



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

ROSENAI PEDRO LEITE DE ANDRADE

ANÁLISE DAS SECAS NA BACIA DO RIO DO PEIXE ATRAVÉS DE
ÍNDICE RELACIONADO À VAZÃO – SRI

JOÃO PESSOA - PB
NOVEMBRO – 2016

ROSENAI PEDRO LEITE DE ANDRADE

**ANÁLISE DAS SECAS NA BACIA DO RIO DO PEIXE ATRAVÉS DE
ÍNDICE RELACIONADO À VAZÃO – SRI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura referente ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba como requisito necessário para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Ana Cláudia Fernandes Medeiros
Braga

**JOÃO PESSOA – PB
NOVEMBRO – 2016**

ROSENAI PEDRO LEITE DE ANDRADE

ANÁLISE DAS SECAS NA BACIA DO RIO DO PEIXE ATRAVÉS DE ÍNDICE RELACIONADO À VAZÃO – SRI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura referente ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba como requisito necessário para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovado em ____ de _____ de _____

Orientadora: Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Gustavo Barbosa Lima da Silva
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Prof. Dr.^a. Karine Christiane de Oliveira Souza
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

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

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela minha saúde e pela benção da minha vida.

À minha orientadora, professora Dr^a. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga, pelas dicas e opiniões valiosas dadas durante o estudo e elaboração deste trabalho.

À minha família, Consueila, Rosenai, Raissa e Rafaela, sempre presentes, apoiando e incentivando em cada situação da minha vida, incluindo o desenvolvimento desse trabalho de conclusão de curso.

Aos amigos que ganhei ao longo da graduação, Amanda, Thamires, Ernani, Nathália, Alice, Roberta, Lígia, Sérgio, Bia, Camila, que dividiram comigo várias preocupações, alegrias e conhecimentos durante o curso, além do apoio nos momentos mais difíceis.

Ao amigo de infância e companheiro de graduação, Germano, que além de toda a amizade, contribuiu com dicas e conselhos importantes para a realização desse trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

A seca é um desastre natural cujo processo se dá de forma lenta e causa impactos socioeconômicos, agrícolas e ambientais. Por ter seu início e fim de difícil determinação, foram criados diversos índices que permitem que sejam feita uma avaliação da sua gravidade em diversos períodos de tempo. Um desses índices é o Índice Padronizado de Escoamento, SRI. Esse é um índice utilizado para secas hidrológicas, que apresentam um período de tempo maior para que as deficiências na precipitação cheguem a exercer influência sobre os componentes hidrológicos. Através de séries históricas de precipitação e vazão e do índice padronizado de escoamento, foram feitas nesse trabalho, análises do comportamento das secas na bacia do Rio do Peixe a partir do ano de 1962. Através dessas análises, puderam-se observar secas de diferentes durações e intensidades ao longo da série histórica, período de apenas 1 mês classificado como seca, como também, períodos de até 12 anos, variando de secas ligeiras até secas extremas. Foi feita também uma validação do SRI através de informações sobre as secas que de fato ocorreram na Paraíba no período de 1991 a 2010.

Palavras-chave: Seca, índices de seca, Bacia Rio do Peixe, Paraíba, SRI.

ABSTRACT

Drought is a natural disaster whose process happens slowly and causes socioeconomic, agricultural and environmental impacts. Its beginning and ending are difficult to determine, so, several indexes have been created that allow an assessment of their severity in different periods of time. One of those indexes is the Standardized Runoff Index, SRI. This is an index used for hydrological droughts, which present a longer period of time for precipitation deficiencies to exert influence on the hydrological components. Through historical series of precipitation and flow and the Standardized Runoff Index, was done in this work, analysis of the behavior of droughts in Bacia Rio do Peixe since 1962. Through those analyzes, droughts of different durations and intensities could be observed throughout the historical series, a period of only 1 month classified as dry, as also, periods up to 12 years, ranging from light droughts to extreme droughts. Was done as well, a validation of SRI through information on droughts which actually occurred in Paraíba from 1991 to 2010.

Key-words: Drought, Drought indexes, Rio do Peixe basin, Paraíba, SRI.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ANA	Agência Nacional de Águas
CAP	Classificação Anômala da Precipitação
CE	Ceará
CMI	Índice de Umidade de Colheita
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
IA	Índice de Aridez
IAC	Índice de Anomalia de Chuva
IBM	Índice de Bhalme & Mooley
MME	Ministério de Minas e Energia
NE	Nordeste
PB	Paraíba
PDSI	Índice de Severidade de Seca de Palmer
PE	Pernambuco
RDI	Índice de Reparação de Seca
RN	Rio Grande do Norte
SCS	Soil Conservation Service
SMAP	Soil Moisture Accounting Procedure
SPI	Índice Padronizado de Precipitação
SRI	Índice Padronizado de Escoamento
SWSI	Índice do Abastecimento de Água em Superfície

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos valores de SRI e volumes estocados.....	29
Tabela 2 – Valores de Precipitação média anual da bacia Rio do Peixe	33
Tabela 3 – Valores de Precipitação média mensal da bacia Rio do Peixe.....	33
Tabela 4 – Valores de Vazão média mensal no posto Antenor Navarro	36
Tabela 5 – Valores de Vazão média anual no posto Antenor Navarro.....	36
Tabela 6 – Relação das secas nos municípios presentes na Bacia do Rio do Peixe	56
Tabela 7 – Índices SRI na escala de 12 meses para o reservatório de Pilões (1991-2000)	59
Tabela 8 – Índices SRI na escala de 12 meses para o reservatório de Pilões (2001-2010)	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Monitor de Secas no Nordeste Brasileiro em Outubro de 2016	13
<i>Figura 2</i> – Esquema da sequência temporal dos diversos tipos de seca.....	18
<i>Figura 3</i> – Estado da Paraíba e localização da Bacia Rio do Peixe.....	24
Figura 4 – Interface do Prompt de Comando do Windows rodando o programa de cálculo do Índice SRI.....	32
Figura 5 – Precipitação média mensal da bacia Rio do Peixe	34
Figura 6 – Precipitação média anual da bacia Rio do Peixe	35
Figura 7 – Vazão média mensal no posto Antenor Navarro.....	37
Figura 8 – Vazão média anual do posto Antenor Navarro.....	38
Figura 9 – Sobreposição das curvas de Precipitação e Vazão média mensal	39
Figura 10 – Sobreposição das curvas de Precipitação e Vazão média anual	40
Figura 11 – SRI na escala de 6 meses para o reservatório de Pilões.....	42
Figura 12 – SRI na escala de 12 meses para o reservatório de Pilões.....	43
Figura 13 – SRI na escala de 24 meses para o reservatório de Pilões.....	45
Figura 14 – SRI na escala de 36 meses para o reservatório de Pilões.....	47
Figura 15 – Curvas dos índices SRI para as escalas 12, 24 e 36 meses do reservatório de Pilões.....	48
Figura 16 – SRI na escala de 6 meses para o reservatório de Lagoa do Arroz	49
Figura 17 – SRI na escala de 12 meses para o reservatório de Lagoa do Arroz	50
Figura 18 – SRI na escala de 24 meses para o reservatório de Lagoa do Arroz	52
Figura 19 – SRI na escala de 36 meses para o reservatório de Lagoa do Arroz	53
Figura 20 – Curvas dos índices SRI para as escalas de 12, 24 e 36 meses do reservatório de Lagoa do Arroz.....	55
Figura 21 – SRI na escala de 12 meses do reservatório de Pilões.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Definições de Seca	16
3.2	Tipos de Seca	16
3.3	Secas no Nordeste do Brasil.....	18
3.4	Índices de Seca.....	20
3.5	Índices baseados na vazão e no volume dos reservatórios	21
3.5.1	SWSI – Índice de Abastecimento de Água em Superfície	21
3.5.2	RDI – Índice de Reparação de Seca	23
3.5.3	SRI – Índice Padronizado de Escoamento	23
4	METODOLOGIA	24
4.1	Caracterização da área de estudo	24
4.2	Levantamento de dados.....	25
4.2.1	Dados de precipitação	25
4.2.2	Dados de vazão.....	26
4.3	SMAP	26
4.4	O índice SRI.....	28
4.5	Cálculo do SRI	29
4.6	Validação do SRI na escala anual	32
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	33
5.1	Análise dos dados de precipitação.....	33

5.2	Análise dos dados de vazão	36
5.3	Análise comparativa dos dados de precipitação e vazão.....	39
5.4	Análise dos resultados do SRI	41
5.4.1	Reservatório de Pilões.....	41
5.4.2	Reservatório de Lagoa do Arroz.....	48
5.5	Validação do SRI na escala anual	56
6	CONCLUSÃO.....	61
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1 INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno meteorológico com efeitos dramáticos a nível social, econômico e ambiental. É um dos desastres naturais que mais causa impactos econômicos. As secas são uma parte normal do clima, e podem ocorrer em quaisquer regimes climáticos em todo o mundo, mesmo desertos e florestas tropicais.

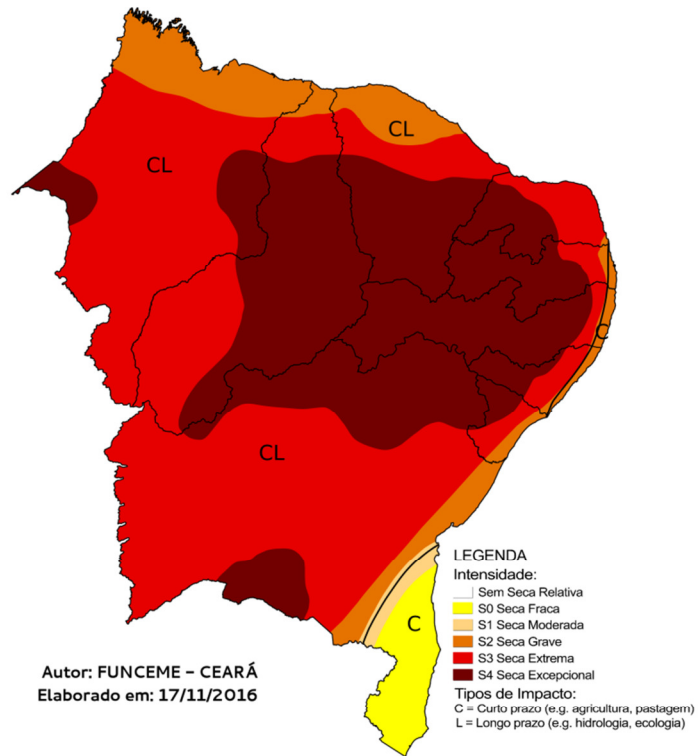
O grau de impacto das secas varia de acordo com as atividades econômicas, vulnerabilidade das pessoas e do meio ambiente do local atingido. Atividades diretamente ligadas ao clima, como agricultura e pecuária, são mais vulneráveis às secas e as populações mais pobres têm menos condições de enfrentar as consequências delas.

No Brasil, a região Nordeste é bastante afetada por esse fenômeno meteorológico, como mostra a Figura 1. Esse fenômeno atinge sua produção agrícola de subsistência, afetando milhões de pessoas que perdem seu sustento, e devido ao nível de pobreza das regiões mais afetadas, pode-se chegar ao nível de calamidade social.

O governo do Brasil, muitas vezes tentou combater os efeitos das secas incentivando e construindo grandes açudes, a perfuração de poços tubulares, a construção de cacimbas, e a criação das chamadas "frentes de trabalho". Estas atitudes têm sido paliativas, pois movimentam capitais, geram subempregos e evitam, de certa forma, a migração e o êxodo rural, porém não resolvem definitivamente o problema em si. Daí se dá a importância de um estudo mais aprofundado sobre o problema, se ter uma melhor precisão do real impacto das secas e quais as medidas mitigadoras são mais indicadas em cada caso.

Figura 1 – Monitor de Secas no Nordeste Brasileiro em Outubro de 2016

Monitor de Secas Outubro/2016



Fonte: <http://monitordesecas.ana.gov.br/> (2016)

Vários pesquisadores desenvolvem esses estudos através de índices que nos ajudam a compreender melhor o comportamento das secas. Segundo Fernandes (2009), esses índices são baseados em séries históricas de dados meteorológicos e análises estatísticas e através deles podem ser quantificadas as secas, determinando sua intensidade, duração e frequência. Esses índices são frequentemente usados para ajudar a monitorar as secas, e essas ferramentas variam dependendo da região e da estação.

O início lento das secas dá tempo para que sejam observadas as mudanças na precipitação, temperatura, estado geral das águas superficiais e o abastecimento de água subterrânea em uma região.

Muitos pesquisadores monitoram as secas através de índices relacionados a precipitação, em geral esses tipos de índice são mais utilizados pra secas agrícolas e os impactos maiores em recursos hídricos se dá quando as secas atingem os rios e reservatórios plurianuais.

O SRI, índice padronizado de escoamento (standardized runoff index), é um índice de seca hidrológica desenvolvido por Shukla e Wood em 2008. Esse índice se utiliza dos dados de vazões dos postos fluviométricos, sendo assim mais indicado para estudos de impactos em recursos hídricos que o SPI, índice padronizado de precipitação.

Nesse trabalho são analisadas as secas ocorridas desde 1963 na Bacia do Rio do Peixe, através de dados de vazões coletados no posto fluviométrico Antenor Navarro e vazões sintéticas afluentes do reservatório de Pilões e do reservatório de Lagoa do Arroz. Essa bacia está localizada na porção semiárida do Nordeste do Brasil, região muito impactada pelas secas. Foi realizado um trabalho anterior que estudou as chuvas dessa região através do índice SPI, no trabalho atual, estudaremos outro aspecto através do índice SRI.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

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

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as secas da região através da análise das séries históricas de chuva e de vazão.
- Avaliar e categorizar as secas da região através do Índice Padronizado de Escoamento (SRI), com base nas vazões sintéticas afluentes a dois reservatórios.
- Validar o índice SRI calculado através das ocorrências de estiagens registradas no Atlas de desastres naturais da Paraíba (UFSC, 2011).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Definições de Seca

Palmer (1965) considera a seca como o intervalo de tempo, geralmente da ordem de meses ou até mesmo anos, durante o qual a precipitação diminui “consideravelmente” em relação ao climatologicamente esperado ou apropriado.

A seca é um desastre natural que difere dos demais por seu processo se dar de forma lenta e ter seu início e fim de difícil determinação. Além disso, causa impactos significativos nas esferas socioeconômicas, agrícolas e ambiental. Por ser um processo lento, frequentemente a seca não atrai a atenção da comunidade, persistindo seu impacto mesmo depois do término do evento. As secas normalmente atingem uma vasta extensão espacial e temporal (MOLINA; LIMA, 1999).

Segundo Wilhite e Glantz (1987), a definição de seca depende do ponto de vista do utilizador. Em geral distingue-se entre seca meteorológica, seca agrícola, seca hidrológica e seca socioeconômica. Em comum, todos os tipos de seca são originados por um déficit de precipitação que resulta em uma baixa disponibilidade hídrica para a atividade que a requer.

3.2 Tipos de Seca

Existem diversas maneiras de se definir seca, dependendo principalmente da temática da abordagem. Essas abordagens podem ser relacionadas a precipitação, agricultura, hidrologia e a socioeconômica. Sendo assim, vários autores (WILHITE; GLANTZ, 1987; BYUN; WILHITE, 1999; MCKEE et al., 1993) definiram quatro tipos de secas: meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica.

- Seca Meteorológica - uma medida do desvio da precipitação em relação ao valor normal; caracteriza-se pela falta de água induzida pelo desequilíbrio entre a precipitação e a evaporação, a qual depende também de outros elementos como a

velocidade do vento, temperatura e humidade do ar, insolação. A definição de seca meteorológica deve ser considerada como dependente da região, uma vez que, as condições atmosféricas que resultam em deficiências de precipitação podem ser muito diferentes de região para região.

