

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

JOSÉ DENER BITU COSTA

**RELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE SECA E OS VOLUMES
ARMAZENADOS NO RESERVATÓRIO DO MUNICÍPIO DE VÁRZEA
ALEGRE - CE**

Delmiro Gouveia – AL

2018

JOSÉ DENER BITU COSTA

**RELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE SECA E OS VOLUMES
ARMAZENADOS NO RESERVATÓRIO DO MUNICÍPIO DE VÁRZEA
ALEGRE - CE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Alagoas – UFAL, *Campus*
do Sertão, como pré-requisito para a obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Alberto da Silva
Pereira.

Delmiro Gouveia - AL

2018

JOSÉ DENER BITU COSTA

**RELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE SECA E OS VOLUMES
ARMAZENADOS NO RESERVATÓRIO DO MUNICÍPIO DE VÁRZEA
ALEGRE - CE**

Trabalho de conclusão de curso submetida
a banca examinadora do Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal de Alagoas – UFAL,
Campus do Sertão, e aprovado dia ____ de ____ de
_____.

Orientador: Prof. Mestre Thiago Alberto da
Silva Pereira.

**Catálogo na fonte
Universidade Federal de
Alagoas Biblioteca do
Campus Sertão Sede Delmiro
Gouveia**

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza – CRB-
4/2209

C837r Costa, José Dener Bitu

Relação entre os índices de seca e os volumes armazenados no reservatório do município de Várzea Alegre - CE / José Dener Bitu Costa. - 2018.
61 f. : il.

Orientação: Prof. Dr. Thiago Alberto da Silva Pereira.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2018.

1. Reservatório de água. 2. Índices pluviométricos. 3. Seca. 4. Controle e Prevenção. 5. Várzea Alegre - Ceará. I. Título.

CDU: 628.13(813.1)

Folha de Aprovação

JOSÉ DENER BITU COSTA

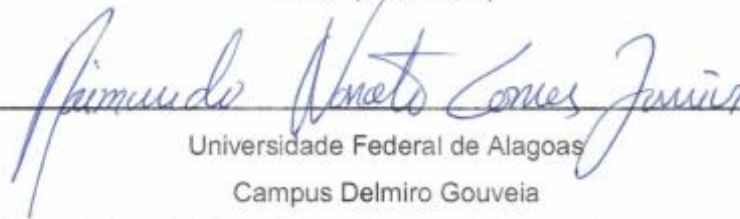
(Relação entre os índices de seca e os volumes armazenados no reservatório do município de Várzea Alegre – CE / trabalho de conclusão de curso em engenharia civil, da Universidade Federal de Alagoas, na forma normalizada e de uso obrigatório).

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao corpo docente do curso de
Engenharia Civil da Universidade Federal de
Alagoas e aprovado em 24 de Outubro de
2018.

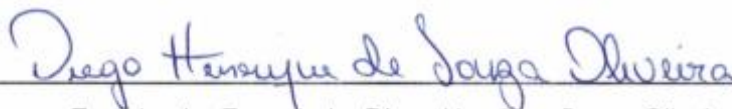
Banca Examinadora:



Professor Doutor Thiago Alberto da Silva Pereira.
UFAL (Orientador)



Universidade Federal de Alagoas
Campus Delmiro Gouveia
Examinador Professor Doutor Raimundo Nonato Gomes Júnior



Examinador Engenheiro Diego Henrique Souza Oliveira

RESUMO

Quando se fala em Nordeste brasileiro, comumente se faz associação com o fenômeno da seca, embora essa não seja uma característica inerente apenas a essa região. Contudo, essa associação é válida devido a grande recorrência com que esse fenômeno climático atingem o Nordeste. O estado do Ceará, mais precisamente a cidade de Várzea Alegre, inserida na região já citada vem apresentando um quadro de escassez hídrica desde o ano 2012. Políticas públicas são adotadas a fim de atenuar os efeitos da seca, mas são, em sua grande maioria, ações emergenciais, planos a longo prazo ainda são minoria nas ações nesse âmbito. Vê-se então a necessidade de se adotar ações que visem auxiliary na prevenção às secas, possibilitando às autoridades terem informações e ferramentas capazes de auxiliar na redução dos impactos causados pelos déficits hídricos enfrentados pela região. Antes de qualquer ação de prevenção ou mitigação a ser tomada, deve-se entender o fenômeno. Primeiro deve-se aceitar que não existe uma definição única para seca, (várias definições são encontradas na literatura), o que se percebe em comum nessas definições é que todas fazem referência à seca ser originada de déficits de precipitação pluvial, o que vai dar luz a variação nos conceitos (definições) é quanto tempo esse déficit vai durar. Entendendo que a escala de tempo é um fator de relevância na caracterização do fenômeno natural da seca, a ferramenta aqui proposta para análise é o SPI (Índice de Precipitação Padronizado), que teve seus resultados analisados para diversas escalas de tempo (1, 3, 6 e 12 meses). Os resultados foram avaliados através de coeficientes e testes que medem sua consistência e feitas as devidas interpretações. O SPI demonstrou ser uma ferramenta apropriada na quantificação dos eventos de seca nas mais variadas escalas de tempo, mostrando que pode ser utilizado pelo poder público de Várzea Alegre na concepção de planos que visem mitigar os efeitos da seca.

