observar, em menores escalas de tempo, períodos mais curtos e mais severos de seca do que aqueles apontados por escalas temporais maiores. Todavia, para o posto fluviométrico (Caraúbas) analisado para a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba, é evidenciada uma peculiaridade quanto à severidade das secas. Nela há uma incidência mais elevada de meses que apontam para categorias de secas extremas e excepcionais, chegando a possuir períodos com 18 meses seguidos de seca classificada como excepcional.

Do mesmo modo que para os resultados obtidos para o SRI aplicado à bacia do Rio Taperoá, para a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba também foi construída uma tabela resumo (Tabela 21), com as mesmas características e ressalvas da tabela anterior para que se tenha compreensão de seu conteúdo.

Tabela 21 - Resumo quantitativo de cada categoria de seca ocorrida entre os anos de 1971 a 2014, conforme SRI para a bacia do Rio Alto Paraíba. Fonte: autor.

ALTO PARAÍBA	SRI	Quantidade (meses)						D (meses)	CM
	Médio	F	M	G	Ext	Exp			
Período	SRI-12	F	M	G	Ext	Exp	D (meses)	CM	
02/1979 02/1980	-0,5134	3	-	-	-	-	3	Fraca	
04/1982 02/1983	-1,0495	1	9	1	-	-	11	Moderada	
07/1987 04/1989	-0,7930	18	3	-	-	1	22	Fraca	
12/1990 02/1991	-0,7880	2	1	-	-	-	3	Fraca	
01/1993 02/1995	-1,7128	11	4	-	-	11	26	Extrema	
04/1997 03/2000	-1,9123	12	3	3	-	18	36	Extrema	
05/2012 03/2014	-2,4790	1	4	2	-	16	23	Excep.	
Período	SRI-18	F	M	G	Ext	Exp	D (meses)	CM	
05/1980 08/1980	-0,5599	4	-	-	-	-	4	Fraca	
10/1982 10/1983	-0,8723	3	10	-	-	-	13	Moderada	
12/1987 10/1989	-0,8341	9	14	-	-	-	23	Moderada	
04/1990 10/1990	-0,5969	6	-	-	-	-	6	Fraca	
02/1993 04/1995	-1,3686	6	14	1	-	5	26	Grave	
04/1997 10/2001	-1,1478	23	16	8	2	5	54	Moderada	
11/2012 08/2014	-1,5145	5	5	7	1	4	22	Grave	
Período	SRI-24	F	M	G	Ext	Exp	D (meses)	CM	
04/1980 02/1981	-0,5497	11	-	-	-	-	11	Fraca	
04/1983 04/1984	-0,9160	1	11	-	-	-	12	Moderada	
04/1984 06/1992	-0,7422	31	19	-	-	-	50	Fraca	
12/1992 05/1995	-1,0283	6	21	3	-	-	30	Moderada	
03/1997 02/2002	-0,9996	22	26	12	-	-	60	Moderada	
05/2013 12/2014	-1,1222	7	3	10	-	-	20	Moderada	

De uma maneira geral, com base nos resultados obtidos e nas análises feitas anteriormente, torna-se evidente que a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba apresenta períodos de seca mais abruptos do que aqueles encontrados na bacia do Rio Taperoá e que, provavelmente, isso se deve as características e variáveis locais relacionadas a cada posto. Quando comparado aos resultados obtidos pelo SPI as respostas são diferentes: enquanto o SRI evidencia quadros de secas excepcionais, o SPI aponta maior parte dos períodos de seca com categorias entre fracas e moderadas, com poucos meses de seca grave.

Outra forma de visualização de tais nuances observados no decorrer do presente trabalho é a partir do gráfico conjunto entre os SRIs de 12, 18 e 24 meses, que mostra os períodos mais rápidos, porém mais severos de secas para escalas temporais menores, bem como períodos mais longos, ao passo que menos severos, de eventos de seca para maiores escalas de tempo.