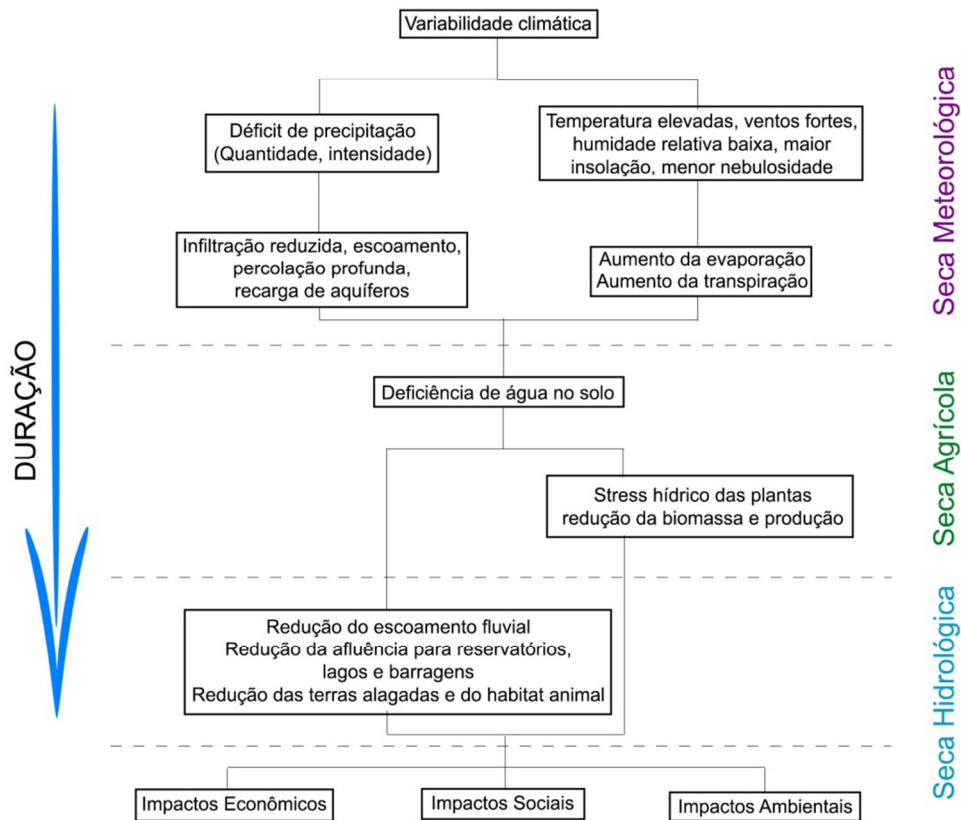
- Seca Agrícola - associada à falta de água causada pelo desequilíbrio entre a água disponível no solo, a necessidade das culturas e a transpiração das plantas. Este tipo de seca está relacionado com as características das culturas, da vegetação natural, ou seja, dos sistemas agrícolas em geral.
- Seca Hidrológica - relacionada com a redução dos níveis médios de água nos reservatórios e com a depleção de água no solo. Este tipo de seca está normalmente desfasado em relação a seca meteorológica e agrícola, dado que é necessário um período maior para que as deficiências na precipitação se manifestem nos diversos componentes do sistema hidrológico.
- Seca Socioeconômica - associada ao efeito conjunto dos impactos naturais e sociais que resultam da falta de água, devido ao desequilíbrio entre o fornecimento e a procura dos recursos de água e que vai afetar diretamente as populações.

A quantidade e distribuição anual da precipitação, assim como valores elevados da temperatura do ar, são condições que determinam a intensidade e consequências de uma seca. De forma a se conhecer o grau de severidade de uma seca, deve conhecer-se as condições climáticas. Neste contexto, para certa área, os dados meteorológicos mais importantes que se devem conhecer são a precipitação, a temperatura do ar, a humidade do ar e o conteúdo de água no solo. O monitoramento da seca é importante para que se conheça o fenómeno e para que se possa, assim, ser trabalhada a adaptação e mitigação dos efeitos dele.

A Figura 2 mostra um esquema dos diferentes tipos de secas em função de sua duração e seus possíveis impactos, tendo início com a seca meteorológica podendo evoluir até uma seca socioeconômica (representada pela camada de baixo do esquema por impactos económicos, sociais e ambientais). A dimensão e a

gravidade do problema são basicamente dependentes da extensão e da duração da seca meteorológica.

Figura 2 – Esquema da sequência temporal dos diversos tipos de seca



Fonte: Adaptado de www.drought.unl.edu (2002).

3.3 Secas no Nordeste do Brasil

Desde o início do período de colonização se tem registros de secas na Região do Nordeste, sendo os impactos causados por elas relativos às culturas dessas épocas de seca (mandioca, milho, cana-de-açúcar) e com o aumento da ocupação dos sertões, então, começam a surgir também maiores impactos sociais e econômicos.

O primeiro registro histórico data de 1583 e o mais recente é o da atual seca, quem vem ocorrendo desde 2012. Os primeiros registros de secas, pelo fato de não

existir tantos recursos tecnológicos antigamente, foram realizados em função dos impactos a elas associados, enquanto que as mais recentes são baseadas em observações meteorológicas.

Segundo Antunes (2014), as maiores secas já registradas na região do Nordeste são dos períodos apresentados a seguir: 1723-1727, 1776-1778, 1877-1879, 1888-1889, 1919-1921, 1934-1936, 1963-1964, 1979-1985, 1997-1999, 2001, 2007-2008 e a atual, de 2012-2016 (período atualizado para o ano atual).

Os períodos de secas registrados têm durações variadas, causando também, impactos diferenciados. Uma das secas de grandes impactos, por exemplo, foi a que ocorreu no período de 1877-1879, (MARTINS, 2015). Esta seca durou dois anos apenas, mas teve como agravante a falta de preparo da sociedade. Esta seca ocorreu após 32 anos de bons invernos, que tornou as populações vulneráveis, pois não estavam preparadas, não houve investimento em infraestrutura de açudagem e de estradas, além da falta de conhecimento adequado da geografia física e da variabilidade do clima regional. Foi a partir dessa seca que se começou a pensar em estudos e obras mitigadoras dos efeitos das secas recorrentes na região, foi criada então, uma comissão para percorrer os sertões do Ceará com objetivo de identificar meios práticos de suprimento hídrico durante as estiagens. Essa iniciativa mudou a forma com que o governo enxergava a necessidade de políticas públicas voltadas às secas.

De acordo com Martins (2015), no fim da década de 1950, a região Nordeste já possuía uma infraestrutura hidráulica, de transportes e de suprimento elétrico razoável, mas, apesar disso, não se mostrou suficiente diante da seca de 1958, umas das mais intensas da história da região. Devido aos impactos dessa seca, foi criado então a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), que passou a elaborar planos e programas regionais de desenvolvimento. A partir de 1988, a Constituição coloca os estados em um patamar de maior importância institucional e na formulação de políticas de mitigação às secas, entretanto, fatores como a fragilidade institucional, a dependência de recursos oriundos de programas federais e a falta de maior coordenação das diferentes esferas na gestão das secas, limitam a atuação mais efetiva dos estados. A partir da década de 1990 então, debates com temas ligados à variabilidade e a mudanças climáticas, desertificação e

gestão racional das águas viraram recorrentes até hoje. No ano de 2012, a natureza e a severidade da seca em vários locais do planeta trouxeram de volta a necessidade da construção de um novo paradigma para políticas nacionais de secas.

3.4 Índices de Seca

Os impactos causados pelas secas e a necessidade de criação de medidas mitigadoras desses impactos, exigem dos órgãos responsáveis um conhecimento mais aprofundado sobre as mesmas. Os conhecimentos do grau de severidade, intensidade, duração e extensão espacial de uma seca permitem um planejamento e gerenciamento mais adequado dos recursos hídricos. Para isso, a utilização de índices de seca são importantes pois permitem uma comparação mais uniforme e padrão frente a grande quantidade de tipos de seca e seus impactos.

Os índices de seca envolvem a avaliação de uma série histórica de variáveis hidrometeorológicas como: precipitação, temperatura do ar, evapotranspiração, escoamento superficial, umidade do solo, entre outras, e assim as combinam a fim de identificar o início de um período de seca. Nenhum índice é perfeito para todas as situações (FERNANDES et al, 2009).

A lista de índices de seca se estende muito além desses dois, existem vários outros, tais como: índice de Bhalme & Mooley - IBM (Bhalme & Mooley, 1980); índice de Anomalia de Chuva - IAC (Rooy, 1965); Classificação Anômala da Precipitação - CAP (Janowiak et al., 1984); etc. Os índices IBM e CAP assumem que a precipitação é o fator mais importante na classificação do tempo. Já o PDSI inclui na sua determinação, as taxas de umidade no solo e na planta, medindo, portanto, o grau de severidade da seca e tem sido amplamente utilizado, principalmente nos Estados Unidos da América.

Como podemos observar, existem diferentes índices para diferentes situações e aplicações, podemos então classificá-los de acordo com o tipo de seca a qual eles se aplicam.

Índices associados a variáveis climáticas como precipitação, temperatura e evaporação são classificados como índices de secas meteorológicas. Desses índices, temos como exemplo: índice de severidade de seca de Palmer (PDSI), índice padronizado de precipitação (SPI), índice de anormalidades discretas e acumuladas de precipitação, etc.

Índices que utilizam nos seus cálculos variáveis relacionadas ao sistema de água, como por exemplo, níveis de água subterrânea, vazões, armazenamento de reservatórios, umidade de solo e acúmulo de neve são classificados como índices de secas hidrológicas. Desses índices, temos como exemplo: índice padronizado de escoamento (SRI), índice de reparação de seca (RDI) índice de déficit total de água e índice do abastecimento de água em superfície (SWSI).

Índices que consideram nos seus cálculos fatores relacionados a cultivos e propriedades do solo, como umidade, temperatura e evapotranspiração são classificados como índices de secas agrícolas. Desses índices, temos como exemplo: índice de anormalidade da umidade de Palmer (índice Z), índice de umidade de colheita (CMI), balanço hídrico, índice de aridez (IA) e índice de anormalidade de umidade.

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

3.5 Índices baseados na vazão e no volume dos reservatórios

3.5.1 SWSI – Índice de Abastecimento de Água em Superfície

O SWSI, Índice de Abastecimento de Água na Superfície (Surface Water Supply Index), foi desenvolvido por Shafer e Dezman (1982). Este índice foi formulado para uso em áreas montanhosas onde a neve tem um papel significativo.

Segundo Fernandes et al (2009), o objetivo do índice SWSI é incorporar características hidrológicas e climatológicas em um único valor de índice, assemelhando-se ao índice de Palmer. Os valores do índice podem ser normalizados para permitir comparações entre bacias. São necessários quatro valores de entrada de dados dentro do SWSI: bloco de neve, fluxo em superfície, precipitação e armazenamento de reservatório. Devido ao fato desse índice ser dependente da estação do ano, no inverno o SWSI é calculado somente com dados de neve, precipitação e armazenamento do reservatório. Durante os meses de verão, o fluxo de superfície substitui o bloco de neve como um componente dentro da equação do SWSI. Para determinar o SWSI para uma bacia em particular, dados mensais são coletados e somados para todas as estações de precipitação, reservatórios e fluxo em superfície/bloco de neve em estações de medição sobre a bacia. Cada componente é normalizado usando uma análise de frequência acumulada de uma série de dados históricos. A probabilidade de não excesso (a probabilidade que somas subsequentes da qual a componente não excederá a soma corrente) é determinada para cada componente com base na análise de frequência. Isso permite que comparações das probabilidades sejam feitas entre as componentes. Cada componente em um peso é atribuído a ele, dependendo de sua contribuição típica para a água em superfície dentro dessa bacia. Esses componentes pesados são somados para determinar um valor de SWSI representando a bacia inteira.

Esse índice dá uma medida representativa da disponibilidade de água através de uma bacia de rio ou de uma região selecionada. Entretanto, é improvável que possa ser usado com sucesso para grandes regiões com significativa variabilidade hidrológica espacial. Os pesos podem diferir substancialmente de uma região para outra (DOESKEN et al., 1991). Se as medidas em qualquer estação de coleta de dados forem interrompidas, ou as observações em uma ou mais componentes também forem interrompidas, uma nova distribuição de frequência precisará ser calculada. Similarmente, novas represas ou desvios na bacia requererão modificações dos pesos para cada componente do balanço hídrico. Eventos extremos podem causar um problema se eles não tiverem sido registrados previamente, assim uma distribuição de frequência de uma componente relevante precisa ser revisada.

3.5.2 RDI – Índice de Reparação de Seca

Assim como o SWSI, o RDI, Índice de Reparação de Seca (Reclamation Drought Index), é calculado no nível da bacia de rio, incorporando a temperatura bem como a precipitação, neve, fluxo em superfície e níveis de reservatório como dados de entrada (WEGHORST, 1996). Incluindo a componente temperatura, o RDI também considera a evaporação. É usado pelo Departamento de Reparação dos Estados Unidos como um disparador para liberar fundos de socorro de emergência de seca.

O RDI foi desenvolvido como uma ferramenta para definir a duração e a severidade da seca, e para prever o início e o fim do período da seca. Difere do SWSI, no qual se constrói uma componente de temperatura base e duração dentro do índice. A característica principal do RDI é sua habilidade para esclarecer fatores climáticos e de fornecimento de água.

A desvantagem do RDI é que devido ao fato do índice ser único para cada bacia, as comparações entre bacias são limitadas.

3.5.3 SRI – Índice Padronizado de Escoamento

O SRI, índice padronizado de escoamento (Standardized Runoff Index), é um indicador hidrológico simples, foi desenvolvido por Shukla e Wood em 2008 e apresenta uma metodologia de cálculo igual ao índice de precipitação padronizada (SPI), alterando-se apenas a escala temporal.

O SRI é considerado um complemento do SPI para retratar os aspectos hidrológicos da seca, pois, ele incorpora processos que determinam defasagens sazonais na influência do clima na vazão (SHUKLA e WOOD, 2008).

Segundo P.R. Martins (2015), esse índice faz uso das características da distribuição temporal da precipitação diária que estão relacionadas com o escoamento superficial. Com ele se evita o uso dos dados diretos de vazão e nível devido a problemas como influência de reservatórios, inconsistências nas séries, ausência ou problemas na informação de liberações dos reservatórios na maioria dos estados.

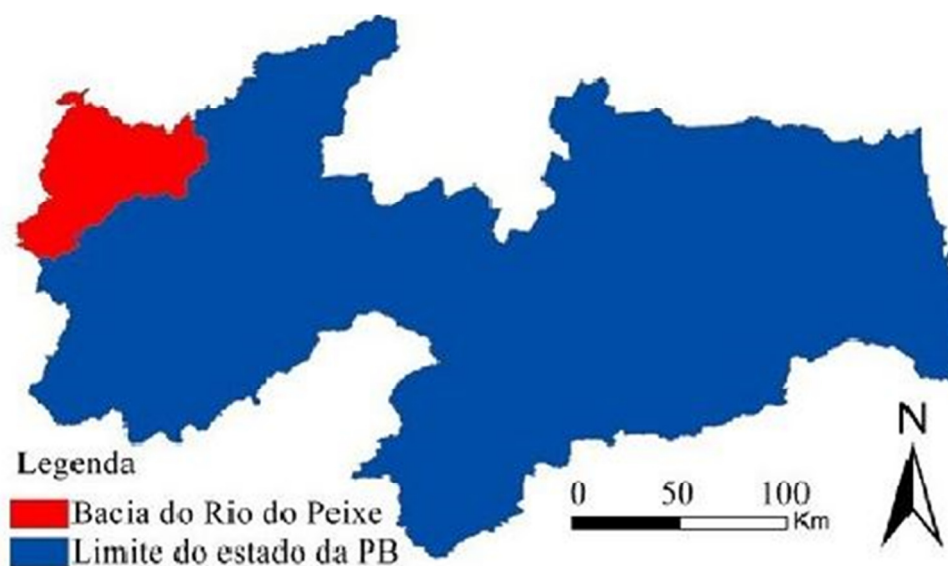
4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da área de estudo

A bacia Rio do Peixe situa-se no Estado da Paraíba. Apresenta como drenagens principais o Rio do Peixe. Ela ocupa uma área de 3420,84 Km² e se divide em 3 sub-bacias, são elas: Brejo das Freiras ou Triunfo, Sousa e Pombal.