Palavras Chave: Seca, Ações, Prevenção, Planos, SPI.

ABSTRACT

When speaking about Northeast Brazil, it is commonly associated with the drought phenomenon, although this is not a characteristic inherent only to this region. However, this association is valid due to the great recurrence with which this climatic phenomenon reach the Northeast. The state of Ceará, more precisely the city of Várzea Alegre, inserted in the region already mentioned has been presenting a picture of water scarcity since the year 2012. Public policies are adopted to mitigate the effects of the drought, but are, for the most part, emergency actions, long-term plans are still a minority in actions in this area. The need to adopt actions to prevent and assist droughts is seen, enabling the authorities to have information and tools capable of assisting in reducing the impacts caused by the water deficits faced by the region. Before any action of prevention or mitigation to be taken, one must understand the phenomenon. First, it must be accepted that there is no single definition for drought, (several definitions are found in the literature), what is commonly perceived in these definitions is that all references to drought originate from rainfall deficits, which will light the variation in the concepts (definitions) is how long this deficit will last. Understanding that the time scale is a factor of relevance in the characterization of the natural phenomenon of the drought, the tool proposed here for analysis is the SPI (Standardized Precipitation Index), whose results were analyzed for several time scales (1, 3, 6 and 12 months). The results were evaluated through coefficients and tests that measure their consistency and made the proper interpretations. SPI has been shown to be an appropriate tool for the quantification of drought events in the most varied time scales, showing that it can be used by the public authority of Várzea Alegre in the design of plans to mitigate the effects of drought.

Keywords: Dry, Action, Prevention, PInas, SPI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Polígono das Secas;

Figura 2 - Mapa de localização do município de Várzea Alegre;

Figura 3 - Mapa hidrológico de Várzea Alegre;

Figura 4 - Dados de precipitação do posto 639034;

Figura 5 - Postos para preenchimento de falhas e reservatório Olho D'água;

Figura 6 - Análise de consistência do posto 609034 e média dos postos 639002 e 639044;

Figura 7 - Valores negativos de SPI para as escalas de 1, 3, 6 e 12 meses e classificação da severidade da seca;

Figura 8 - Dispersão entre volumes e valores de SPI do reservatório Olho D'água.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices de Seca;

Tabela 2 - Dados do reservatório;

Tabela 3 - Identificação e localização das estações meteorológicas;

Tabela 4 - Classificação dos valores de SPI;

Tabela 5 – Média e precipitação dos postos;

Tabela 6 - Coeficiente de Pearson entre SPI e Volumes do reservatório Olho D'água;

Tabela 7 - Coeficiente de Spearman entre SPI e Volumes do reservatório Olho D'água.

LISTA DE ABREVIações

ANA – Agência Nacional de Águas;

Cagece - Companhia de Água e Esgoto do Ceará;

COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos;

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;

Funceme – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos;

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégica Econômica do Ceará;

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;

PDSI – Índice de gravidade de seca de Palmer;

PIB – Produto Interno Bruto;

RHN – Rede Hidrometeorológica Nacional;

SPI – Índice de Precipitação Padronizada;

Sudene – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste;

Unicef - Fundo das Nações Unidas para a Infância;

WMO – Organização Meteorológica Mundial.

SUMÁRIO

1	Introdução	12
2	Objetivos	14
	2.1 Geral	14
	2.2 Específicos	14
3	Referencial Teórico	15
	3.1 Fenômenos das Secas	15
	3.2 Índices de Secas	22
4	Área de Estudo	27
5	Metodologia utilizada	32
	5.1 Coleta e análise dos dados	32
	5.2 Calculo do SPI	355
	5.3 Cálculo das Correlações	388
6	Resultados e discussão	422
	6.1 Preenchimento de falhas e Análise de consistência	422
	6.2 Análise dos Eventos de Seca	433
	6.3 Correlações	44
7	Conclusão	49
8	Bibliografia	50
	Anexo 1	57
	Anexo 2	57
	Anexo 3	58
	Anexo 4	58
	Anexo 5	58
	Anexo 6	61
	Anexo 7	61

1. INTRODUÇÃO

A seca é um dos principais limitantes que afetam a segurança alimentar e a sobrevivência de mais de dois bilhões de pessoas, que ocupam 41% das áreas do planeta. O fenômeno pode ser entendido como um déficit na precipitação por um período de tempo extenso, resultando na escassez de água. Palmer (1968) também segue essa linha ao definir seca como sendo um fenômeno resultante das baixas precipitações por períodos prolongados, da ordem de meses ou até anos, durante o qual a precipitação diminui consideravelmente em relação ao valor climatologicamente esperado ou apropriado. Esse fenômeno merece uma atenção especial, uma vez que o mesmo pode afetar ecossistemas, setores econômicos e sociais, entre outras coisas e assim causar prejuízos.

Embora o país apresente uma integração da gestão de recursos hídricos, através da Lei 9433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, ainda apresenta uma política falha na gestão de secas. As ações adotadas para o combate à seca no Brasil são relacionadas, em grande parte, a programas emergenciais, com soluções reativas que tem como características a falta de ferramentas de monitoramento, prevenção e principalmente ações mais eficientes na preparação para época de seca, resultando em grandes impactos nos diversos setores, principalmente o agrícola. Uma região conhecida por enfrentar frequentemente esse evento (seca) é o semiárido nordestino brasileiro.