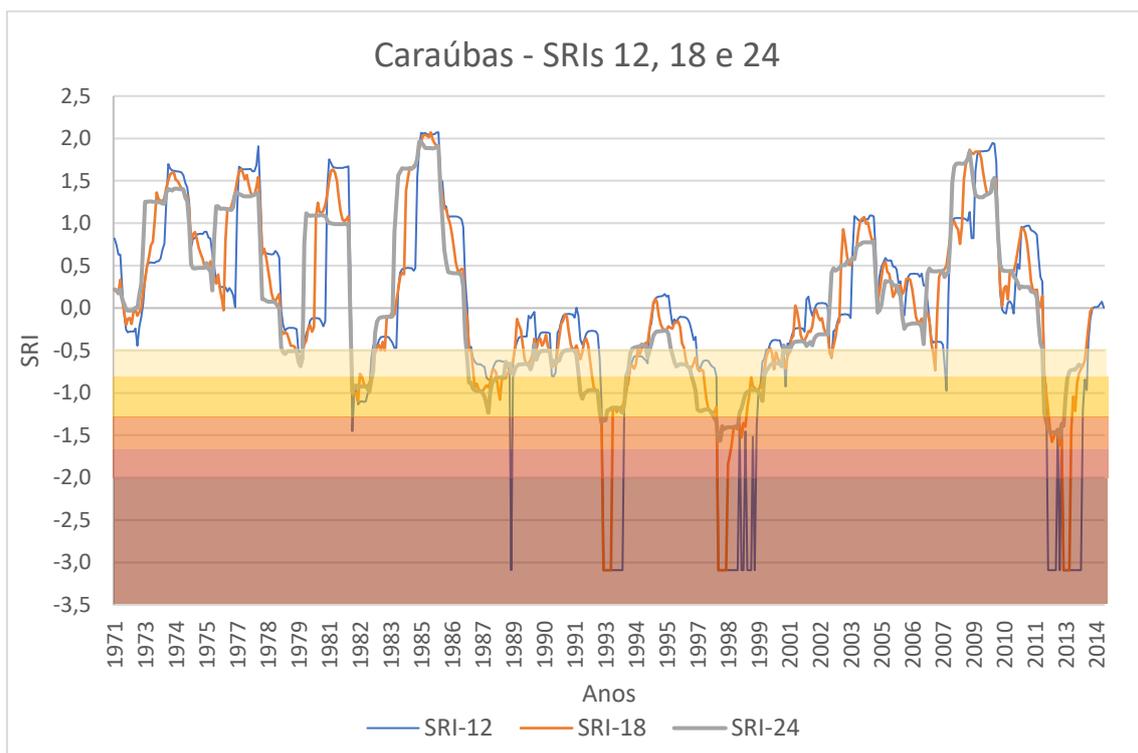


Figura 11 - Gráfico simultâneo entre os SRIs de 12, 18 e 24 meses. Fonte: autor.

Com efeito, apesar da abordagem local atrelada ao SRI, é conhecido que a geração de escoamento nos rios está de uma maneira bem relacionada com inúmeras variáveis que influem na constituição da vazão, que vão desde o ponto mais distante da bacia ao exutório desta. Logo, os períodos de secas observados mediante o SRI vêm em consonância com as atividades

hidrológicas ao longo da bacia hidrográfica, e, desse modo, podem apresentar um ponto de início da seca levemente posterior aquele que foi indicado pelo SPI.

Além disso, a resposta do SPI pode apresentar uma severidade menos expressiva do que aquela que provavelmente será encontrada no SRI, devido as atividades hidrológicas, geológicas e climatológicas que venham a intervir na geração de escoamento superficial. É desse modo que o SRI se constitui como um complemento útil às constatações advindas dos resultados do SPI, pois auxilia na interpretação dos resultados para verificar suas semelhanças ou disparidades. Este ponto será melhor analisado mais adiante na análise do volume do reservatório.