A bacia Rio do Peixe comporta a sede de 17 municípios, dentre os quais os mais representativos, em termos populacionais, são: Sousa, com 28,74% da população total da sub-bacia; seguido de Cajazeiras, com 25,6% da sub-bacia; e de São João do Rio do Peixe, com 8,14% da população da sub-bacia. Os outros municípios são: Aparecida, Bernadino Batista, Bom Jesus, Cachoeira dos Índios, Lastro, Poço Dantas, Poço de José de Moura, Pombal, Santa Helena, Santarém, São Francisco, Triunfo, Uiraúna, e Vieirópolis.

Figura 3 – Estado da Paraíba e localização da Bacia Rio do Peixe



Fonte: disponível em < <http://www.scielo.br/img/revistas/rbeaa/v16n5/n05a10f01.jpg> > (2016)

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

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

A área da bacia do Rio do Peixe tem uma vegetação tipicamente de caatinga arbóreo arbustiva, densa, caracterizada por possuírem vegetais de aspectos raquíticos lenhosos, composta de arbustos e subarbustos espinhosos, que bem se adaptam ao clima semiárido típico da região. Dentre as espécies mais frequentes ocorrem: aroeira, catingueira, facheiro, jurema, mofumbo, pinhão-bravo, xique-xique e imburana. Na área correspondente aos leitos e margens dos cursos de água da região é comum a ocorrência de freatófitas, distinguindo-se a carnaubeira e a Oiticica (Ministério de Minas e Energia, 2005).

Essa bacia contém importantes sítios paleontológicos, apresentando pegadas de dinossauros e jazigos fossilíferos de peixes e moluscos na Formação Sousa. Apresenta áreas produtoras e com indicações favoráveis de petróleo e gás. Apresenta também condições técnico-econômicas adequadas para empresas de pequeno e médio porte (T.G. Galvão, 2008).

4.2 Levantamento de dados

4.2.1 Dados de precipitação

São utilizados dados de precipitação de seis postos pluviométricos distribuídos dentro da bacia hidrográfica, são eles: Arapuá, Nazarezinho, Sousa, Lagoa, Luís Gomes e Alexandria. Esses dados de séries históricas foram retirados

da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), da AESA/PB e da EMPARN/RN, entre Janeiro/1962 e Dezembro/2015.

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

4.2.2 Dados de vazão

São utilizados dados de vazão da estação fluviométrica Antenor Navarro. A série histórica aqui utilizada foi retirada da Agência Nacional de Águas (ANA), entre Novembro/1963 e Maio/2016.

A partir dos valores das vazões médias de cada mês (ao longo do período da série histórica) retirados da ANA, foi calculada a vazão média referente a cada ano no intervalo de 1964 a 2016. Devido à falta de informações, 15 desses anos ficaram sem resultado. A partir desses mesmos valores de vazões médias de cada mês, foram calculadas também as vazões médias referentes a cada mês do ano.

Os dados de vazão serão avaliados com base na série histórica (1964-2015) através de gráficos de distribuição temporal – mensal e anual. Devido a falta de dados em alguns dos anos dessa série histórica, fica impossibilitado o cálculo do SRI, já que o script de cálculo a ser utilizado não permite isso. As vazões a serem utilizadas para o cálculo do SRI serão, então, as vazões afluentes sintéticas de 2 reservatórios presentes na bacia.

4.3 Geração de séries sintéticas de vazão

Para o cálculo das vazões afluentes sintéticas em base mensal dos reservatórios, foi empregado o modelo chuva-vazão Soil Moisture Accounting Procedure – SMAP. Este modelo é do tipo concentrado que utiliza os mesmos parâmetros para toda a bacia.

Desenvolvido por Lopes (1981), o modelo SMAP mensal usa a equação de escoamento superficial do Soil Conservation Service – SCS. Um contador de

umidade do solo é continuamente atualizado partindo de condições iniciais dadas ao modelo. A cada mês a atualização da umidade do solo na zona não saturada é processada calculando-se a infiltração através da equação de escoamento do SCS, a evaporação real em função da evaporação potencial e a recarga para a zona saturada é feita usando-se o conceito de capacidade de campo. A vantagem do modelo consiste no pequeno número de parâmetros, os quais são facilmente calibrados. O tempo de calibração e validação do modelo é bem menor do que outros modelos, o que resulta em uma maior facilidade no processo de modelagem.

O SMAP utiliza como dados de entrada a precipitação mensal em mm; a evapotranspiração potencial mensal em mm; a área da bacia hidrográfica em km²; a taxa de deplecionamento, que gera o escoamento de base, variando de 1 a 6; e a taxa de umidade do solo inicial.

A precipitação média para entrada no modelo foi calculada pelo método de Thiessen (FREIRE, 2005). Os parâmetros utilizados no modelo foram calibrados e validados no Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Piranhas-Açu (ANA, 2016) e foram utilizados em planilha do Excel onde se atualizaram os dados até o mês de Dezembro de 2015.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), o modelo possui seis parâmetros que precisam ser calibrados: a capacidade de saturação do solo, que varia entre 400 e 5.000; a taxa de geração de escoamento superficial, que varia entre 0,1 e 10; o coeficiente de recarga do aquífero, que está relacionado com a permeabilidade da zona não-saturada do solo, e que varia entre 0,0 e 70,0; a taxa de deplecionamento do nível d'água do terceiro reservatório, responsável pela geração do escoamento de base, que varia entre 1 a 6; a taxa de umidade inicial do solo que determina o nível inicial do segundo reservatório; e o escoamento de base inicial.

O modelo SMAP foi utilizado para gerar vazões sintéticas afluentes aos reservatórios Lagoa do Arroz e Pilões, ambos localizados na bacia do Rio do Peixe.

4.4 O índice SRI

Para se realizar uma avaliação dos períodos secos dos 53 anos simulados deve-se definir um indicador de seca e dos estágios de severidade dela. Este indicador será utilizado para decidir uma resposta apropriada ao evento e, conseqüentemente definir as ações adequadas a cada resposta. O processo de normalização adotado consistiu na aplicação do índice de escoamento padronizado (Standardized Runoff Index – SRI).

A escala temporal depende das características da bacia e dos objetivos da avaliação, podendo ser: Mensal (SR1), Trimestral (SRI3), Anual (SRI12), Sazonal ou Interannual (SRI18, SRI24, SRI36). Neste trabalho utilizou-se as escalas de tempo sazonal e interanual tendo em vista a avaliação das secas hidrológicas.

O SRI pode ser computado da mesma maneira que o índice de precipitação normalizado (SPI), conforme Shukla e Wood (2008), porém os dados de entrada são as vazões ao invés de precipitações. Com isso, tem-se que o SRI é um índice adimensional em que valores negativos indicam seca e valores positivos indicam períodos úmidos. Com esse índice, a intensidade da seca, a magnitude e a duração podem ser determinadas, bem como a probabilidade de surgir a partir de uma série histórica uma seca específica (MARTINS, 2014).

Aplicando o índice SRI, os valores positivos indicam a vazão maior do que a mediana ou média e os valores negativos indicam vazões menores que a mediana ou média (FERNANDES, 2009).

Na Tabela 1, podemos observar uma classificação das secas a partir de seu índice SRI.

Tabela 1 – Classificação dos valores de SRI e volumes estocados

SRI	Classificação	Categoria
0 a -0,99	D0	Seca Ligeira
-1,00 a -1,49	D1	Seca Moderada
-1,50 a -1,99	D2	Seca Severa
≤ -2,00	D3	Seca Extrema

Fonte: Adaptado de Martins (2014)

4.5 Cálculo do SRI

Baseado em Fernandes (2009), a metodologia utilizada no cálculo do SRI será a mesma utilizada para o cálculo do SPI aplicando os dados de entrada do SRI. Deve-se utilizar uma base de dados de vazão com pelo menos 30 anos, pois, por se tratar de cálculos estatísticos, quanto maior a série, maior será a precisão do índice calculado. Essa série histórica será ajustada por meio da distribuição gama, que posteriormente é transformada em uma distribuição normal, que por definição, apresenta sua média com valor zero e variância unitária.

A metodologia do cálculo do SPI pode ser encontrada em Albuquerque (2010) e segue o seguinte procedimento:

1. Determinação da função densidade de probabilidade.

A distribuição gama é definida pela função de densidade de probabilidade apresentada na equação:

$$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^{\alpha} \tau(\alpha)},$$

Onde: $\alpha > 0$ – é um parâmetro de forma;

$\beta > 0$ – é um parâmetro escalar;

$x > 0$ – é a precipitação acumulada;

$\tau(\alpha)$ – é a função gama definida por:

$$\tau(x) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy.$$

Os parâmetros α e β da função densidade de probabilidade gama, são estimados para cada estação, para cada escala de tempo e para cada mês do ano. Utilizam-se funções de máxima verossimilhança para estimar α e β :

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

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}},$$

Sendo: A é uma amostra estatística obtida através de:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i)}{n},$$

Onde: n – é o número de precipitações observadas;

\bar{x} – é a precipitação média.

2. Cálculo da probabilidade acumulada da quantidade de precipitação observada.

Os parâmetros calculados anteriormente são utilizados para o cálculo da probabilidade acumulada de uma precipitação observada de um evento para o mês dado e escala de tempo da estação em questão.

$$G(x) = \frac{1}{\tau(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt,$$

Sendo $t = x/\hat{\beta}$.

Devido à função gama $\tau(\hat{\alpha})$ ser indefinida para $x = 0$ e a distribuição de precipitação poder conter zeros, a probabilidade acumulada é calculada através de:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x),$$

Sendo: q a probabilidade de um zero. Se m for o número de zeros numa série temporal de precipitações, q pode ser estimado pela proporção do número de zeros em relação ao número de observações.

3. Padronização dos cálculos do SPI

Para facilitar o cálculo do valor de Z ou SPI em todas as escalas temporais possíveis e para cada mês do ano, utiliza-se a aproximação que converte probabilidade cumulativa na variável aleatória normalizada (Z):

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5;$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1,0;$$

$$\text{Onde: } t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)}, \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5;$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)}, \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1,0;$$

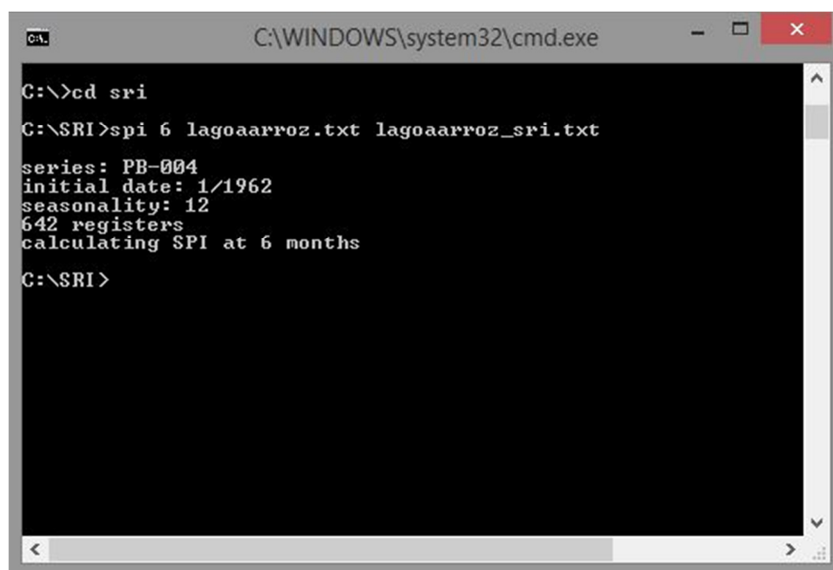
$$c_0 = 2,515517; c_1 = 0,802853; c_2 = 0,010328;$$

$$d_1 = 1,432788; d_2 = 0,189269; d_3 = 0,001308.$$

Nesse estudo, o cálculo é feito através de um programa computacional que apresenta essa metodologia citada anteriormente. Este programa calcula o índice SRI a partir de dados mensais de vazão dos reservatórios, nesse estudo, serão inseridas as vazões afluentes sintéticas dos reservatórios de Lagoa do Arroz e de Pilões.

A partir desse programa, o índice pode ser calculado em diferentes escalas de temporais, podendo ser na escala de um mês ou mais. Normalmente, é calculado para 1, 3, 6, 12 e 24 meses. Aqui serão calculados os índices SRI para os reservatórios de Pilões e de Lagoa do Arroz para as escalas temporais de 6, 12, 24 e 36 meses.

Figura 4 – Interface do Prompt de Comando do Windows rodando o programa de cálculo do Índice SRI