A importância em se estudar sobre o fenômeno das secas reside no fato de se poder identificar e avaliar quantitativa e qualitativamente os impactos, danos ou desastres que podem ser causados por déficits na precipitação. É possível aferir que para uma boa tomada de decisões que visem diminuir, mitigar os impactos, se faz necessária uma boa caracterização do evento, de acordo com Santos (2011).

Reconhecendo a relevância e a importância em se avaliar e monitorar o fenômeno da seca, em se tratando ainda de um período que já perdura desde 2012 um quadro de precipitações abaixo da média no estado do Ceará (quadro esse não restrito apenas ao Ceará) fica evidente a necessidade de acompanhar esses períodos de baixa disponibilidade hídrica.

Em busca de analisar os eventos de secas no município, foi utilizado o índice de secas SPI - Índice de Precipitação Padronizada (*Standardized Precipitation Index*) (*SPI*), desenvolvido por McKee *et al.* (1993). Para isso, foram feitas interpretações de SPI para 1, 3, 6 e 12 meses, que são escalas diretamente relacionadas com o tempo necessário para que os efeitos da seca sejam sentidos sobre os diferentes setores de atividades e sobre os recursos hídricos em geral.

A intenção do presente trabalho é analisar a ocorrência de secas no município de Várzea Alegre-CE, procurando relacionar os índices baseados na precipitação e os volumes dos reservatórios do já citado município, com o intuito de poder auxiliar na previsão de eventos extremos de estiagem, auxiliando em políticas mitigadoras para tais ocorrências.

2. OBJETIVOS

Geral

Procurar relações entre os índices baseados na precipitação e os volumes armazenados nos reservatórios do município de Várzea Alegre de modo que possa auxiliar na gestão de eventos extremos de estiagens.

Específicos

- Analisar a ocorrência e frequência de secas no município;
- Calcular os volumes médios mensais armazenados no reservatório Olho D'água.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Fenômeno das Secas

Não é possível excluir um fenômeno natural, mas conviver com ele é possível. Em todo o Planeta, entre 1967 e 1992, as secas afetaram 50% do total de 2,8 bilhões de pessoas que sofreram todos os tipos de catástrofes naturais. Por causa de impactos diretos e indiretos 1,3 milhões de vidas humanas foram perdidas, de um total de 3,5 milhões de pessoas mortas por catástrofes Guedes (2012).

A junção de vários fatores, sejam eles elementos externos à região, como por exemplo, o processo de circulação dos ventos que interagem com as correntes marinhas, relacionando-se com o movimento atmosférico tendo por reflexo o impedimento da concepção de precipitação em determinados locais, sejam eles internos, como as características de topografia, vegetação de pouco porte e uma alta refletividade do solo geram por resultado a seca. Destaca-se ainda, mais especificamente relacionado ao Nordeste brasileiro, o fenômeno *El Niño* que consiste no aumento da temperatura das águas do Oceano Pacífico, ao largo do litoral do Peru e do Equador, com prejuízos para setores da economia (perdas na agricultura de sequeiro, na pecuária, etc.), oferta de energia elétrica, bem como comprometimento do abastecimento de água para a sociedade e os animais, de acordo com Silva *et al* (2013).

Além de ser um problema climático, com duração limitada (não se deve confundir com aridez, uma característica permanente, que relaciona a precipitação pluvial com a evaporação), que dependem dos sistemas meteorológicos que atuam na região, do relevo e dos fenômenos climáticos de grande escala que influenciam as variáveis que definem o comportamento e a circulação da atmosfera, afirma Guedes (2012), a seca também gera problemas de cunho econômico e social. Segundo Dias (2005), se o evento não for encarado como um conjunto de fatores que atuam consonância, relacionando as vertentes ambiental, política e econômica, a seca e as suas consequências não poderão ser corretamente compreendidas e isso acabará por afetar qualquer medida ou projeto governamental que vise a combatê-la. De maneira geral, corresponde à falência no regime de precipitação causando perturbação no abastecimento do ecossistema agrícola e natural, bem como em outras atividades humanas. Ainda, segundo o mesmo autor, foi somente durante os

anos 60 que diversos estudiosos começaram a desenvolver um novo enfoque sobre a questão da seca, abordando esses temas com integração. Esse novo enfoque procura perceber a seca não apenas como um problema climático ou ambiental, mas também como um problema social.

Mesmo com todos esses conceitos atribuídos ao fenômeno, ainda assim, não existe, segundo Mckee et al. (1993) uma definição de seca válida para qualquer região, em qualquer época e ainda adequada a todas as ramificações das sociedades humanas. O National Drought Mitigation Center classifica a seca em meteorológica, hidrológica, agrícola e socioeconômica.

A meteorológica é caracterizada pela falta de água induzida pelo desequilíbrio entre a precipitação e a evaporação. 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.

A seca agrícola está associada à falta de água causada pelo desequilíbrio entre a água disponível no solo, a necessidade das culturas e a transpiração das plantas, afetando seu desenvolvimento. Este tipo de seca está relacionado com as características das culturas, da vegetação natural, ou seja, dos sistemas agrícolas em geral.

A seca hidrológica está 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 da 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.