5.3 Volume do Reservatório

O reservatório que está fortemente relacionado com as bacias do Rio Taperoá e do Alto Curso do Rio Paraíba é o Açude Epitácio Pessoa, uma vez que tais bacias se constituem como seus principais afluentes. Junto à AESA, pode-se obter gráficos que põe em função da escala temporal a variação do volume do reservatório em questão. Com vista na validação dos resultados obtidos, estes foram comparados com os gráficos em que se evidenciaram os principais períodos de seca em comum entre os dois postos fluviométricos utilizados nesse estudo, que foi entre os anos de 1993 e 2003 como também entre 2012 e 2014. Apesar de constar dados mais recentes, optou-se por restringir a análise do volume do reservatório para o mesmo período de tempo da série de dados utilizada no SRI.

Conforme observado na Figura 12, entre janeiro de 1993 e setembro de 1994 o reservatório teve sua capacidade diminuída de pouco mais de 80% para aproximadamente 36%, voltando a aumentar sua capacidade logo após. Entretanto, a partir de maio de 1995 a fevereiro de 1997, sua capacidade volta a cair, passando de mais de 90% para cerca de 40%. Nos meses seguintes conseguiu recuperar 20% de sua capacidade, mas foi a partir de junho desse mesmo ano que aquela volta a reduzir gradativamente até chegar em cerca de 15% de sua capacidade em novembro de 1999. Assim, tais observações corroboram com os resultados indicados pelo SRI na seca que acometeu a região na segunda metade da década de 1990.

Entre janeiro do ano de 2012 e dezembro de 2014, na Figura 13 fica perceptível que o reservatório teve sua capacidade indo de aproximadamente 90% para pouco mais de 20%, representando uma variação de quase 70% do volume do reservatório. Logo, é evidenciada a forte seca estabelecida no período, bem como foi apontado pelo SRI de ambos os postos

avaliados. Tal seca é a mesma que se estendeu ao logo dos anos subsequentes e quase levou a cidade de Campina Grande e outras circunvizinhas também abastecidas pelo mesmo manancial ao premente colapso hídrico.

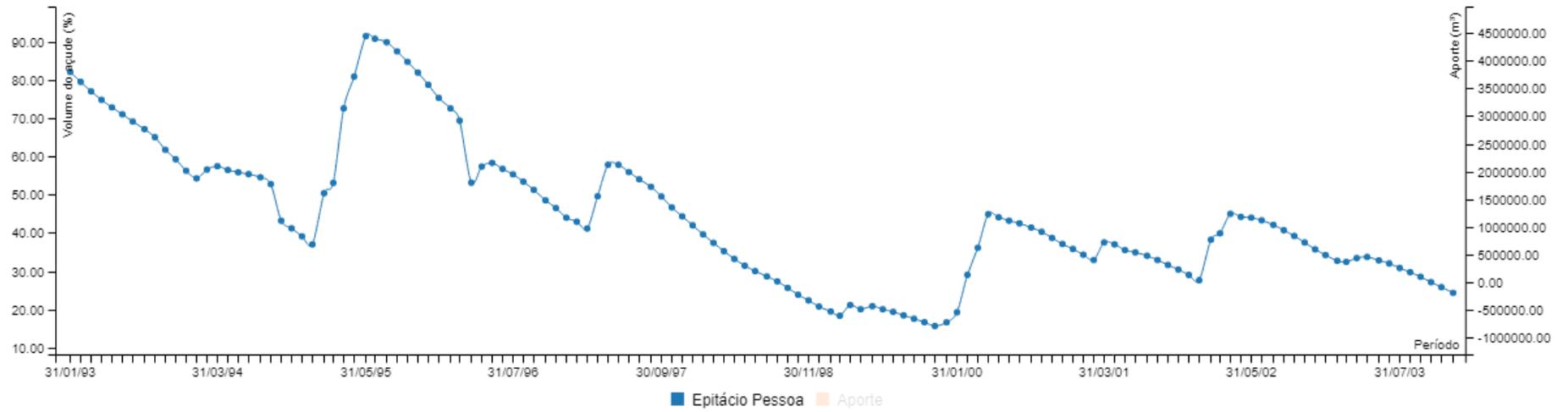


Figura 12 - Volume do Açúcar Eptácio Pessoa entre os anos 1993 e 2003. Fonte: AESA (2018).