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\>\>cd sri
C:\SRI>spi 6 lagoaarroz.txt lagoaarroz_sri.txt
series: PB-004
initial date: 1/1962
seasonality: 12
642 registers
calculating SPI at 6 months
C:\SRI>
```

Fonte: Autor

4.6 Validação do SRI na escala anual

Para realizar essa análise, serão retirados dados de 1991 a 2010 do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (UFSC, 2011). A partir desses dados será feita a comparação do que realmente aconteceu e o que foi apontado pelo SRI.

São retiradas do atlas informações referentes aos municípios presentes na bacia do Rio do Peixe, são eles: Aparecida, Bernadino Batista, Bom Jesus, Cachoeira dos Índios, Cajazeiras, Lastro, Poço Dantas, Poço de José de Moura, Pombal, Santa Helena, Santarém, São Francisco, São João do Rio do Peixe, Sousa, Triunfo, Uiraúna e Vieirópolis.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Serão analisados os dados de precipitação e de vazão por meio de gráficos e tabelas, para posteriormente analisar os resultados do SRI.

5.1 Análise dos dados de precipitação

Tabela 2 – Valores de Precipitação média anual da bacia Rio do Peixe

Precipitação Média Anual (mm)					
1960	-	1980	816,77	2000	939,63
1961	-	1981	689,93	2001	553,09
1962	765,66	1982	614,42	2002	817,56
1963	1238,88	1983	399,17	2003	757,05
1964	1189,11	1984	918,32	2004	1127,21
1965	1025,51	1985	1673,19	2005	649,01
1966	820,12	1986	1110,96	2006	933,05
1967	1240,70	1987	733,18	2007	750,45
1968	952,43	1988	856,81	2008	1268,80
1969	841,77	1989	1250,41	2009	1083,86
1970	694,79	1990	582,34	2010	988,47
1971	1056,35	1991	897,16	2011	1245,69
1972	914,69	1992	758,95	2012	345,17
1973	1074,87	1993	336,45	2013	837,13
1974	1666,21	1994	979,92	2014	811,63
1975	1135,37	1995	857,11	2015	679,60
1976	742,54	1996	928,75	-	-
1977	1258,42	1997	791,94	-	-
1978	944,08	1998	469,51	-	-
1979	730,17	1999	832,10	-	-

Fonte: Autor

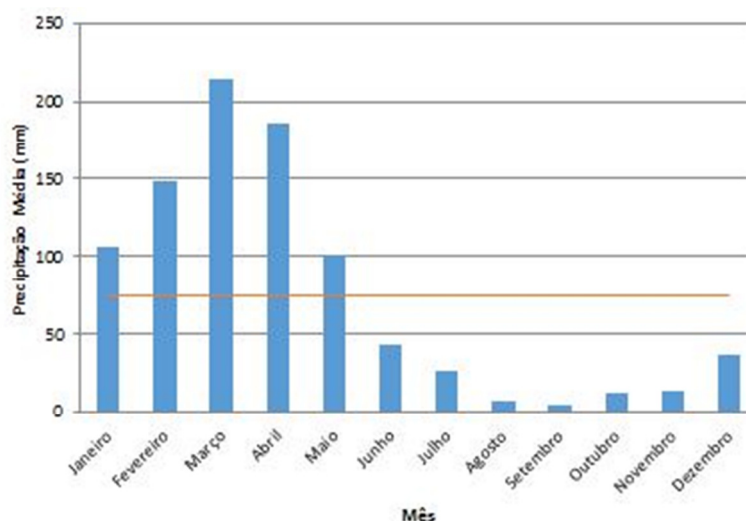
Tabela 3 – Valores de Precipitação média mensal da bacia Rio do Peixe

Precipitação média Mensal (mm)					
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho
106,14448	148,93041	214,50277	185,52205	101,33112	43,092533
Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
26,772997	7,436405	4,8569649	11,731747	13,097463	36,144994

Fonte: Autor

Pela análise dos dados de precipitação logo percebe-se uma grande variabilidade de chuva na Bacia do Rio do Peixe. A média pluviométrica anual é de 899,56 mm. A partir da Figura 5 se observa uma concentração das chuvas na primeira metade do ano, chovendo acima da média mensal no período de janeiro a maio. Destacam-se os meses de fevereiro, março e abril que juntos respondem por cerca de 60% de toda chuva esperada para o ano inteiro. Percebe-se também que o mês de março é o mais chuvoso, apresentando em média, 214,50 mm de precipitação, o que equivale a 23,85% do esperado para o ano todo.

Figura 5 – Precipitação média mensal da bacia Rio do Peixe



Fonte: Autor

Por outro lado, de acordo com a Figura 5, o segundo semestre apresenta-se muito seco, chovendo pouco mais de 100 mm de julho a dezembro, correspondendo a somente 11,12% do que é esperado para um ano. Os meses de agosto e setembro são facilmente percebidos como os mais secos.

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

A análise das precipitações anuais na bacia do Rio do Peixe mostra uma média anual de 899,56 mm, identificada na figura 6 pela linha horizontal em destaque.

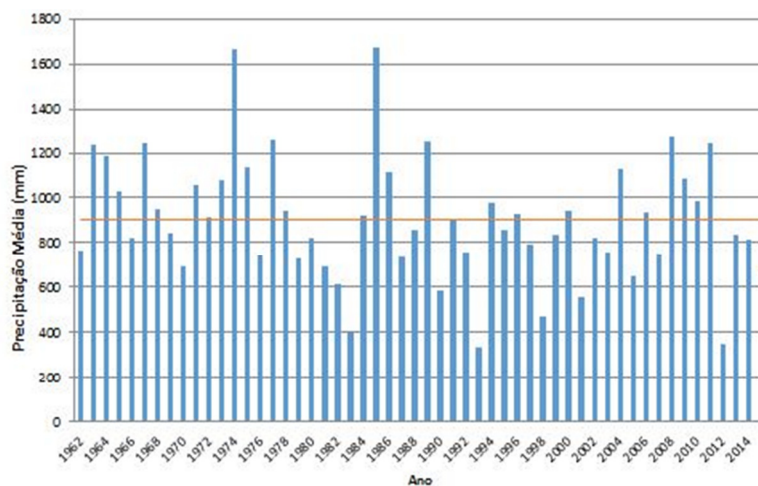
Na Figura 6, observa-se que as décadas de 1960 e 1970 foram razoavelmente chuvosas, apresentando apenas 5 anos de chuvas abaixo da média. Destacam-se os anos de 1963, 1967, 1974 e 1977 que ultrapassaram os 1200 mm de chuva, muito superior à média de 899,56 mm (destaque para o ano de 1974 que choveu incríveis 1666,21 mm).

Já as décadas de 1980, 1990 e 2000 apresentaram grandes secas. A pior de todas ocorreu de 1979 a 1983, desta seca histórica o ano que menos choveu foi 1983 que registrou apenas 399,17 mm, menos da metade da média da série histórica em análise.

Outro período prolongado de chuvas escassas ocorreu de 1990 a 1993 (Figura 6) sendo que neste choveu apenas 336,44 mm, o menor valor para um ano da série histórica em análise.

Ainda pela Figura 6, observa-se que de 1997 a 2003 apenas o ano de 2000 choveu acima da média registrando 939,63 mm, sendo que o ano de 1998 registrou apenas 469,51 mm. Observa-se também que os anos de 2008, 2009 e 2011 foram anos bem chuvosos, sendo que 2008 apresentou um volume precipitado de 1268,80 mm. É facilmente percebido que choveu bem menos nas últimas 30 décadas - na área em estudo – em relação as décadas de 1960 e 1970. Dos 53 anos apresentados no gráfico, 29 tiveram chuvas abaixo da média e 24 acima da média.

Figura 6 – Precipitação média anual da bacia Rio do Peixe



Fonte: Autor

5.2 Análise dos dados de vazão

Tabela 4 – Valores de Vazão média mensal no posto Antenor Navarro

Vazão média Mensal (m ³ /s)					
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho
1,176497	2,420467	6,255263	12,75509	7,783368	0,406507
Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
0,153384	0,081514	0,059844	0,086628	0,04109	0,035685

Fonte: Autor

Tabela 5 – Valores de Vazão média anual no posto Antenor Navarro

Vazão Média Anual (m ³ /s)					
1960	-	1980	-	2000	4,6529637
1961	-	1981	-	2001	0,2285833
1962	-	1982	-	2002	-
1963	-	1983	-	2003	-
1964	0,26625	1984	0,5865714	2004	-
1965	2,88925	1985	21,210833	2005	0,5881667
1966	0	1986	1,395	2006	3,667617
1967	8,0976667	1987	4,67	2007	0,152
1968	2,8340833	1988	2,2875	2008	11,83208
1969	2,5091667	1989	7,6155833	2009	12,181925
1970	0,6075	1990	0,1566667	2010	0,4570167
1971	0,66125	1991	1,3408333	2011	2,880975
1972	0,4055833	1992	1,7216667	2012	0,7204583
1973	-	1993	0	2013	0,0916667
1974	-	1994	0,3533333	2014	0,2151111
1975	-	1995	0,231	2015	-
1976	-	1996	0,6548333	2016	0,58365
1977	-	1997	0,0315833	-	-
1978	-	1998	0	-	-
1979	-	1999	0	-	-

Fonte: Autor

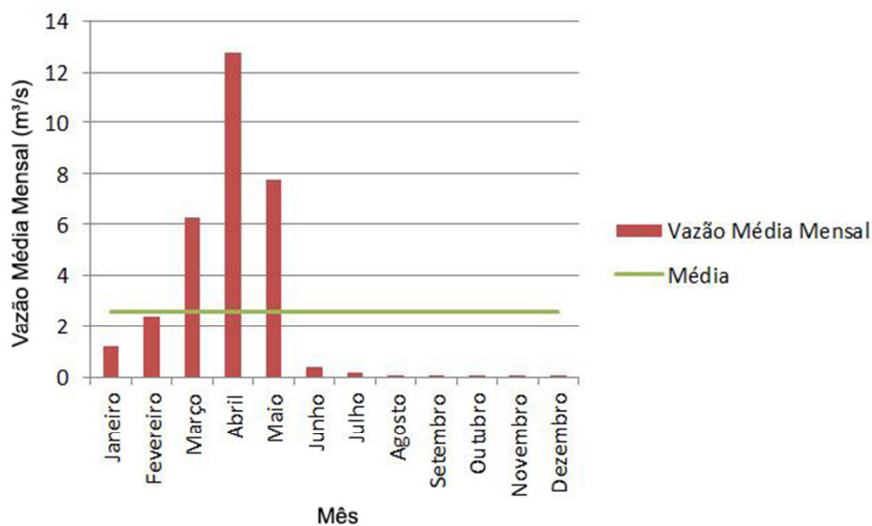
Pela análise dos dados de vazão percebe-se uma grande variação nas vazões da estação fluviométrica Antenor Navarro. A média da vazão anual é de 2,599 m³/s e a vazão média mensal é de 2,605 m³/s. A partir da Figura 7 se observa uma vazão mais elevada na primeira metade do ano, porém, apenas 3 meses

apresentam uma vazão acima da média, que são os meses de Março, Abril e Maio, sendo as vazões desses e meses bem mais elevadas que a média, variando de 6,255 m³/s até 12,755 m³/s, correspondendo a 85,73% da vazão anual. Isso é uma característica do semiárido onde a bacia está localizada, a chuva fica concentrada em 4 meses do ano, conseqüentemente, o escoamento também só se dá nesses meses. Percebe-se que o mês de Abril é o que apresenta maior valor de vazão, com o valor de 12,755 m³/s, que corresponde a 40,81% da vazão anual.

Ao contrário do primeiro semestre de ano, pode-se observar uma vazão muito baixa no segundo semestre do ano, com valores praticamente nulos, com o valor médio mínimo de 0,036 m³/s no mês de Dezembro, que é também o menor valor do ano. Somando todo o segundo semestre, sua vazão corresponde a apenas 0,015% da vazão anual.

Observa-se também na Figura 7 que os valores das vazões são crescentes de Janeiro a Abril e decrescentes de Abril a Dezembro.

Figura 7 – Vazão média mensal no posto Antenor Navarro



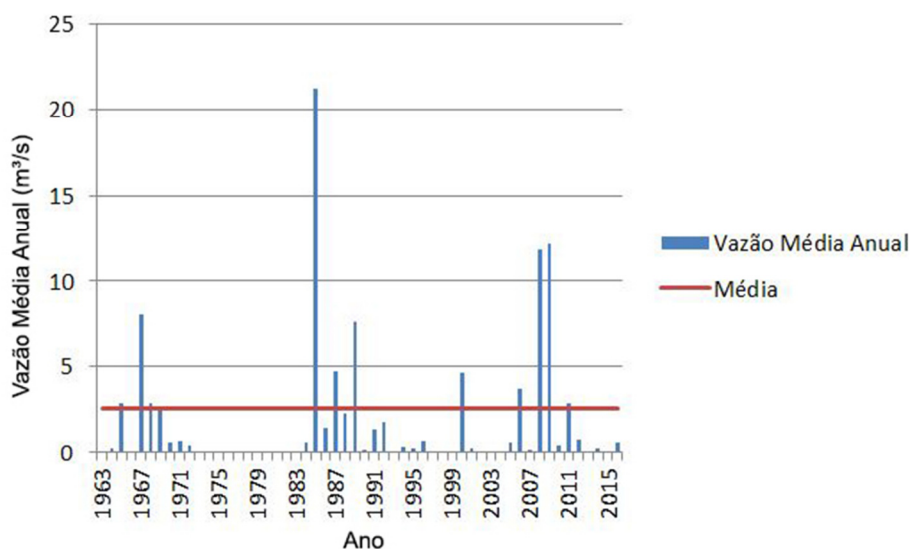
Fonte: Autor

A análise das vazões anuais na estação fluviométrica Antenor Navarro mostra uma média anual de 2,599 m³/s identificada na figura 8 pela linha horizontal em destaque.

Podemos observar na Figura 8, que houve alguns dados faltosos na série histórica estudada, causando alguns “buracos” no gráfico. Os anos afetados pela falta de dados são: o ano de 1963, os anos no intervalo de 1973 a 1983, no intervalo de 2002 a 2004 e o ano de 2015.

Observando o intervalo de 1963 a 1972 na mesma figura, podemos observar alguns valores bem variados na vazão da estação, tendo alguns valores bem próximos a média, nos anos de 1965, 1968 e 1969, e alguns valores que se afastaram mais dessa média, sendo o ano de 1967 o que mais se distancia dela, apresentando uma vazão de 8,1 m³/s. Por outro lado, o ano de 1966 não apresentou vazão alguma. Nesse pequeno intervalo tivemos 3 anos que apresentaram vazões acima da média e 6 abaixo.

Figura 8 – Vazão média anual do posto Antenor Navarro



Fonte: Autor

No intervalo de 2005 a 2016 não houve casos de anos apresentando vazão nula na estação, porém o ano que apresentou menor vazão chegou perto disso, com

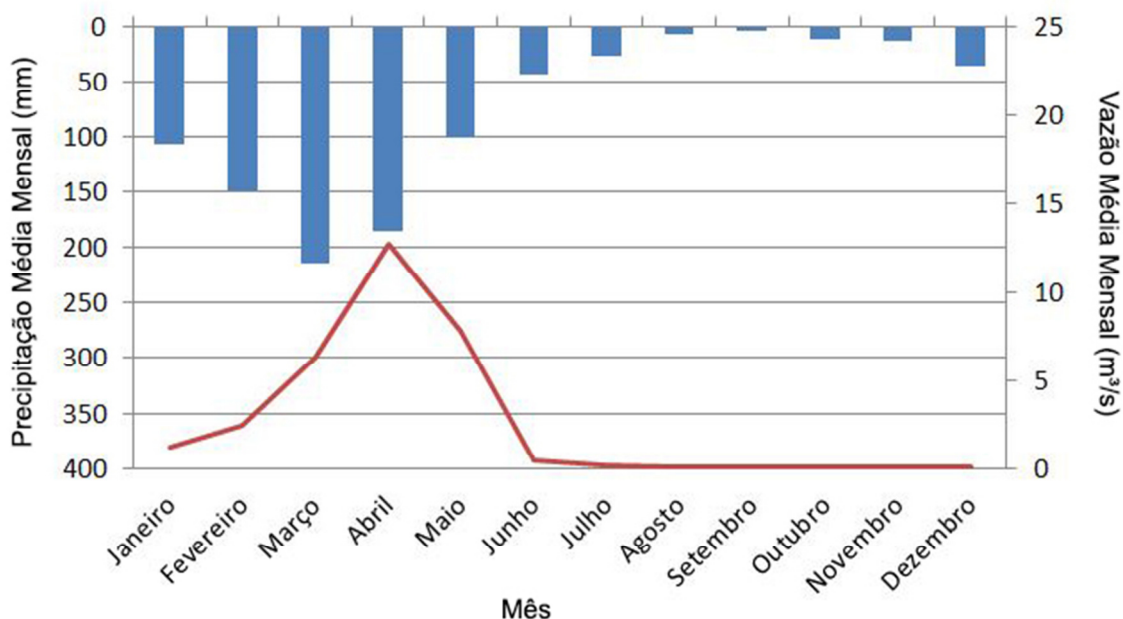
uma vazão de 0,09 m³/s. O ano com maior vazão nesse intervalo foi o ano de 2009 com uma vazão de 12,18 m³/s. Nesse intervalo podemos observar 4 anos que apresentaram vazões acima da média, 7 que apresentaram valores de vazões abaixo da média e um ano que não foi analisado devido a falta de dados (2015).