A seca socioeconômica é 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. Essa modalidade é evidenciada quando a deficiência no suprimento de água começa a afetar a produção de bens ofertados para a população. Ela é, portanto, associada à questão monetária e dependente dos tipos de uso da água, da densidade de usuários e da sua distribuição.

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 estimar a possibilidade de ocorrência de uma seca, ou o seu grau de severidade, devem conhecer-se as condições climáticas. Neste contexto para uma 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. Embora a classificação de secas esteja aqui limitada a esses quatro tipos, pode-se dizer que o que as torna semelhantes são as baixas disponibilidades hídricas, que resulta na falta de água para o desenvolvimento de atividades ou para a sobrevivência dos seres vivos de acordo com Fernandes (2009). Em geral, pode-se verificar que o ciclo da seca tem início pela seca meteorológica, a qual desencadeia uma série de eventos que resultam em uma seca agrícola, sendo verificada uma redução da umidade até um ponto que comece a prejudicar o desenvolvimento dos cultivos e, em seguida, após períodos mais longos de déficit de precipitação pluvial, ocorre uma seca hidrológica com impactos na afluência para reservatórios e lagos, ocasionando pela diminuição da infiltração e do escoamento. E por fim, vinculada aos outros três tipos de seca, a socioeconômica, quando a deficiência de água começa a afetar a vida humana. Destaca-se ainda que, quando a condição de seca meteorológica persistir, pode chegar um momento em que as secas, agrícolas, hidrológicas e socioeconômicas ocorram simultaneamente, produzindo efeitos associados e, conseqüentemente, mais graves para a sociedade, segundo WMO - Organização Meteorológica Mundial (2006).

Os efeitos de um duradouro período de seca em uma determinada região, vão depender, dentre outros fatores, das condições socioeconômicas e culturais da população atingida. Segundo Canamary (2015), os efeitos da seca são mais severos quanto à medida que a comunidade se apresenta mais frágil, seja do ponto de vista econômico ou social. Isso implica que mesmo que não se observe prejuízos muito elevados no contexto econômico mais geral de um estado ou de uma de uma região, a ocorrência de uma seca acaba incidindo severamente na parte mais vulnerável da sociedade.

Freitas (2008) diz que grande parte de nosso planeta pertence à denominada área de risco à seca. São regiões onde a quantidade de volume precipitado aproxima-se do limite permitido à prática agrícola, áreas nas quais a prática da agricultura se torna demasiadamente prejudicada pelas condições climáticas. Como exemplos, podemos citar o Sahel, o Nordeste do Brasil, grande área da China, o platô Dekkan,

na Índia, e parte da África do Sul. O semiárido do Nordeste brasileiro é reconhecido pela ocorrente frequência desses eventos, associados a grande variabilidade climática. Os primeiros relatos de ocorrência de seca nessa região datam do final do século XVI (1583/1585), quando cerca de cinco mil índios foram obrigados a fugir do sertão em função da fome, sendo socorridos pelos brancos. Desde então, inúmeros registros já foram feitos, de acordo com Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e ainda, compactuando com essa afirmação, Martins (2015) relata que os registros de secas na Região Nordeste datam do início do período de colonização, sendo os impactos do século XVI até a metade do século XVII relativos a culturas da mandioca, milho e cana-de-açúcar, assim como a pecuária bovina, devido ao processo de ocupação do interior dos sertões.

A região Nordeste do Brasil caracteriza-se por possuir em sua grande parte clima semiárido, onde se localiza o denominado "Polígono das Secas". Essa região prolonga-se, em termos de latitude, desde a costa norte do Nordeste do Brasil até o norte de Minas Gerais, passando, em termos longitudinais, desde a costa oeste até o Estado do Piauí, mais precisamente ainda, é uma área de 1.108.434,82 km², correspondentes a 1.348 municípios, e que está inserida nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais.

A figura 1 mostra a delimitação do Polígono das Secas.

Figura 1. Polígono das Secas



Fonte: Santos *et al* (2018)

Percebe-se pelo mapa demarcado que a região do território cearense está inserida no polígono quase que em sua totalidade, conseqüentemente, o município de Várzea Alegre também como verifica-se na figura 1.

Tal área é demarcada através da legislação, a lei 1348, de 1951, que traz como vantagens a liberação de algumas exigências, por parte de seus gestores municipais e estaduais, para ações emergenciais de atenção à população que sente a falta de água, bem como recebe verba específica destinada ao enfrentamento da seca via Fundo Nacional de Financiamento do Nordeste.

Segundo informações contidas no Dossiê Nordeste Seco, o Semiárido brasileiro é a área semiárida mais povoada do mundo e, em função das adversidades climáticas, associadas a outros fatores históricos, geográficos e políticos, que remontam centenas de anos, abriga a parcela mais pobre da população brasileira, com ocorrência de graves problemas sociais. Em consequência do comportamento das chuvas no Semiárido e da reduzida capacidade de retenção de água na maioria dos solos, grande parte da população é altamente dependente da água de chuva, de sua captação e de seu armazenamento, uma vez que os rios apresentam regime temporário, com exceção do rio São Francisco, que se destaca em meio à grande área seca segundo Jacomine (1996).