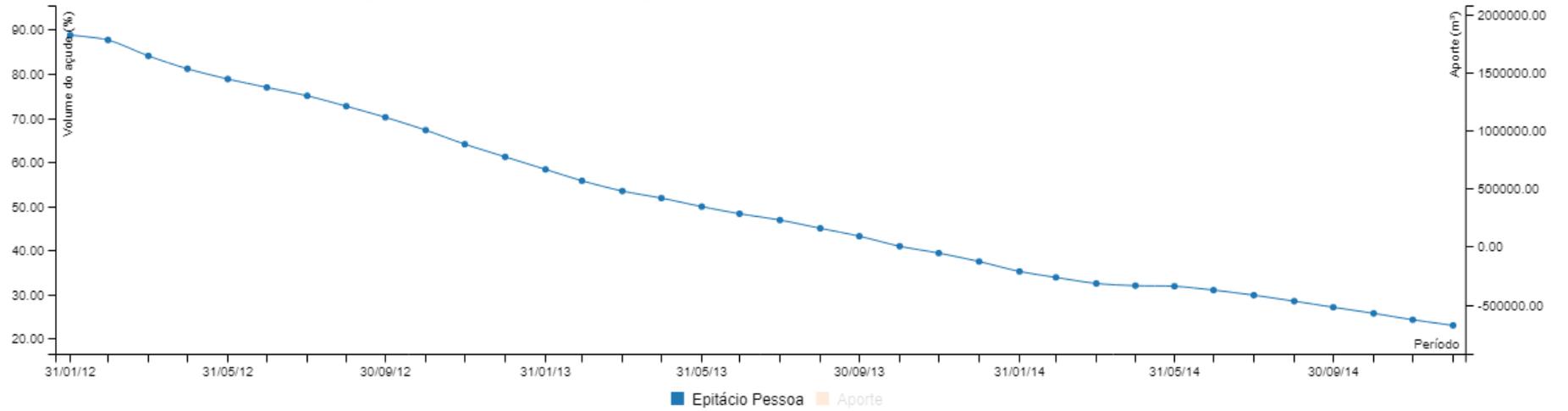


Figura 13 - Volume do Açúcar Eptácio Pessoa entre os anos 2012 e 2014. Fonte: AESA (2018).

Ademais, para a visualização numa maior escala de tempo e de maneira a compatibilizar o período da série histórica de vazões com o do gráfico da variação do volume do Açude Epitácio Pessoa em função do tempo, é posto o gráfico com a variação do ano de 1972 a 2014 (Figura 14). Nesse sentido, foram ressaltados os intervalos temporais nos quais a capacidade do volume do reservatório foi reduzida a menos de 50%. Para tanto, chegou-se aos períodos entre os anos de 1978-1981, 1981-1984, 1992-1994, 1995-1999 e 2011-2014. Além disso, é percebido também que o comportamento da capacidade do reservatório que se estabeleceu aproximadamente entre os anos de 1995 e 2003, volta a se repetir a partir do ano de 2012, quando se iniciou a severa seca ainda em curso.

Desse modo, tornam-se compatíveis com os períodos de seca indicados pelos SRI em sua quase totalidade. Outro aspecto válido a ser levantado, são os resultados encontrados pelo SPI e pelo SRI para as bacias do Alto Curso do Rio Paraíba, cujos os quais apresentaram maior severidade nos resultados do SRI, estando eles de acordo com os mapas de categorização de secas feitos pelo Monitor de Secas do Nordeste.

Uma possível causa dessa incoerência seria o fato de que a geração de escoamento não depende apenas da precipitação, mas também de parâmetros como evapotranspiração, umidade antecedente do solo, profundidade deste, seu tipo etc. Portanto, apesar de ter havido precipitação, não há certeza de que houve escoamento – caracterizando ainda assim um período de seca.

Logo, a utilização apenas da precipitação, como é o caso do SPI, pode ter suavizado as categorias de seca, enquanto o SRI se mostrou mais representativo nesse sentido para este caso. O que leva a esse entendimento é em razão das categorias de seca apresentadas pelo Monitor de Secas do Nordeste serem excepcionais para esse período, uma vez que este leva em consideração vários outros parâmetros, sendo, assim, mais representativo.