Analisando então o intervalo de 1984 a 2001, tivemos mais três casos onde a vazão anual na estação foi nula, que foram os anos de 1993, 1998, 1999. Podemos observar também o caso que mais se afastou da média em toda a série histórica estudada, que foi o ano de 1985, apresentando uma vazão de 21,21 m³/s. Nesse intervalo podemos observar 4 anos que apresentaram vazões acima da média e 14 abaixo.

5.3 Análise comparativa dos dados de precipitação e vazão

Analisando os dados de precipitação e de vazão, podemos observar na Figura 9 e na Figura 10 semelhanças nas curvas de ambos os dados, seja para valores mensais ou para os valores anuais.

Figura 9 – Sobreposição das curvas de Precipitação e Vazão média mensal

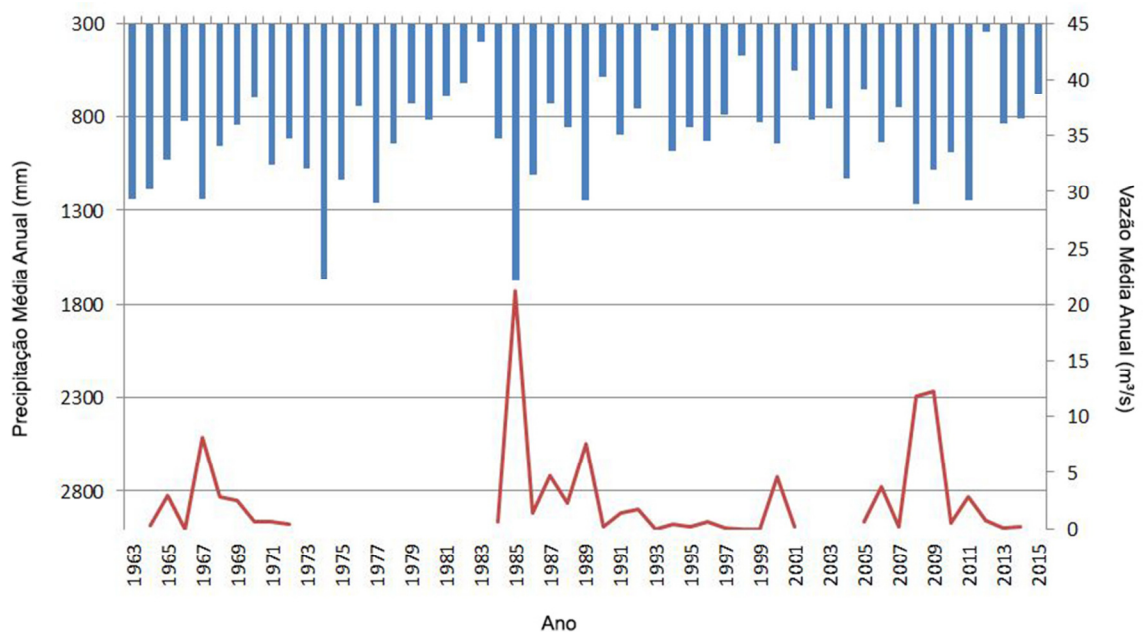


Fonte: Autor

Podemos observar na Figura 9 que a curva de vazão acompanha a curva de precipitação durante os meses ao longo do ano, apresentando crescimento parecido no início do ano e valores baixos ao final do mesmo. Podemos observar também que a precipitação não é o único fator que influencia na vazão mensal da estação, tendo em vista que a curva de vazão apresenta seu pico um mês após o pico da curva de precipitação e apresenta também uma maior recessão chegando aos seus valores mínimos meses antes da curva de precipitação.

Observando a Figura 10, podemos achar semelhanças também nos valores anuais. As curvas de precipitação e de vazão nessa figura apresentam vários crescimentos, picos e vários declives simultâneos. Importante lembrar que alguns intervalos na curva de vazão são nulos devido a falta de dados, como é o caso dos anos entre 1973 e 1983.

Figura 10 – Sobreposição das curvas de Precipitação e Vazão média anual



Fonte: Autor

5.4 Análise dos resultados do SRI

A análise dos eventos de seca na bacia do Rio do Peixe foi realizada por meio do SRI, utilizando os critérios de classificação originalmente apresentados por Martins (2014), os quais classificam as secas em quatro categorias – ligeira, moderada, severa e extrema, com base nos valores de SRI mensal. A seguir são apresentados os resultados desta análise das secas na bacia do Rio do Peixe para as escalas de tempo de 6, 12, 24 e 36 meses para os reservatórios de Pilões e de Lagoa do Arroz localizados dentro da bacia.

5.4.1 Reservatório de Pilões

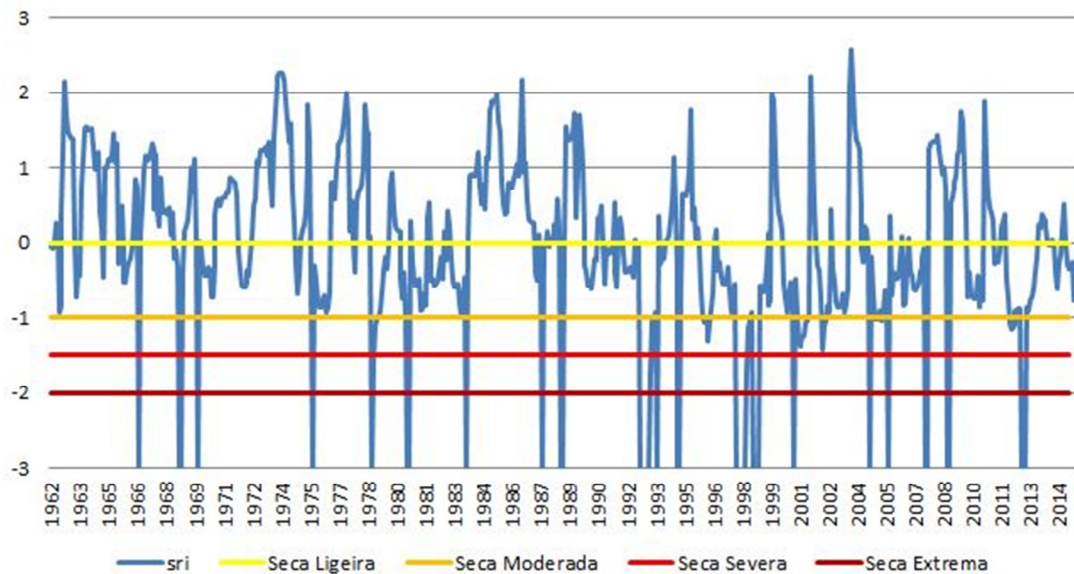
5.4.1.1 Escala de 6 meses

Analisando a Figura 11, podemos observar que em mais da metade de toda a série histórica, o reservatório de Pilões indica não estar em seca, com apenas 36,31% dos índices abaixo do SRI igual a 0.

As informações desse gráfico são iniciadas em Junho de 1962 e a partir daí já se observa uma seca ligeira indicada por um SRI de -0,045. O primeiro caso indicado de seca moderada acontece em Maio de 1979, mês que indicou um SRI de -1,111, que se estendeu ao mês seguinte, voltou à classificação de seca ligeira no mês posterior e então deixou de indicar seca no mês de Fevereiro de 1980. O primeiro caso de seca severa ocorreu antes disso em Abril de 1979, que apresentou um SRI de -1,584. No mês de Janeiro de 1967, sendo apenas um caso isolado, foi indicado o acontecimento de uma seca extrema, a primeira da série estudada. Nesse mês o SRI observado foi de -3,09.

Ainda na Figura 11 podemos observar 6 secas de durações prolongadas, tendo elas as durações de 42, 50, 46, 41, 42 e 27 meses. A mais prolongada dentre elas, a de 50 meses de duração, teve início em Abril de 1990, se estendendo até Maio de 1994, tendo diversos picos de índice SRI de -3,09.

Figura 11 – SRI na escala de 6 meses para o reservatório de Pilões



Fonte: Autor

A segunda seca de maior prolongamento na série histórica estudada, que durou 46 meses, teve início em Março de 1996 e durou até Dezembro de 1999. Ela teve também diversos de valor SRI de -3,09.

Além dessas grandes secas já citadas, podemos observar também vários períodos curtos de secas com casos até de meses isolados de secas extremas, como por exemplo, Janeiro de 1967.

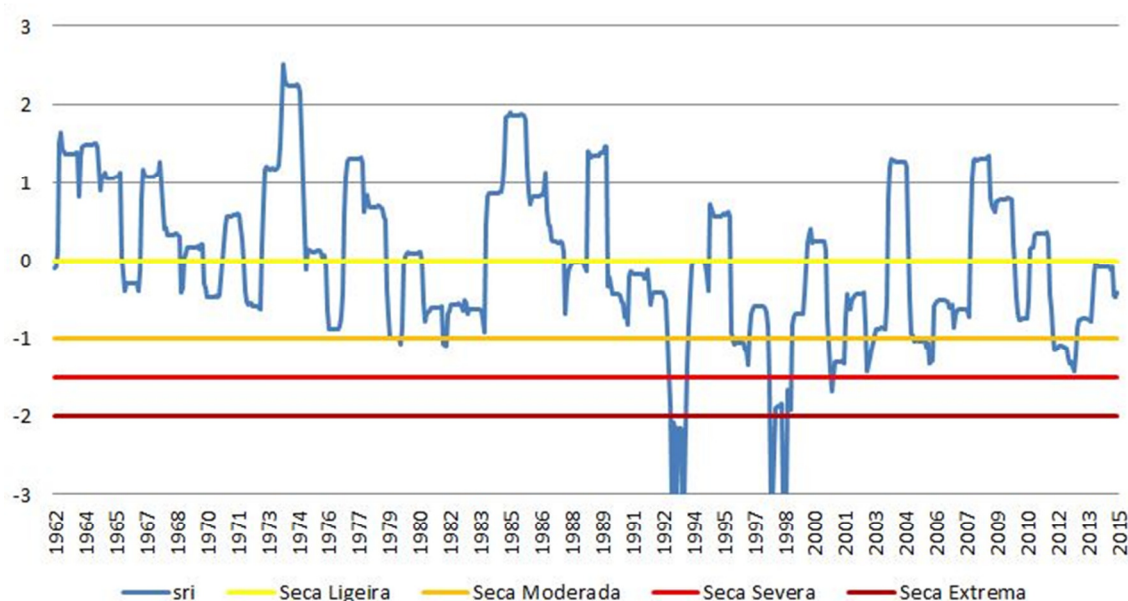
5.4.1.2 Escala de 12 meses

Analisando a Figura 12, podemos observar que em mais da metade de toda a série histórica, o reservatório de Pilões indica pelo menos uma seca ligeira, com 52,14% dos índices abaixo do SRI igual a 0.

As informações desse gráfico são iniciadas em Dezembro de 1962, e a partir daí já se observa uma seca ligeira indicada por um SRI de -0,101. O primeiro caso indicado de seca moderada acontece em Dezembro de 1979, mês que indicou um SRI de -1,001, que se estendeu ao mês seguinte, voltou à classificação de seca ligeira no mês posterior e então deixou de indicar seca no mês de Abril de 1980. O

primeiro caso de seca severa ocorreu em Maio de 1993 que se intensificou para o primeiro caso de seca extrema, no mês de Junho de 1993, tendo uma duração de 9 meses de seca extrema até voltar a classificação de seca moderada em Março de 1994.

Figura 12 – SRI na escala de 12 meses para o reservatório de Pilões



Fonte: Autor

Ainda na Figura 12 podemos observar 6 secas de durações prolongadas, tendo elas as durações de 38, 56, 45, 36, 36 e 41 meses. A mais prolongada dentre elas, a de 56 meses de duração, teve início em Abril de 1990, se estendendo até Novembro de 1994, tendo 4 picos de índice SRI de -3,09 que ocorreram em Junho, Setembro e Dezembro de 1993 e Janeiro de 1994.

Podemos observar também que ocorreram apenas duas secas que chegaram a classificação de seca extrema, que foi a citada no parágrafo anterior e a seca de Maio de 1996 à Janeiro de 2000. Essa foi segunda seca de maior prolongamento na série histórica estudada, durando 45 meses, apresentando seus picos em Maio, Junho e Dezembro de 1998 e Janeiro e Fevereiro de 1999. Esteve na classificação

de seca severa (e extrema, nos meses citados anteriormente) entre Abril de 1998 e Abril de 1999.

Além dessas grandes secas já citadas, podemos observar também vários períodos curtos de secas ligeiras com apenas 2 casos onde a seca chegou ao nível de moderada.

5.4.1.3 Escala de 24 meses

Analisando a Figura 13, podemos observar que em quase metade de toda a série histórica, o reservatório de Pilões indica pelo menos uma seca ligeira, com 48,95% dos índices abaixo do SRI igual a 0.

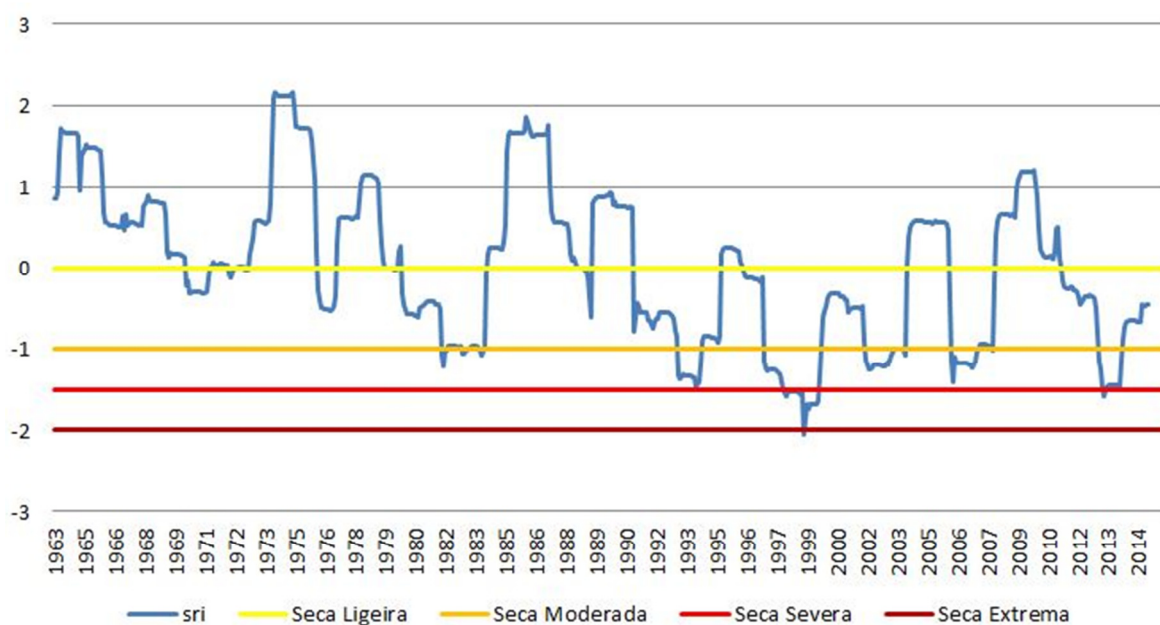
As informações desse gráfico são iniciadas em Dezembro de 1963, e somente a partir de Março de 1970 que podemos observar uma seca ligeira, indicada por um SRI de -0,212. O primeiro caso indicado de seca moderada acontece em Março de 1982, mês que indicou um SRI de -1,082, que se estendeu por mais três meses, atingindo um pico de -1,218 e voltando a classificação de seca ligeira no mês de Julho do mesmo ano. A seca em questão teve continuidade até Abril de 1984.

O primeiro caso de seca severa ocorreu em Abril de 1998, na seca apontada pelo SRI da escala de 24 meses como a mais severa da série histórica estudada. Essa mesma seca se intensificou para o primeiro caso de seca extrema, no mês de Abril de 1999, quando atingiu o seu pico com um SRI de -2,051, voltando à classificação de seca severa no mês seguinte. A seca em questão teve continuidade até Janeiro de 2004.

Ainda na Figura 13 podemos observar 5 secas de durações prolongadas, tendo elas as durações de 48, 49, 92, 26 e 49 meses. A mais prolongada dentre elas, a de 92 meses de duração, teve início em Junho de 1996, se estendendo até Janeiro de 2004, mais de 7 anos de seca. Essa seca teve seu pico em Abril de 1999 com um índice SRI de -2,05, sendo seu único mês classificado como seca extrema, porém, essa mesma seca esteve classificada como seca severa entre Abril de 1998

e Dezembro de 1999. Foi a única seca nessa escala a apresentar um período de seca extrema.

Figura 13 – SRI na escala de 24 meses para o reservatório de Pilões



Fonte: Autor

Podemos observar nesse gráfico que, em relação à escala de 12 meses, as secas aqui apresentam prolongamentos maiores, porém, menores intensidades. Em toda a série histórica tivemos apenas duas secas que apresentaram a classificação de seca severa, uma que foi a citada no parágrafo anterior (que apresentou também o único caso de seca extrema, como dito anteriormente) e a seca que teve início em Junho de 2011 e tem continuidade até o fim da série histórica estudada (Junho de 2015). Essa foi segunda seca de maior prolongamento na série histórica estudada, tendo completado seus 49 meses e ainda em andamento ao final da série, ela apresenta seu pico em Maio de 2013 com um índice SRI de -1,587. Esteve na classificação de seca severa em Maio (quando atingiu seu pico) e Junho de 2013.

Além dessas grandes secas já citadas, podemos observar também alguns períodos curtos de secas ligeiras.

5.4.1.4 Escala de 36 meses

Analisando a Figura 14, podemos observar que em quase metade de toda a série histórica, o reservatório de Pilões indica pelo menos uma seca ligeira, com 48,11% dos índices abaixo do SRI igual a 0. Podemos observar também que essa escala é a que apresenta menor porcentagem de meses classificados com seca.