De acordo com Freitas (2008), no semiárido nordestino brasileiro a precipitação média anual varia de 400 a 1200 mm. Sendo que esses valores variam enormemente de um ano para outro. Ocorrendo na região secas com duração de vários anos. Soma-se a isso as altas taxas de evaporação que ocorrem em superfícies livres de água representando uma perda significativa na disponibilidade hídrica de uma região. O conhecimento das perdas por evaporação é a base para se determinar o volume potencial de água disponível, cuja informação é de suma importância no planejamento de políticas de manejo dos recursos hídricos da região. A evaporação varia de 1000 mm ano no litoral da Bahia e Pernambuco, atingindo 2000 mm ano no interior, sendo que na área de Petrolina – PE, pode chegar a 3000 mm ano, de acordo com Ilca (2002). Entende-se que o maior problema não necessariamente, é a quantidade precipitada, mas a forma como as chuvas se distribuem no tempo e espaço, como dito, em muitos locais da região chega a chover 800 mm anuais, quantidade que, em outros semiáridos do mundo, permite uma produção agrícola maior e, conseqüentemente, menos pobreza.

O problema é que pode ocorrer, que em apenas um só trimestre registrar até 90% da precipitação anual. Assim, muitas vezes a quantidade de chuva precipitada seria suficiente para uma colheita satisfatória se bem distribuída ao longo do ciclo. Entretanto, ela se concentra em uma ou duas chuvas e acaba não permitindo a produção e a colheita adequadas afirma Embrapa.

O Semiárido representa 21,6 % do PIB do Nordeste. A economia baseia-se principalmente na agricultura e na pecuária, utilizando-se, na maior parte dos casos, tecnologias tradicionais. A estrutura fundiária é extremamente concentrada, embora seja grande o número de pequenos estabelecimentos ou unidades de produção familiar de acordo com Sudene - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (2015).

De acordo com Bezerra (2016), a seca vem trazendo imensos prejuízos para a população nordestina através das principais fontes de renda, tais como a pecuária, as lavouras de milho, feijão, mandioca e outros produtos característicos da região Nordeste. Muitas áreas, que outrora foram produtivas, hoje sofrem agudos processos de desertificação, favorecendo assim o êxodo rural e, conseqüentemente, contribuindo com outros problemas derivados do inchaço populacional na zona urbana. Segundo a Unicef – Fundo das Nações Unidas para a Infância (2014), cerca de 450 mil crianças estudavam em escolas sem água potável ou banheiro adequado no semiárido. A ausência de água limpa e de instalações sanitárias decentes levava os estudantes a aprenderem menos e faltarem mais por causa de problemas variados, como doenças decorrentes da falta de higiene ou o período menstrual nas adolescentes.

Reconhecendo o fato de as secas são eventos recorrentes no semiárido, entendeu-se, principalmente por volta da década de 80, que não era possível "combater" ou "enfrentar" a seca. Surge então a palavra "convivência" como mais apropriada a situação. O entendimento é de que, se por um lado o fenômeno natural sempre ocorreu e deverá inclusive se agravar e, por conseqüência, não dá para ser combatido, por outro, pode-se desenvolver propostas e experimentar alternativas baseadas na ideia de que é possível e necessário conviver com ele, de acordo com Embrapa.

Os impactos das secas têm sido dolorosos. Continuam sendo intensos porque repercutem sobre economias frágeis e pessoas que não têm como resistir às

dificuldades produzidas e/ou ampliadas pelas secas. As populações mais afetadas são desprovidas de anteparos de qualquer natureza. Pensadas em perspectiva histórico-retroativa, ou seja, de hoje até quando começamos a dispor de registros sobre tais eventos segundo ANA - Agência Nacional de Águas (2012). Ainda segundo o mesmo instituto, a escassez de água é de todas as consequências das secas a mais crítica. O ser humano é pouco resistente à falta de água. Além dos racionamentos usualmente praticados em redes públicas durante as secas, aqueles que são obrigados a utilizar água de açudes ou poços, nos limites de sua capacidade de armazenamento, não podem encontrar água de boa qualidade em fontes de abastecimento com essas condições.

Segundo Sampaio (2013) a gradação dos afetados pela seca é, em ordem decrescente, dos parceiros aos pequenos e aos médios produtores, o qual ele afirma que no sistema mais tradicional, que representa grande parte dos vínculos no setor agrário da região, a produção alimentar ficava com o parceiro (meeiro) e a de matéria prima era dividida com o proprietário.

Diante do exposto, fica evidente a necessidade de se tentar antever as secas quando possível, não fazendo uso apenas de ações emergenciais. Segundo Martins (2015), a gestão de secas no país tem focado no tratamento dos sintomas e não nas vulnerabilidades diante de tal fenômeno, sendo basicamente uma resposta à crise já instalada, ou seja, uma Gestão Reativa às secas. Existe a necessidade de uma mudança de paradigma, passando desta Gestão de Crises para uma Gestão de Riscos diante da possibilidade de ocorrência de uma seca. A Gestão de Riscos, ou, em outras palavras, uma gestão proativa da seca, significa tratar as vulnerabilidades, e não os sintomas, a partir de mecanismos para melhor monitorar e antecipar eventos de seca, o que deve orientar as medidas de preparação e alívio aos efeitos da seca. Sabe-se que a moderna tecnologia de previsão climática utiliza supercomputadores, modelos matemáticos-físicos, imagens de satélites e instalações modernas, como já é realidade no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e, em menor escala, na Funceme - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Supõe-se que um bom sistema de previsão climática seja de fundamental importância como um instrumento à disposição dos agricultores quando do planejamento da produção agrícola suavizando impactos na economia e na sociedade, afirma Folhes et al (2007).