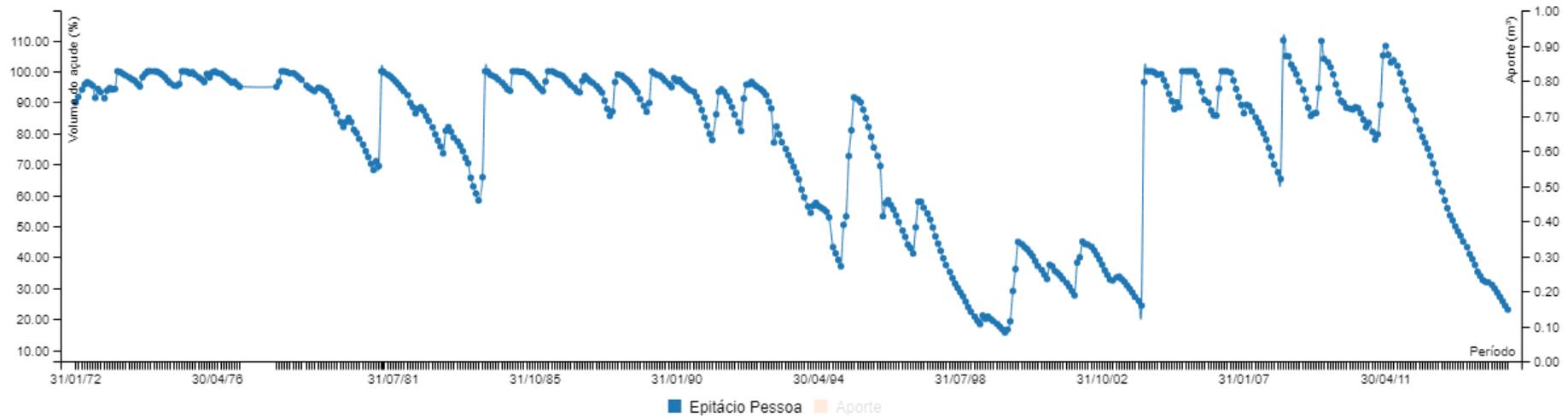


Figura 14 - Volume do Açude Epitácio Pessoa entre os anos 1972 e 2014. Fonte: AESA (2018).

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos para a aplicação do SPI nas duas bacias, no geral, apresentaram secas mais severas e curtas para menores escalas temporais e secas com menor severidade, mas mais prolongadas à medida em que se aumentava a escala de tempo do SPI.

Outro aspecto importante que é apontado foi o fato de que para a bacia do Rio Taperoá as secas se mostraram com maior gravidade que aquelas da bacia do Alto Curso do Rio Paraíba. Uma possível causa dessa ocorrência pode estar atrelada ao menor período de avaliação de dados para o Rio Taperoá, haja vista a menor quantidade de dados disponíveis desta (1994-2016) com relação ao intervalo de dados encontrados para o Rio Alto Paraíba (1963-2016).

Com efeito, essa redução entre os períodos de tempo avaliados pode ter tendenciado o SPI a emitir valores que indicam secas mais severas para a bacia do Rio Taperoá, do que os apontados para o Rio Alto Paraíba, por possuir menores parâmetros de períodos úmidos e secos dentro da sua série histórica de dados. Os principais períodos em que ocorreu o fenômeno da seca para as bacias foram entre os anos de 1998-2000 e 2012-2014, com secas variando de fraca a grave na bacia do Rio Alto Paraíba e de fraca a excepcional na bacia do Rio Taperoá.

A análise do SRI possuiu uma abordagem local por avaliar apenas um ponto de cada bacia hidrográfica. Nela, o período avaliado foi de 1971 a 2014. Como resultado, a bacia do Rio Taperoá, apesar de apresentar maior quantidade de períodos de seca, foi predominante apenas as categorias fraca e moderada de secas para as três escalas temporais do SRI, com as mesmas observações feitas para o SPI, chegando a um período de 85 meses seguidos de seca para o SRI-24 tida em média como moderada. Com relação a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba, as categorias de seca constatadas variaram de fraca a excepcional, com até 60 meses seguidos de seca para o SRI-24 tida em média como moderada.