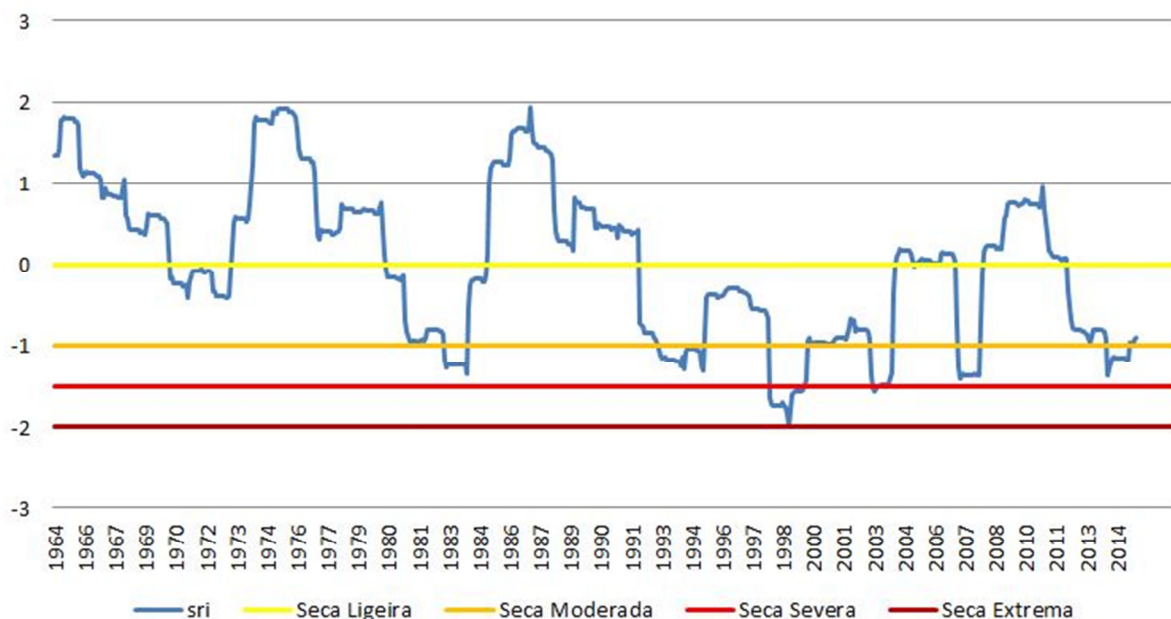
As informações desse gráfico são iniciadas em Dezembro de 1964, e somente a partir de Maio de 1970 que podemos observar uma seca ligeira, indicada por um SRI de -0,178. O primeiro caso indicado de seca moderada acontece em Março de 1983, mês que indicou um SRI de -1,179, que se estendeu por mais 12 meses, atingindo um pico de -1,348 em Março de 1984 e voltando a classificação de seca ligeira no mês seguinte (Abril de 1984). A seca em questão teve continuidade até Fevereiro de 1985.

O primeiro caso de seca severa ocorreu em Maio de 1998, na seca apontada pelo SRI da escala de 36 meses como a mais severa da série histórica estudada. Essa mesma seca se intensificou para o primeiro caso de seca extrema na série estudada, que ocorreu no mês de Abril de 1999, quando atingiu o seu pico com um SRI de -2,003, voltando à classificação de seca severa no mês seguinte. A seca em questão teve continuidade até Março de 2004.

Ainda na Figura 14 podemos observar 4 secas de durações prolongadas, tendo elas as durações de 35, 57, 144 e 39 meses. A mais prolongada dentre elas, a de 144 meses de duração, teve início em Abril de 1992, se estendendo até Março de 2004, totalizando 12 anos de seca. Essa seca teve seu pico em Abril de 1999 com um índice SRI de -2,003, sendo seu único mês classificado como seca extrema, porém, essa mesma seca esteve classificada como seca severa entre Maio de 1998 e Dezembro de 1999. Foi a única seca nessa escala a apresentar um período de seca extrema.

Podemos observar nesse gráfico que, em relação às outras escalas (12 e 24 meses), as secas aqui apresentam menores intensidades. Em toda a série histórica tivemos apenas uma seca que apresentou a classificação de seca severa, que foi a citada no parágrafo anterior (que apresentou também o único caso de seca extrema, como dito anteriormente).

Figura 14 – SRI na escala de 36 meses para o reservatório de Pilões



Fonte: Autor

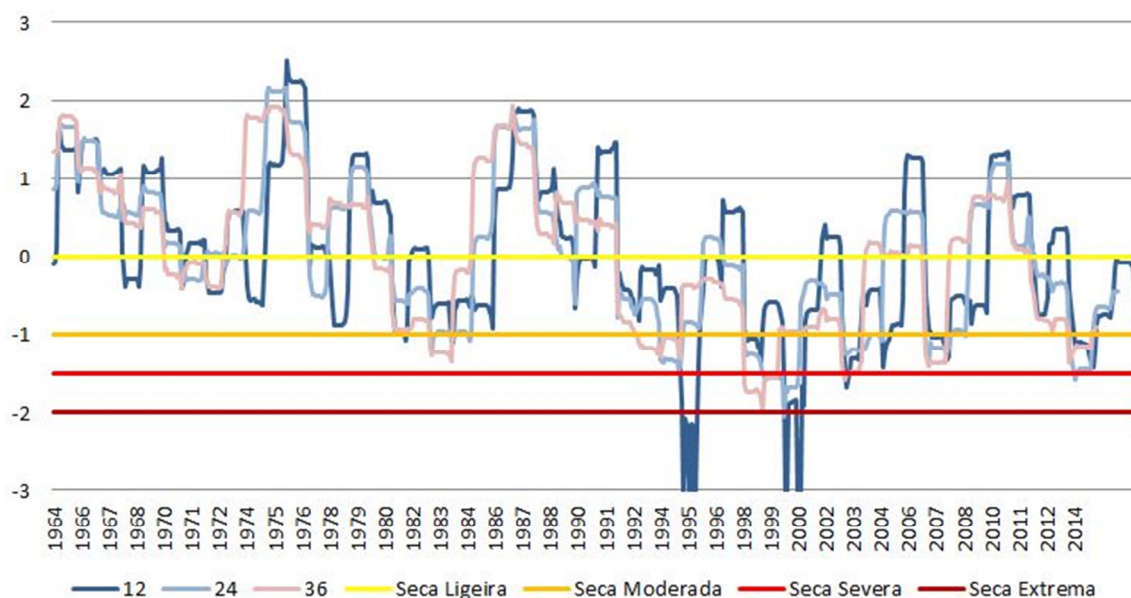
A segunda seca de maior prolongamento teve início em Junho de 1980 e teve continuidade até Fevereiro de 1985, durando 57 meses. Ela apresentou seu pico em Março de 1984 com um índice SRI de -1,348. Não chegou a ser classificada como seca severa, seu pico foi classificado como moderado, classificação que durou de Março de 1983 à Março de 1984.

Além dessas grandes secas já citadas, podemos observar também uma menor de duração de 15 meses, entre Fevereiro de 2007 e Abril 2008, classificada como seca moderada. Observamos também 2 casos isolados de secas ligeiras de apenas um mês, que foram Fevereiro de 2005 e Março de 2006.

5.4.1.5 Escalas de 12, 24 e 36 meses

Na Figura 15, apresentamos um gráfico com as curvas dos índices calculados nas 3 diferentes escalas sobrepostos.

Figura 15 – Curvas dos índices SRI para as escalas 12, 24 e 36 meses do reservatório de Pilões



Fonte: Autor

Observando o gráfico da Figura 15, podemos perceber curvas semelhantes para as 3 escalas estudadas, porém, podemos perceber também, que a escala de 12 meses apresenta picos com intensidades maiores que as outras escalas, sejam para os valores positivos ou para os valores negativos, por outro lado, vemos que a escala de 36 meses apresentam picos com intensidades menores que as outras escalas. Esse fato se dá pelo fato de que escalas de tempo menores apresentam maior sensibilidade às variações nos dados de entrada no roteiro de cálculo de seu índice, já que se utilizam de menos valores.

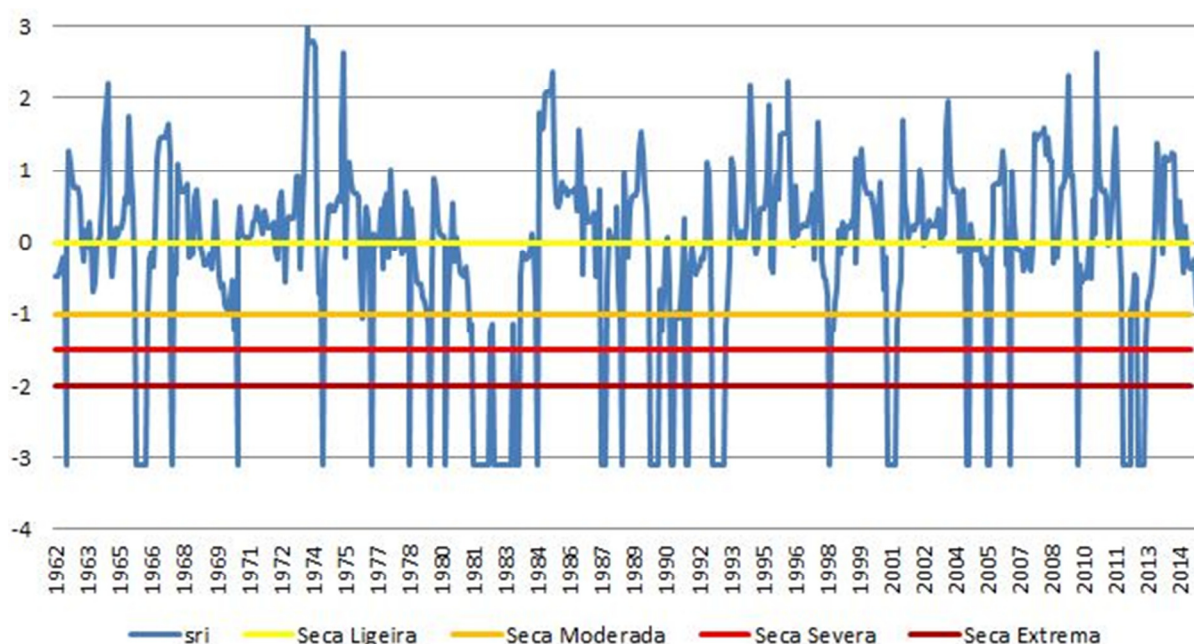
5.4.2 Reservatório de Lagoa do Arroz

5.4.2.1 Escala de 6 meses

Analisando a Figura 16, percebemos que a maior parte de toda a série histórica está livre de qualquer tipo de seca, com o total de 45,57% dos índices abaixo do valor de 0 SRI.

As informações desse gráfico são iniciadas em Junho de 1962 e a partir daí já se observa uma seca ligeira indicada por um SRI de -0,468. O primeiro caso indicado de seca moderada acontece em Novembro de 1967, mês que indicou um SRI de -1,143. Nessa série histórica não se foi observada nenhum caso de seca severa para essa escala de tempo. Secas classificadas como extremas, no entanto, aconteceram diversas vezes, tendo a primeira ocorrido em Dezembro de 1962, com o valor de SRI já no seu pico de -3,09.

Figura 16 – SRI na escala de 6 meses para o reservatório de Lagoa do Arroz



Fonte: Autor

Ainda na Figura 16 podemos observar 2 secas de durações prolongadas, tendo elas as durações de 47 e 53 meses. A mais prolongada dentre elas, a de 53 meses de duração, teve início em Agosto de 1980, se estendendo até Dezembro de 1984, tendo diversos picos de índice SRI de -3,09.

Podemos observar também vários casos de secas que chegaram a classificação de seca extrema, com pico máximo de índice SRI igual a 3,09. A segunda seca de maior prolongamento na série histórica estudada, que durou 47

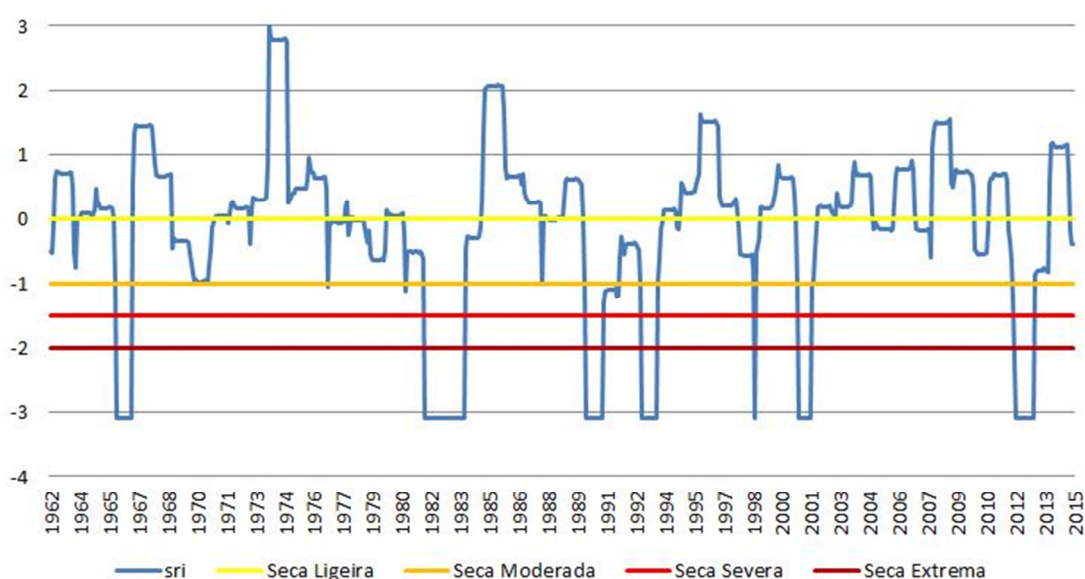
meses, teve início em Fevereiro de 1990 e durou até Dezembro de 1993. Ela teve também diversos de valor SRI de -3,09.

Além dessas grandes secas já citadas, podemos observar também vários períodos curtos de secas com casos até de meses isolados de secas extremas, como por exemplo, Janeiro de 2007.

5.4.2.2 Escala de 12 meses

Analisando a Figura 17, podemos observar que em mais da metade de toda a série histórica, o reservatório de Pilões esteve indicado como se não houvesse seca nele, com 43,11% dos índices abaixo do SRI igual a 0.

Figura 17 – SRI na escala de 12 meses para o reservatório de Lagoa do Arroz



Fonte: Autor

As informações desse gráfico são iniciadas em Dezembro de 1962, e a partir daí já se observa uma seca ligeira indicada por um SRI de -0,4997, durando apenas 3 meses. O primeiro caso indicado de seca moderada acontece em Março de 1977, mês que indicou um SRI de -1,056, dando início a uma grande seca de 36

meses. Não houveram casos registrados de secas classificadas como severas nessa escala de tempo. O primeiro caso de seca extrema registrado ocorreu no mês de Maio de 1966, registrando um índice SRI de -3,09 e tendo uma duração de 10 meses de seca extrema até sair da situação de seca em Março de 1967.

Ainda na Figura 17 podemos observar 5 secas de durações prolongadas, tendo elas as durações de 26, 36, 48, 50 e 25 meses. A mais prolongada dentre elas, a de 50 meses de duração, teve início em Abril de 1990, se estendendo até Maio de 1994, tendo vários picos de índice SRI de -3,09 que ocorreram em dois períodos diferentes, o primeiro, de Junho de 1990 até Abril de 1991 e o segundo, de Abril de 1993 até Janeiro de 1994.

Podemos observar também que ocorreram várias secas que chegaram a classificação de seca extrema, uma delas foi a citada no parágrafo anterior, além dela, podemos observar secas extremas nos períodos de: Maio/66-Fevereiro/67, Março/82-Março/84, Fevereiro/99, Maio/01-Dezembro/01 e Junho/12-Maio/13.

A segunda seca de maior prolongamento na série histórica estudada, ocorreu entre Fevereiro de 1981 e Janeiro de 1985, durou 48 meses, apresentando seu pico de Março de 1982 até Março de 1984 com um SRI de -3,09. Esteve na classificação de seca moderada em Março de 1981 e de seca ligeira no restante de sua duração.

Além dessas grandes secas já citadas, podemos observar também vários períodos curtos de secas, entre elas, secas ligeiras, moderadas e até extrema (lembrando que não foi registrado nenhum caso de seca severa nessa escala de tempo).

5.4.2.3 Escala de 24 meses

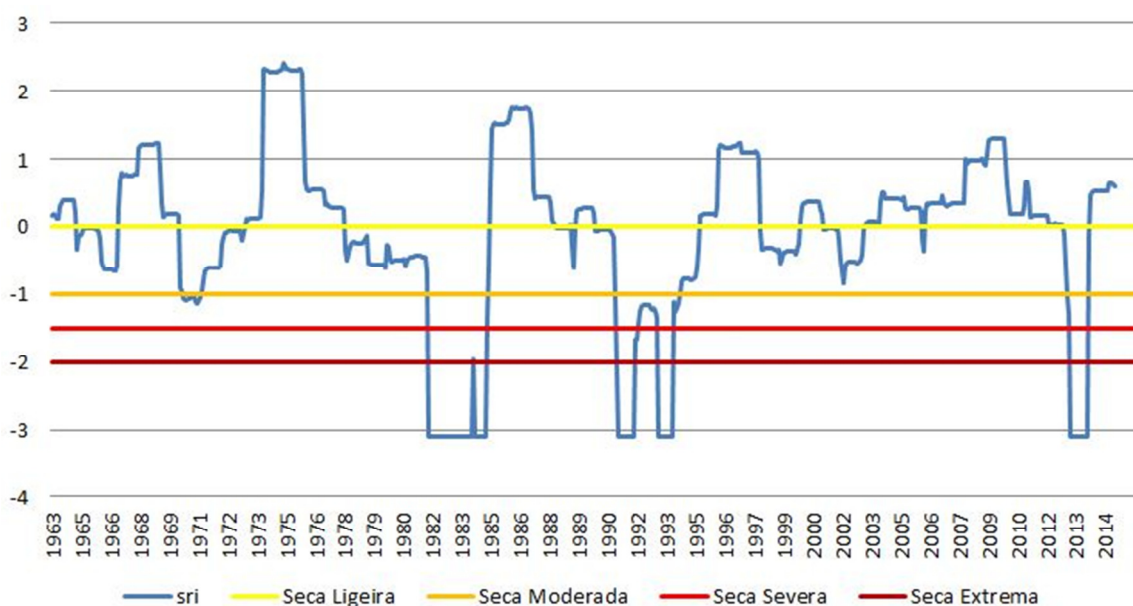
Analisando a Figura 18, podemos observar que em quase metade de toda a série histórica, o reservatório de Pilões indica pelo menos uma seca ligeira, com 45,07% dos índices abaixo do SRI igual a 0.

As informações desse gráfico são iniciadas em Dezembro de 1963, e a partir de Março de 1965 podemos observar uma seca ligeira, indicada por um SRI de -0,333 e se estendendo por 24 meses até Fevereiro de 1967. O primeiro caso

indicado de seca moderada acontece em Maio de 1970, mês que indicou um SRI de -1,066, que se estendeu por mais 9 meses, atingindo um pico de -1,13 e voltando a classificação de seca ligeira no mês de Março de 1971. A seca em questão teve continuidade até Março de 1973.

O primeiro caso de seca severa ocorreu em Maio de 1984, na seca apontada pelo SRI da escala de 24 meses como a mais severa da série histórica estudada. Essa mesma seca teve seu início em Março de 1978 como uma seca ligeira e foi se prolongando até se tornar uma seca extrema no mês de Março de 1982 com um índice SRI de -3,09. Esse foi o primeiro caso de seca extrema na escala de 24 meses e se prolongou ainda mais nesse estado até Dezembro de 1984 quando passou a ser uma seca moderada e em Fevereiro de 1985 a seca teve seu fim. Essa foi a seca mais prolongada nessa escala de tempo, durando 84 meses.