Portanto, é de grande importância o monitoramento e previsão de secas para aprimorar o gerenciamento dos recursos hídricos da região. Análises durante o período de secas, bem como, análises posteriores são de grande valia ao planejamento e gestão de secas futuras, evitando-se ou corrigindo eventuais falhas nas gestões anteriores.

Dentre as ferramentas utilizadas para monitoramento e previsão de secas tem-se ainda os índices de secas.

Índices de Secas

Almejando reduzir os impactos desencadeados pela seca, algumas pesquisas que tentam entender seu comportamento estão sendo direcionadas para o desenvolvimento de índices capazes de caracterizá-la, definindo seu início, sua severidade, sua duração e os impactos a ela associados. O monitoramento desses índices pode indicar o nível de severidade da seca que ocorre em um dado instante, podendo estar atrelado a um conjunto de ações previamente determinados num plano de preparação para seca Canamary (2015).

No caso específico das secas, os índices de seca deverão permitir detectar não só o início e o fim deste tipo de situação, mas também a sua evolução. Irão permitir abordar com mais facilidade a avaliação da duração e da abrangência espacial, bem como os potenciais efeitos de um episódio de seca. Por outro lado, é considerado que este tipo de ferramenta constitui o elemento base de ligação, para uma dada região, entre a avaliação do nível de severidade de uma situação de seca (integrando sistemas apropriados de avaliação e gestão) e as medidas correspondentes que devem ser adotadas, ou até mesmo as entidades responsáveis a envolver na gestão destas situações, definidas na fase de planejamento e de estipulação dos procedimentos de contingência.

Vivas (2011) diz que os índices de seca têm como objetivo efetuar uma avaliação do estado de algumas variáveis (teor de umidade do solo, escoamento superficial, volumes armazenados em reservatórios e águas subterrâneas) face às características consideradas “normais”. Para isso é necessária a existência de uma monitorização contínua e regular dessas variáveis, mas também de uma série de registos suficientemente longos para representar, com confiabilidade, o espectro de evolução correspondente. Além disso, esses índices podem ser determinados a partir

de apenas uma variável, ou da agregação de diversas variáveis, desde a precipitação aos volumes armazenados em reservatórios.

Hein (2002) diz que para escolha do índice de seca que possa ser utilizado como ferramenta de monitoramento, cinco critérios básicos devem ser atendidos: a escala de tempo de análise deve ser apropriada ao estudo, o índice deve ser uma medida quantitativa de condições de seca de longa duração, o índice deve ser aplicável ao problema em estudo, uma série histórica longa e precisa de valores do índice deve estar disponível para análise e o índice deve ser capaz de ser calculado próximo ao tempo real.

Dessa forma, diferentes índices podem fornecer diferentes resultados sobre a intensidade da seca em uma mesma região. Uma vez que os dados de entrada podem variar de acordo com o índice, ou seja, a depender do índice podem ser necessários apenas os dados de precipitação ou, até mesmo, dados de temperatura do ar, umidade do solo, evapotranspiração, dentre outras variáveis Lima (2016).

Somado a isso, diante da dificuldade aqui já citada da definição do fenômeno da seca, Heim (2002) diz que é impossível conceber um índice de seca universal. De fato, alguns destes índices são de determinação complexa, o seu significado nem sempre é facilmente compreensível e, globalmente, não permitem avaliar uma situação de seca segundo a sua evolução, de acordo com a própria afetação que este tipo de situação induz no ciclo hidrológico de uma dada região hidrográfica.

Mesmo com tamanha dificuldade para seleção de um índice, Fernandes (2009) diz que a utilização desses índices torna a compreensão e a investigação da seca e seus impactos mais eficaz. Os índices de seca assimilam vários anos de variáveis meteorológicas como: precipitação, temperatura do ar, evapotranspiração, escoamento superficial, umidade do solo, entre outras variáveis, e assim as combinam buscando de identificar o início de um período de seca. Ele resume os principais índices na tabela 1.

Tabela 1. Índices de Seca

Índices	Aplicação	Vantagens	Desvantagens
Índice Porcentagem Normal (PN) “Percent of Normal”	Meteorológico	Um simples cálculo efetivo para comparação entre uma única região ou estação	Desde que a “normal” é uma construção matemática baseada em um número limitado de anos, não pode sempre refletir tendências climáticas.
Índice de Precipitação Padronizada (SPI) “Standardized Precipitation Index”	Meteorológico	O SPI pode ser calculado para diferentes escalas de tempo. Possibilita o aviso prévio da seca e ajuda a avaliar a severidade da seca, além de ser menos complexo que o PDSI	Os valores de SPI são baseados em dados preliminares e podem mudar.
Índice de Abastecimento de Água em Superfície (SWSI) “Surface Water Supply Index”	Hidrológico	O índice supriu elementos hidrológicos que faltaram ao PDSI.	Mudar uma estação de coleta de dados ou as políticas de gerenciamento de água requer que um novo algoritmo seja calculado. O índice é único para cada bacia, o que limita a comparações entre bacias.
Índice de Seca de Bhalme & Mooley (BMDI) “Bhalme & Mooley Drought Index”	Meteorológico	O índice (Z) de umidade do algoritmo de Palmer foi substituído por um índice mais simples de precipitação mensal calculado somente com dados de precipitação. O índice é eficaz para analisar as regiões tropicais.	Como considera somente os dados de precipitação, não é um bom indicador regional de seca.
Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) “Palmer Drought Severity Index”	Meteorológico, Agrícola	Utiliza um algoritmo para calcular o balanço hídrico e a umidade do solo, baseado na temperatura e precipitação como dados de entrada, além de ser particularmente útil para aplicações agrícolas.	Os valores de Palmer podem não identificar as secas tão facilmente como outros índices.