Vale ressaltar ainda que para o SRI-12, ocorreram 23 e 36 meses seguidos de seca, tidas em média como excepcional e extrema, com 16 e 18 meses de seca excepcional, respectivamente, ratificando a presença de secas mais severas e curtas em escalas menores de tempo também para o SRI.

Com as análises das respostas do SPI e do SRI, foi avaliada a variação do volume do açude Epitácio Pessoa, dando destaque para a década de 1990, na qual ocorreram secas contundentes, e para o período mais recente que se instalou uma grave seca na região da bacia do Rio Taperoá e do Alto Curso do Rio Paraíba, apontadas aqui entre os anos de 2012 e 2014.

O volume do reservatório nos períodos indicados chegou a variar 44%, 50% e até 70% da sua capacidade de volume hídrico, representando uma enorme perda do recurso natural e, conseqüentemente, acarretando na aplicação de medidas drásticas, como o racionamento ocorrido no ano de 2015 na cidade de Campina Grande, onde a população tinha apenas dois dias da semana com água disponível nos sistemas domésticos.

Portanto, cabe ainda traçar apontamentos importantes sobre a relevância do presente trabalho e indicar possíveis pontos que venham a melhorar estudos posteriores que englobem a mesma temática. Pode-se destacar a importância dos registros históricos dos eventos de seca, o monitoramento e caracterização desses fenômenos, a obtenção de dados mais consistentes e séries mais longas são impreteríveis, bem como o entendimento da geologia local e, sobretudo, partir dos órgãos gestores ações mais eficazes na mitigação dos impactos da seca que realmente sejam postas em prática.

Indica-se também a utilização de indicadores mais precisos para a avaliação do volume do reservatório, que sejam práticos e deem resultados facilmente visíveis para o gestor. Além disso, com base nos resultados apresentados para a bacia do Alto Curso do Rio Paraíba para o SPI e o SRI, é recomendado que se utilizem indicadores que incluam outros parâmetros, como a evapotranspiração, a umidade do solo, a profundidade da camada de solo, dentre outros, e não somente a precipitação.

Isso pode ter feito com que o SPI suavizasse a severidade das secas naquela região, ao passo que o SRI apresentou períodos de seca com categorias mais severas – o que foi constatado observando-se, por exemplo, os mapas de seca construídos pelo Monitor de Secas, cujo os quais apontaram categorias de seca bastante semelhantes com aquelas indicadas pelo SRI. Além disso, é necessário que se tenha cautela com a presença de reservatórios a montante dos postos fluviométricos, uma vez que esses podem influenciar na série de dados de vazão e, conseqüentemente, nas respostas do SRI.

Por conseguinte, que seja quebrada a inércia governamental de se tomar tais medidas frente às frequentes ocorrências do fenômeno da seca acompanhadas da manutenção de ações pouco eficazes na resolução do problema.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, L. E. **Análise Estatística de Chuvas Intensas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba**. 2006. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- BRASIL. **Agência Nacional de Águas (ANA)**. Monitor de Secas do Nordeste do Brasil. Disponível em: < <http://monitordesecas.ana.gov.br/> >
- BRASIL. **Agência Nacional de Águas (ANA)**. Portal Hidroweb. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/> >
- BRASIL. **Resoluçã ANA/AESA nº 1494**, de 18 de dezembro de 2015. Regulariza a ação de carros-pipa na captação de mananciais no Estado da Paraíba para fins de uso humano urbano e rural e dessedentação de animais. 2015.
- BRASIL. **Resolução ANA/AESA nº 960**, de 17 de agosto de 2015. Estabelece condições de uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos no reservatório Epitácio Pessoa (Boqueirão) e na sua bacia hidráulica e procedimentos pertinentes. 2015.
- CAMPOS, J. N. B. **Vulnerabilidades Hidrológicas do semiárido às secas**. Planejamento e Políticas Públicas (PPP), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), n. 16, dez. 1997. 261-298 p.
- CAMPOS, J. N. B.; LIMA, H. V. C. **Gerenciamento de Secas no Nordeste do Brasil: Conceitos e Práticas**. X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Gramado – RS, 1993.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Secas no Brasil: política e gestão proativas** – Brasília. Banco Mundial, 2016.
- FARIAS, A. A.; SOUSA, F. A. S; MORAES, J. M.; ALVES, A. S. **Secas e seus Impactos no Município de Boqueirão, PB, Brasil**. Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science, Universidade de Taubaté. 2017, vol 12, n. 2, 316-330 p.
- FECHINE, J. A. L. **Identificação de Secas Meteorológicas na Região Metropolitana de Fortaleza, Usando o Índice de Precipitação Padronizada (SPI)**. Boletim de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2015, v. 33, n. 2, 18-33 p.
- HARGREAVES, G. H. **Disponibilidade e Deficiências de Umidades para a produção agrícola no Ceará**. Utah State University, 1973.