Figura 18 – SRI na escala de 24 meses para o reservatório de Lagoa do Arroz



Fonte: Autor

Ainda na Figura 18 podemos observar 3 secas de durações prolongadas, tendo elas as durações de 37, 84 e 61 meses. A mais prolongada dentre elas, a de 84 meses de duração, foi comentada no parágrafo anterior. A segunda mais

prolongada, de 61 meses, que teve início em Abril de 1990 e durou até Abril de 1995, apresentou picos de SRI -3,09 assim como a grande seca de 84 meses, apresentou também períodos de seca severa, moderada e ligeira.

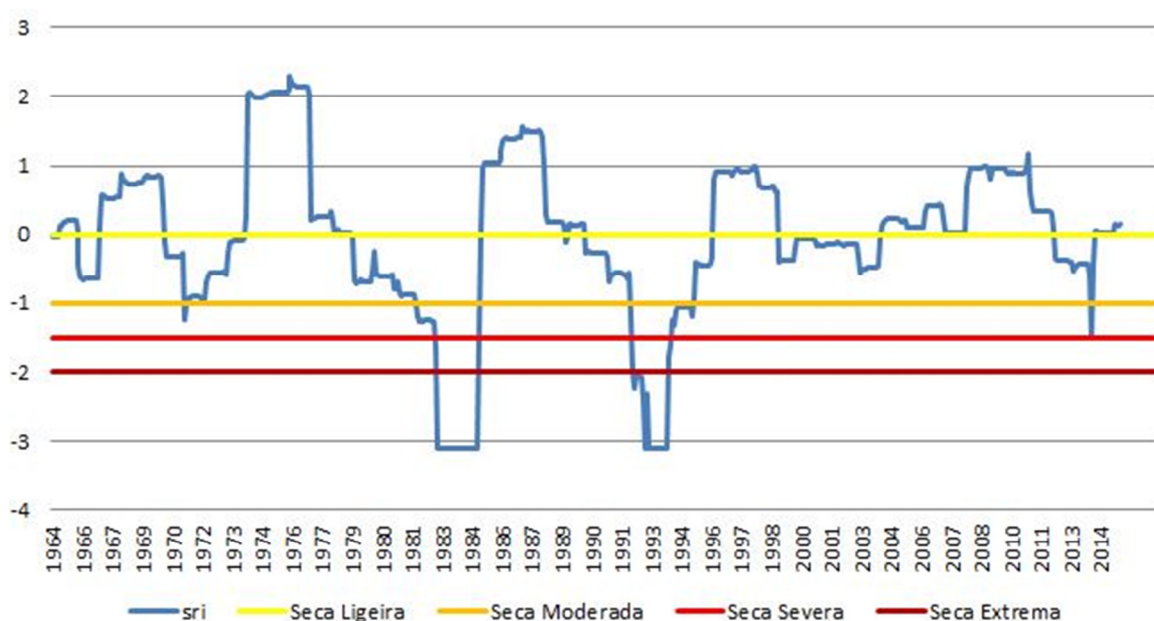
Podemos observar nesse gráfico que, em relação à escala de 12 meses, as secas aqui apresentam os mesmos picos negativos de SRI -3,09, entretanto, seus picos positivos são menos intensos.

Além dessas grandes secas já citadas, podemos observar também algumas secas ligeiras de aproximadamente 2 anos e alguns períodos curtos de secas ligeiras.

5.4.2.4 Escala de 36 meses

Analisando a Figura 19, podemos observar que em quase metade de toda a série histórica, o reservatório de Pilões indica pelo menos uma seca ligeira, com 48,27% dos índices abaixo do SRI igual a 0. Podemos observar também que essa escala é a que apresenta maior porcentagem de meses classificados com seca.

Figura 19 – SRI na escala de 36 meses para o reservatório de Lagoa do Arroz



Fonte: Autor

As informações desse gráfico são iniciadas em Dezembro de 1964, e já a partir de seu início podemos observar uma seca ligeira, indicada por um índice SRI de -0,023. O primeiro caso indicado de seca moderada acontece em Março de 1971, mês que indicou um SRI de -1,244, que se estendeu por mais um mês e logo voltou a classificação de seca ligeira. A seca em questão teve continuidade até Janeiro de 1974 e durou 46 meses.

O primeiro caso de seca severa ocorreu em Fevereiro de 1983 apresentando um índice SRI de -1,644. Logo em seguida, essa seca se intensificou para o primeiro caso de seca extrema na série estudada, no mês de Março de 1983, quando atingiu o seu pico com um SRI de -3,09, após isso, se estendeu por mais 22 meses de seca extrema mais um mês de seca moderada e então a seca chegou ao seu fim em Fevereiro de 1985.

Ainda na Figura 19 podemos observar 4 secas de durações prolongadas, tendo elas as durações de 46, 73, 73 e 59 meses. As duas secas mais prolongadas, com 73 meses de duração cada, apresentaram não só a mesma duração, mas uma intensidade bem parecida também. A primeira teve início em Fevereiro de 1979 e se estendeu até Fevereiro de 1985. Começou como uma seca ligeira com índice SRI de -0,059, em Março de 1982 se tornou uma seca moderada com SRI de -1,178, em Fevereiro de 1983 foi classificada como severa com SRI de -1,644 e em Março do mesmo ano virou uma seca extrema, continuando como extrema até o seu final.

A segunda seca de 73 meses teve início em Março de 1990, começou como uma seca ligeira de SRI -0,258, em Abril de 1992 virou uma seca moderada, logo em seguida, em Maio do mesmo ano se tornou uma seca Extrema de SRI -2,009, atingiu seu pico em Janeiro de 1993 com -3,09 de SRI. Em Fevereiro de 1994 passou a ser uma seca severa, em Abril de 1994 voltou a ser moderada, voltando a ser apenas uma seca ligeira em Abril de 1995 e chegando ao seu fim em Março de 1996.

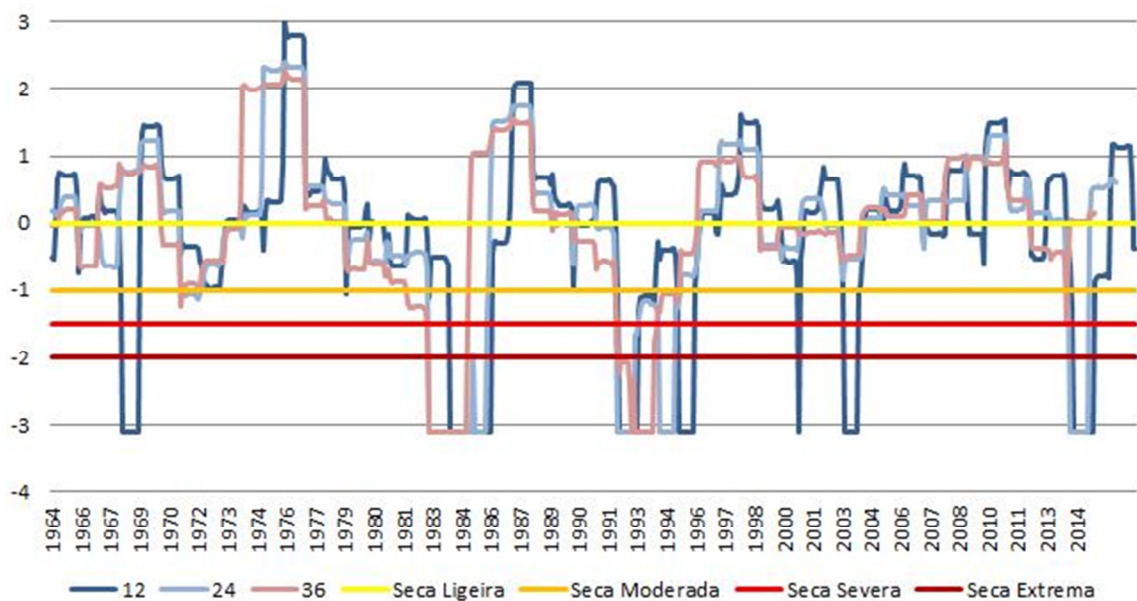
Podemos observar nesse gráfico que, em relação às outras escalas (12 e 24 meses), as secas aqui apresentam menores intensidades para valores positivos, porém seus picos negativos apresentam mesma intensidade, chegando aos -3,09 de SRI.

Além dessas grandes secas já citadas, podemos observar também algumas secas menores em duração e intensidade, entre elas, temos uma de quase 2 anos de classificação ligeira, que teve início em Maio de 2012 e se encerrou em Março de 2014.

5.4.2.5 Escalas de 12, 24 e 36 meses

Na Figura 20 abaixo, apresentamos um gráfico com as curvas dos índices calculados nas 3 diferentes escalas sobrepostos.

Figura 20 – Curvas dos índices SRI para as escalas de 12, 24 e 36 meses do reservatório de Lagoa do Arroz



Fonte: Autor

Observando o gráfico da Figura 20, podemos perceber curvas semelhantes para as 3 escalas estudadas, porém, podemos perceber também, que a escala de 12 meses apresenta picos com intensidades maiores que as outras escalas para os valores positivos, por outro lado, vemos que a escala de 36 meses apresentam picos com intensidades menores que as outras escalas. Esse fato se dá pelo fato de que

escalas de tempo menores apresentam maior sensibilidade às variações nos dados de entrada no roteiro de cálculo de seu índice, já que se utilizam de menos valores.

Podemos perceber por outro lado, que as 3 escalas apresentam o mesmo pico negativo para os valores de SRI, que no caso seria de -3,09. Isso se dê talvez pelo fato de haver um limite para os valores de SRI calculados, não podendo então, ser ultrapassado esse valor.

5.5 Validação do SRI na escala anual

Através da Tabela 6, podemos analisar os anos de seca nos municípios presentes na bacia do Rio do Peixe e comparar com os valores SRI presentes nos gráficos da Figura 21, do reservatório de Pilões.

Tabela 6 – Relação das secas nos municípios presentes na Bacia do Rio do Peixe

Município / Ano	1993	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2010
Aparecida			x		x				x		
Bernardino Batista			x	x	x	x	x	x	x		x
Bom Jesus	x		x		x				x		x
Cachoeira dos Índios	x		x		x	x			x		x
Cajazeiras			x	x		x	x		x		x
Lastro			x	x		x	x	x	x		
Poço Dantas			x	x	x	x	x	x	x	x	x
Poço de José de moura			x					x			x
Pombal		x	x	x	x		x	x	x		
Santa Helena	x		x	x	x				x		x
Santarém			x	x	x	x	x	x	x		x
Sao Francisco			x				x		x		x
São João do Rio do Peixe	x		x		x		x		x		x
Sousa			x				x		x		
Triunfo	x		x	x			x	x	x		x
Uiraúna	x	x		x	x	x	x	x	x		x
Vieirópolis			x				x		x		
Total	6	2	16	9	10	7	12	8	16	1	12

Fonte: Adaptado do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (UFSC, 2011)

O primeiro ano apresentado na Tabela 6, como um ano de seca, é o ano de 1993. Podemos observar na Figura 21 que o ano de 1993 está classificado como um período de seca, então podemos dizer que para esse ano o SRI apontou corretamente a seca.

Podemos observar na Figura 21 a possível seca que ocorre no final da década de 90. Os índices das vazões afluentes ao reservatório de Pilões apontam seca entre 1996 até o final de 1999, porém, não foi apontado no Atlas Brasileiro de Desastres a ocorrência de secas nesse período. Um provável motivo para esse caso é que os municípios não alertaram secas nesse período pelo fato dos reservatórios estarem cheios.

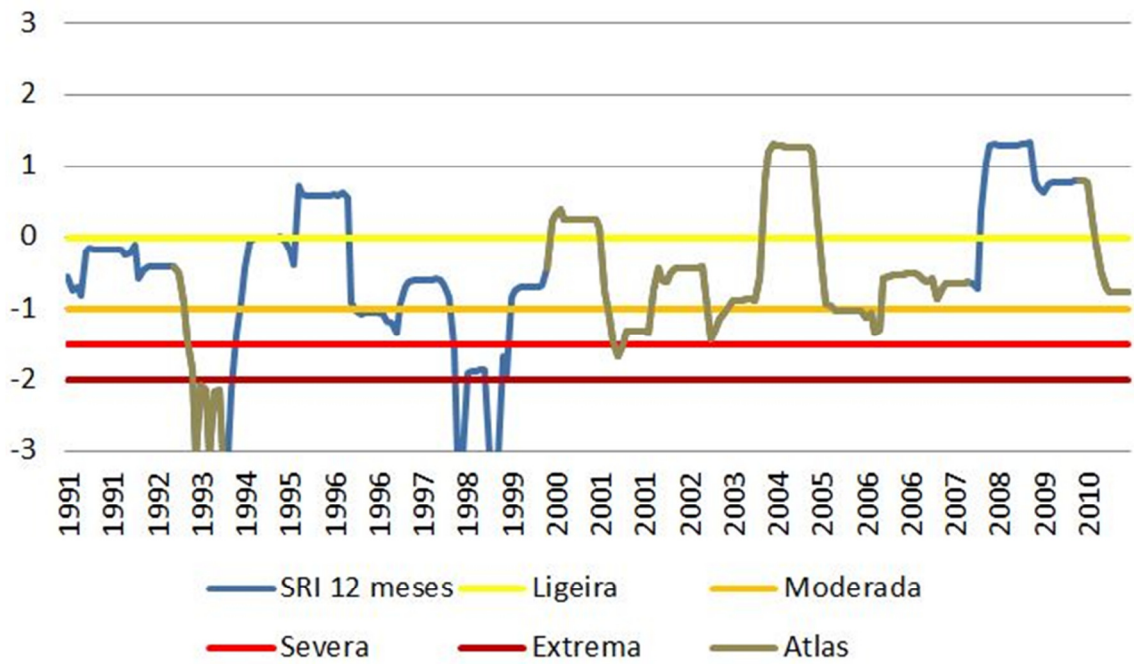
Analisando a Figura 21, podemos ver que o reservatório de Pilões aponta seca ao longo do período de 2001 ao final de 2007, com exceção do ano de 2004. Comparando essas informações com as obtidas através do Atlas, podemos observar algumas semelhanças já que existem várias ocorrências de secas ao longo desse período de 2001 até 2007, sendo o ano de 2004 o ano com menor ocorrência de seca, tendo sido apontada a seca apenas no município de Uiraúna. Além disso, podemos observar que no ano de 2007 foi acusada a seca em praticamente todos os municípios, com exceção do Poço de José de Moura.

Analisando o ano de 2010 na Figura 21, observamos que ele é indicado pelo SRI como um ano de seca. De acordo com o Atlas Brasileiros de Desastres, essa seca ocorreu em 12 dos 17 municípios paraibanos presentes na bacia.

Dos anos apontados com seca pelo Atlas, podemos observar que os anos de 2001 e 2007 foram os que tiveram maior número de ocorrência entre os municípios, comparando com a Figura 21, podemos observar que o índice SRI apontou seca para os 2 anos, tendo o ano de 2001 chegando a classificação de seca severa e o ano de 2007 classificado como um ano de seca ligeira.

Dos anos apontados com seca pelo Atlas, podemos observar que o ano de 2008 foi o que teve menor número de ocorrência entre os municípios, tendo ocorrido, segundo o Atlas, apenas no município de Poço Dantas. Analisando a Figura 21, podemos observar que o ano de 2008 não foi indicado pelo SRI como um ano de seca.

Figura 21 – SRI na escala de 12 meses do reservatório de Pilões



Fonte: Autor

Na Tabela 7 e Tabela 8, os valores dos índices SRI na escala de 12 meses para o reservatório de Pilões no intervalo validado nesse tópico (1991-2010).

Tabela 7 – Índices SRI na escala de 12 meses para o reservatório de Pilões (1991-2000)

SRI - PILÕES - 12 meses (1991-2000)									
jan/91	-0.5472	jan/93	-0.4173	jan/95	0.0075	jan/97	-1.1590	jan/99	-3.0902
fev/91	-0.7300	fev/93	-0.5006	fev/95	-0.0571	fev/97	-1.1804	fev/99	-3.0902
mar/91	-0.6921	mar/93	-0.9222	mar/95	-0.2034	mar/97	-1.3403	mar/99	-1.6623
abr/91	-0.8169	abr/93	-1.4425	abr/95	-0.3949	abr/97	-0.9196	abr/99	-1.9156
mai/91	-0.2009	mai/93	-1.8517	mai/95	0.7203	mai/97	-0.6893	mai/99	-0.8309