Fonte: Adaptado de Fernandes (2009).

Percebe-se quão grande é a quantidade de índices disponíveis na literatura quando se deseja avaliar o fenômeno da seca. Todavia, existem aqueles com maior aceitação, seja por sua simplicidade ou por maior confiança nos resultados dos mesmos. Dentre os citados na tabela anterior, destacam-se o PDSI - Índice de Severidade de Seca de Palmer e o SPI. O PDSI é bastante utilizado nos Estados Unidos, quando se deseja propor ações emergenciais no combate à seca e para elaboração de planos contingenciais, contudo o referido índice recebe muitas críticas pela quantidade de variáveis utilizadas. Outro ponto questionado por vários autores, de acordo com Blain et al (2006), é que Palmer desenvolveu o PDSI com algumas características, como por exemplo, não especificar qual escala de tempo o índice considera em sua análise, além disso, faz uso de regras arbitrárias para definir o início ou o fim de uma seca e a demora (exagerada memória) em responder às mudanças no regime de precipitação.

Já o SPI, outro índice bastante utilizado, desenvolvido por Mckee et al (1993), permite fazer uma análise e monitoramento da seca em diferentes intervalos de tempo. Blain (2006) ainda afirma que esse índice é a única ferramenta conhecida capaz de fazer o monitoramento para diferentes escalas de tempo, reforçando o conceito de Mckee et al (1993). Quando comparado ao PDSI, Blain (2006) diz que SPI representa melhor os possíveis períodos de déficit ou excesso de precipitação e que ainda é menos complexo.

No intuito de propor mais rapidez na adoção de política que vise o combate à seca e seus efeitos, o monitoramento probabilístico da variabilidade temporal dos totais de chuva, proposto pelo modelo SPI, o referido programa tem sido bastante utilizado pelos órgãos estaduais e federais, de acordo com Blain (2010).

Blain (2010) defende que o primeiro passo, quando se deseja calcular o SPI, é ter o conhecimento da probabilidade de distribuição de frequência de precipitação pluvial calculada por meio de uma distribuição gama incompleta. Trata-se da normalização da precipitação mensal a partir de uma função de distribuição de probabilidade, mostrando o quanto um dado valor de altura de chuva se distancia da média em função do desvio-padrão de uma série de dados, baseando-se assim na distribuição normal padrão, a normalização dessa distribuição faz com os valores inferiores a zero representem períodos secos e os superiores, úmidos. Segundo Canamary (2010), para se calcular o SPI deve ser definida a escala de tempo, que

pode variar de, normalmente, de 1, 3, 6, 12 ou 48 meses, dependendo do tipo de análise a ser realizada. Esse índice se baseia em dados de precipitação, que devem ter dados de pelo menos 30 anos de precipitação.

É possível afirmar que a preferência por esse índice se dá pelo fato de que o mesmo permite realizar uma comparação entre regiões e também devido a sua praticidade, por utilizar apenas dados mensais de chuvas e a capacidade de monitorar e identificar intensidades de chuvas e de secas. Somado a isso, o mesmo pode ser utilizado em condições úmidas e secas.

Diante de todos os argumentos expostos, fica evidente a preferência em se utilizar o SPI como ferramenta de análise para investigação da seca, uma vez que ele permite que sejam analisadas diferentes escalas de tempo, contemplando assim todos os tipos de seca citados anteriormente, por exemplo, quando se deseja avaliar os impactos da seca agrícola, é recomendado a utilização de escalas de tempo curtas, uma vez que esse tipo de seca está relacionado à umidade do solo e essa variável muda seu valor em pequenos períodos de tempo, de acordo com Canamary (2015). Outro fator considerado é que o cálculo do SPI e sua interpretação são feitos com facilidade já que o mesmo requer apenas uma variável para cálculo.

4. ÁREA DE ESTUDO

Várzea Alegre é um município localizado no estado do Ceará, o qual fazia parte da mesorregião do Centro-Sul, entretanto, de acordo com a nova regionalização do Governo do Estado e do IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégica Econômica do Ceará, passa a incorporar a mesorregião do Cariri e da microrregião de Várzea Alegre.

Limita-se ao norte com o município de Cedro; ao sul com Caririaçu e Granjeiro; a leste com Cedro e Lavras da Mangabeira e a oeste com Farias Brito e Cariús. Possui uma área territorial de 835,709 km², com densidade demográfica de 45,99 hab/km², ocupando a posição de número 76 de 184 municípios do Estado. População atual estimada pelo IBGE em 2017 de 40.704 habitantes. O município é constituído por cinco distritos, Calabaça, Canindezinho, Ibicatu, Riacho Verde e Naraniú.