- HERBST, P. H.; BREDENKAMP, D. B.; BARKER, H. M. G. **A Technique for the avaluation of Drought from Rainfall Data**. Journal of Hydrology, Vol.4; p.264 – 272, 1966.
- MCKEE, T. B.; DOESKAN, N. J.; KLEIST, J. **The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales**. Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade do Estado do Colorado. Oitava Conferência de Climatologia Aplicada, 17-22, Anaheim, California, 1993.
- MEDEIROS, R. M.; MEDEIROS, B. C. **Aspectos do Clima para o Município de Cabaceiras**. I CONIDIS – I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 2016.
- MOLINAS, P. A.; ANDRADE, F. C. **Modelo de Umidade do Solo para fins Agrícolas**. X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Gramado – RS, 1993.
- NDMC. **National Drought Mitigation Center**. University of Nebraska. Disponível em: < <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx> >
- OLIVEIRA, F. F. D.; SOUSA, G. M.; SANTOS V. S.; FIGUEIREDO, C. F. V.; ARAÚJO, B. J. B. L. **Avaliação Socioeconômica dos Impactos da Seca 2012-2016 no Perímetro Irrigado de São Gonçalo – PB**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental, 2017, v.11, n.1, 168-173 p.
- PARAÍBA (Estado). **Agência Executiva de Gestão de Águas no Estado da Paraíba (AES)**. PARAÍBA (Estado). **Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais (SEMARH)**. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Relatório Final de Diagnóstico, Tomo I, 2001.
- RÊGO, J. C. *et al.* **A Crise do Abastecimento de Campina Grande: Atuações dos Gestores, Usuários, Poder Público, Imprensa e População**. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília – DF. 2015.
- RIBEIRO, M. S. M. **Desastres naturais: uma análise dos decretos de estiagem e seca no estado do Rio Grande do Norte**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Climáticas) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- ROSA, R. G. T. D. **Índices de Seca. Aplicação ao Continente Português**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- SANTOS, J. F.; PORTELA, M. M.; PULIDO-CALVO, I. **Previsão de Secas na Primavera em Portugal Continental com Base em Indicadores Climáticos de Larga Escala**. International Water Association (IWA Publishing), Editorial UPV, FFIA, 2015, 211-228 p.
- SHUKLA, S; WOOD, A. W. **Use of a Standardized Runoff Index for Characterizing Hydrologic Drought**. Geophysical Research Letters, vol. 35, L02405, 2008.

TOUMA, D.; ASHFAQ, M.; NAYAK, M. A.; KAO, S.; DIFFENBAUGH, N. S. **A multi-model and multi-index evaluation of drought characteristics in the 21st century**. Journal of Hydrology: Elsevier, 2014, 196-207 p.

TUCCI, C. E. M. **Análise de Sensibilidade dos Parâmetros do Algoritmo de Infiltração**. III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília – DF, 1979.

ZARCH, M. A. A.; SIVAKUMAR, B.; SHARMA, A. **Droughts in a warming climate: A global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI)**. Journal of Hydrology: Elsevier, 2014, 183-195 p.