jun/91	-0.1393	jun/93	-3.0902	jun/95	0.5970	jun/97	-0.6205	jun/99	-0.7331
jul/91	-0.1840	jul/93	-2.0706	jul/95	0.5758	jul/97	-0.5916	jul/99	-0.6946
ago/91	-0.1787	ago/93	-2.1441	ago/95	0.5750	ago/97	-0.5904	ago/99	-0.6922
set/91	-0.1788	set/93	-3.0902	set/95	0.5752	set/97	-0.5891	set/99	-0.6910
out/91	-0.1783	out/93	-2.1565	out/95	0.5748	out/97	-0.5879	out/99	-0.6893
nov/91	-0.1777	nov/93	-2.1418	nov/95	0.5749	nov/97	-0.5874	nov/99	-0.6886
dez/91	-0.1671	dez/93	-3.0902	dez/95	0.5871	dez/97	-0.5815	dez/99	-0.6809
jan/92	-0.1800	jan/94	-3.0902	jan/96	0.6001	jan/98	-0.6089	jan/00	-0.4279
fev/92	-0.2325	fev/94	-2.1424	fev/96	0.5922	fev/98	-0.6698	fev/00	0.2317
mar/92	-0.2134	mar/94	-1.3640	mar/96	0.6315	mar/98	-0.8363	mar/00	0.3254
abr/92	-0.1128	abr/94	-0.8471	abr/96	0.5689	abr/98	-1.5486	abr/00	0.4071
mai/92	-0.5686	mai/94	-0.4222	mai/96	-0.9176	mai/98	-3.0902	mai/00	0.2419
jun/92	-0.4548	jun/94	-0.0509	jun/96	-1.0141	jun/98	-3.0902	jun/00	0.2568
jul/92	-0.4172	jul/94	-0.0100	jul/96	-1.0675	jul/98	-1.9007	jul/00	0.2461
ago/92	-0.4178	ago/94	-0.0083	ago/96	-1.0596	ago/98	-1.8763	ago/00	0.2472
set/92	-0.4143	set/94	-0.0074	set/96	-1.0585	set/98	-1.8819	set/00	0.2479
out/92	-0.4140	out/94	-0.0073	out/96	-1.0547	out/98	-1.8486	out/00	0.2478
nov/92	-0.4141	nov/94	-0.0071	nov/96	-1.0541	nov/98	-1.8449	nov/00	0.2479
dez/92	-0.4057	dez/94	0.0045	dez/96	-1.0644	dez/98	-3.0902	dez/00	0.2584
	Seca Ligeira		Seca Moderada		Seca Severa		Seca Extrema		

Fonte: Autor

Tabela 8 – Índices SRI na escala de 12 meses para o reservatório de Pilões (2001-2010)

SRI - PILÕES - 12 meses (2001-2010)									
jan/01	0.1291	jan/03	-0.8127	jan/05	1.2111	jan/07	-0.5233	jan/09	1.3256
fev/01	-0.7431	fev/03	-1.4228	fev/05	0.3090	fev/07	-0.6072	fev/09	1.3479
mar/01	-1.1103	mar/03	-1.2547	mar/05	-0.4863	mar/07	-0.6106	mar/09	0.8052
abr/01	-1.4505	abr/03	-1.1414	abr/05	-0.9320	abr/07	-0.5722	abr/09	0.6986
mai/01	-1.6747	mai/03	-1.0471	mai/05	-0.9646	mai/07	-0.8536	mai/09	0.6276
jun/01	-1.4911	jun/03	-0.9540	jun/05	-1.0277	jun/07	-0.7102	jun/09	0.7542
jul/01	-1.3103	jul/03	-0.8772	jul/05	-1.0269	jul/07	-0.6377	jul/09	0.7705
ago/01	-1.3074	ago/03	-0.8737	ago/05	-1.0322	ago/07	-0.6352	ago/09	0.7738
set/01	-1.3076	set/03	-0.8725	set/05	-1.0310	set/07	-0.6359	set/09	0.7739
out/01	-1.3011	out/03	-0.8700	out/05	-1.0275	out/07	-0.6357	out/09	0.7734
nov/01	-1.2999	nov/03	-0.8693	nov/05	-1.0266	nov/07	-0.6351	nov/09	0.7733
dez/01	-1.3297	dez/03	-0.8710	dez/05	-1.0357	dez/07	-0.6303	dez/09	0.7864
jan/02	-0.7385	jan/04	-0.5468	jan/06	-1.1180	jan/08	-0.6555	jan/10	0.8027
fev/02	-0.4359	fev/04	0.7978	fev/06	-1.0593	fev/08	-0.7160	fev/10	0.8034
mar/02	-0.5900	mar/04	1.2069	mar/06	-1.3354	mar/08	0.3641	mar/10	0.7855
abr/02	-0.6278	abr/04	1.3170	abr/06	-1.2829	abr/08	1.0548	abr/10	0.2373
mai/02	-0.5130	mai/04	1.2879	mai/06	-0.5857	mai/08	1.2861	mai/10	-0.0833
jun/02	-0.4434	jun/04	1.2885	jun/06	-0.5427	jun/08	1.3075	jun/10	-0.4765
jul/02	-0.4279	jul/04	1.2673	jul/06	-0.5208	jul/08	1.2962	jul/10	-0.6939
ago/02	-0.4261	ago/04	1.2677	ago/06	-0.5188	ago/08	1.3063	ago/10	-0.7582
set/02	-0.4249	set/04	1.2672	set/06	-0.5159	set/08	1.3058	set/10	-0.7569
out/02	-0.4242	out/04	1.2666	out/06	-0.5138	out/08	1.3051	out/10	-0.7532
nov/02	-0.4237	nov/04	1.2663	nov/06	-0.5133	nov/08	1.3049	nov/10	-0.7525
dez/02	-0.4157	dez/04	1.2767	dez/06	-0.5062	dez/08	1.3151	dez/10	-0.7533
	Seca Ligeira		Seca Moderada		Seca Severa		Seca Extrema		

Fonte: Autor

6 CONCLUSÃO

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

A análise dos dados pluviométricos indicou uma média de precipitação anual de 899,56 mm de chuva extremamente mal distribuídos ao longo do ano, que é uma das características do semiárido nordestino, concentrando-se no primeiro semestre do ano, especialmente nos meses de fevereiro, março e abril. Consequentemente, o escoamento também só se dá nesses meses, como foi mostrado na análise das vazões do posto Antenor Navarro.

Feito o cálculo do SRI com base nas vazões sintéticas afluentes dos reservatórios de Pilões e Lagoa do Arroz, foram categorizadas as secas na bacia do Rio do Peixe, bacia na qual estão inseridos. Puderam-se observar secas de diferentes durações e intensidades ao longo da série histórica, período de apenas 1 mês classificado como seca, como também, períodos de até 12 anos, variando de secas ligeiras até secas extremas.

Feita a análise de validação do SRI com o auxílio do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, foi indicado que nas duas décadas comparadas, houve algumas discrepâncias entre os valores SRI e as informações retiradas do Atlas, devido ao fato de que o SRI é apenas um indicador, podendo em alguns casos indicar algo fora da realidade, já que existem outros fatores que influenciam para o acontecimento da seca além da precipitação e da vazão afluente de um reservatório,

porém, a maior parte das informações retiradas a partir do índice SRI apresentado aqui, condiziam com o que de fato ocorreu na bacia nas duas décadas analisadas.

Para um estudo bem feito é necessário uma grande quantidade de informações e esse foi um problema nesse estudo, por causa de uma grande quantidade de dados mensais faltosos, dados esses da série histórica de vazão observada do posto Antenor Navarro, ficou impossibilitada a realização do roteiro de cálculo do SRI.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

Agência Nacional de Águas (Brasil). **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piencó-Piranhas-Açu.** Relatório Técnico. Brasília, 2016.

ANTUNES, Luiza. **Os 10 Maiores períodos de seca no Brasil.** 2014. Disponível em: <<http://super.abril.com.br/blogs/superlistas/os-10-maiores-periodos-de-seca-no-brasil/>>. Acesso em Setembro de 2016.

BYUN, H. R.; WILHITE, D. A. Objective quantification of drought severity and duration. **Journal of Climate**, Boston, v. 12, n. 9. Setembro de 1999.

Estiagem e seca. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br>>. Acesso em Setembro de 2016.

FERNANDES, Diego Simão; B.HEINEMANN, Alexandre; L. da PAZ, Rosidalva; O. AMORIM, André; S. CARDOSO, Aparecida. **Índices para a Quantificação da Seca.** Embrapa Arroz e Feijão. Goiás. 2009.

FREIRE, Cleuda Custódio; OMENA, Sylvia Paes Farias. **Princípios de hidrologia ambiental.** [S.L.]: Virtual Book, 2005. Disponível em: <http://capacitacao.ana.gov.br/Lists/Editais_Anexos/Attachments/23/03.PHidrologiaAmb-GRH-220909.pdf>. Acesso em: Novembro de 2016.

LOPES, J.E.G., BRAGA, B.P.F. E CONEJO, J.G.L. **Simulação Hidrológica: Aplicações de um Modelo Simplificado,** In: Anais do III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v.2, 42-62, Fortaleza. 1981.

MARTINS, Luiz; ASSIS, Francisco; SILVEIRA, Cleiton; STUDART, Rogério; CABRAL, Samuellson. **Avaliação da severidade da seca no reservatório de Caxitoré com base no índice de escoamento normalizado, no índice de reservatório e no volume estocado.** XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal, Rio Grande do Norte. 2014.

- MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to the time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., 1993, Anhaeim, CA. **Proceedings**. Boston: American Meteorological Soceity, 1993.
- MENDES, Juliana; MAIA, Rodrigo; VIVAS, Eduardo. **Monitorização de secas na margem esquerda do Guadiana**. Revista Recursos Hídricos, Vol.32, Nº2, Novembro de 2011.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Hidrogeologia da bacia sedimentar do rio do peixe**. Julho 2005.
- MOLINA, P. A.; LIMA, L. C. T. M. Estudo de secas agrícolas no Nordeste Brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13. 1999, Belo Horizonte. **Água em quantidade e qualidade: o desafio do próximo milênio: anais**. Belo Horizonte: ABHR, 1999.
- PALMER, W. C. **Meteorological Drought**. U.S Department of Commerce. Washington, D.C. Fevereiro de 1965
- P.R. MARTINS, Eduardo Sávio; DE NYS, Erwin; MOLEJÓN, Carmen; BIAZETO, Bruno; VIEIRA SILVA, Robson Franklin; ENGLE, Nathan. **Monitor de Secas do Nordeste, em busca de um novo paradigma para a gestão de secas**. Banco Mundial. 1ª Edição. Brasília. 2015.
- SHUKLA, S., WOOD, A.W. **Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought**. Geophysical Research Letters. Vol. 35, L02405. 2008.
- T.G. GALVÃO, Manoel Júlio; et al. **Hidrogeologia da Bacia sedimentar do Rio do Peixe-PB**. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Novembro de 2008.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Paraíba**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2011.
- VIVAS, Eduardo; MAIA, Rodrigo. **Índice de avaliação de efeitos de seca. Uma nova abordagem**. Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente. 2009.
- WILHITE, D. A.; GLANTZ, M.H. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. In: WILHITE, D. A.; EASTERLING, W. E. (Ed.). **Planning for drought: toward a reduction of societal vulnerability**. Boulder: Westview Press, 1987.