Na figura 2 vemos o mapa de localização do município dentro do Estado do Ceará.

Figura 2. Mapa de Localização do Município de Várzea Alegre



Fonte: Autor (2018)

O relevo do município apresenta formas suaves e pouco dissecadas, sendo produto da superfície de aplainamento em atuação no Cenozóico. Nas porções norte e sul do município são vistos os maciços residuais, serras e serrotes, que sobressaem

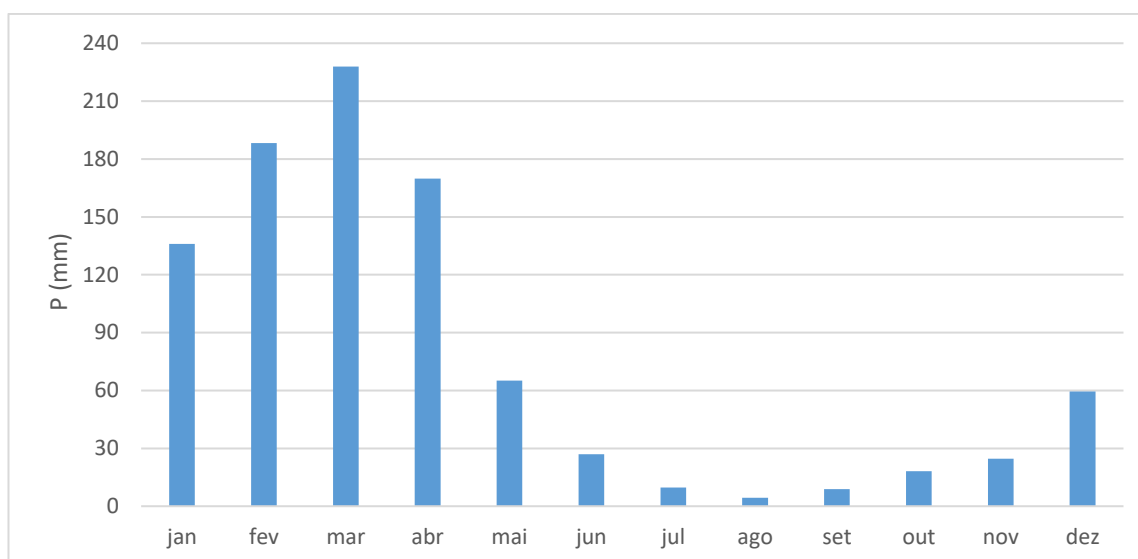
desse nível básico de erosão. Solos podzólicos predominam na região, tendo estabelecida a vegetação de caatinga como característica.

O município pertence a sub-bacia do rio Salgado (que faz parte da bacia do Jaguaribe), posicionada na porção meridional do Estado, são 23 municípios ao todo que compõe a sub-bacia, cujo rio principal é o Salgado. Segundo IPECE (2009), essa sub-bacia corresponde a 9% do território cearense, tendo uma capacidade de acumulação de 447,41 milhões de m³, num total de 13 açudes gerenciados pela COGERH - Companhia de Gestão de Recursos Hídricos. Sobre suas fronteiras, a referida bacia limita-se ao sul pelo estado de Pernambuco, ao norte pelas Bacias Hidrográficas do Alto e Médio Jaguaribe, à oeste pela Bacia Hidrográfica do Alto Jaguaribe e ao leste pelo estado da Paraíba Os terrenos da bacia do Salgado são formados por 85% de rochas cristalinas e 15% de rochas sedimentares. Grande parte da sub-bacia tem uma superfície de aplainamento com topografia plana a moderadamente dissecada em rochas cristalinas com níveis altimétricos médios entre 200 e 400m, apresentando regime fluvial intermitente e esporádico e baixo potencial de águas subterrâneas.

A caatinga é o ecossistema que se apresenta, predominantemente, nessa bacia, com temperaturas no solo podendo chegar a 60°C no período seco. A lâmina de evaporação da água dos reservatórios, nessa bacia, pode chegar até 1 cm/dia nos meses de setembro, outubro e novembro COGERH (2008).

O clima da região é o tropical quente semiárido, e de acordo com dados da Funceme – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, com base na pluviometria dos anos de 1974 a 2012 a evapotranspiração de referência média anual, calculada pelo método de Penman-Monteith é de 1766,7 mm impactando em um índice de aridez de 56,9 e a precipitação média é de 1005,9 mm.

Na figura 3 observa-se a distribuição da precipitação média ao longo do ano no município, a média foi calculada para o período de 1912 a 2018 com dados referentes a precipitação diária coletados no Portal Hidro Web da agência Nacional de Águas.

Figura 3. Precipitação média mensal no município de Várzea Alegre no período de 1912 a 2018.

Fonte: Autor (2018).

A pluviosidade média, segundo dados da ANA é de 953,5 mm ao ano, com a temperatura variando entre 26 e 28°C. O período chuvoso, de acordo com o IPECE (2017) está situado entre os meses de janeiro a abril, podendo variar, uma vez que já foi dito da grande irregularidade nas precipitações, característica do Nordeste brasileiro.

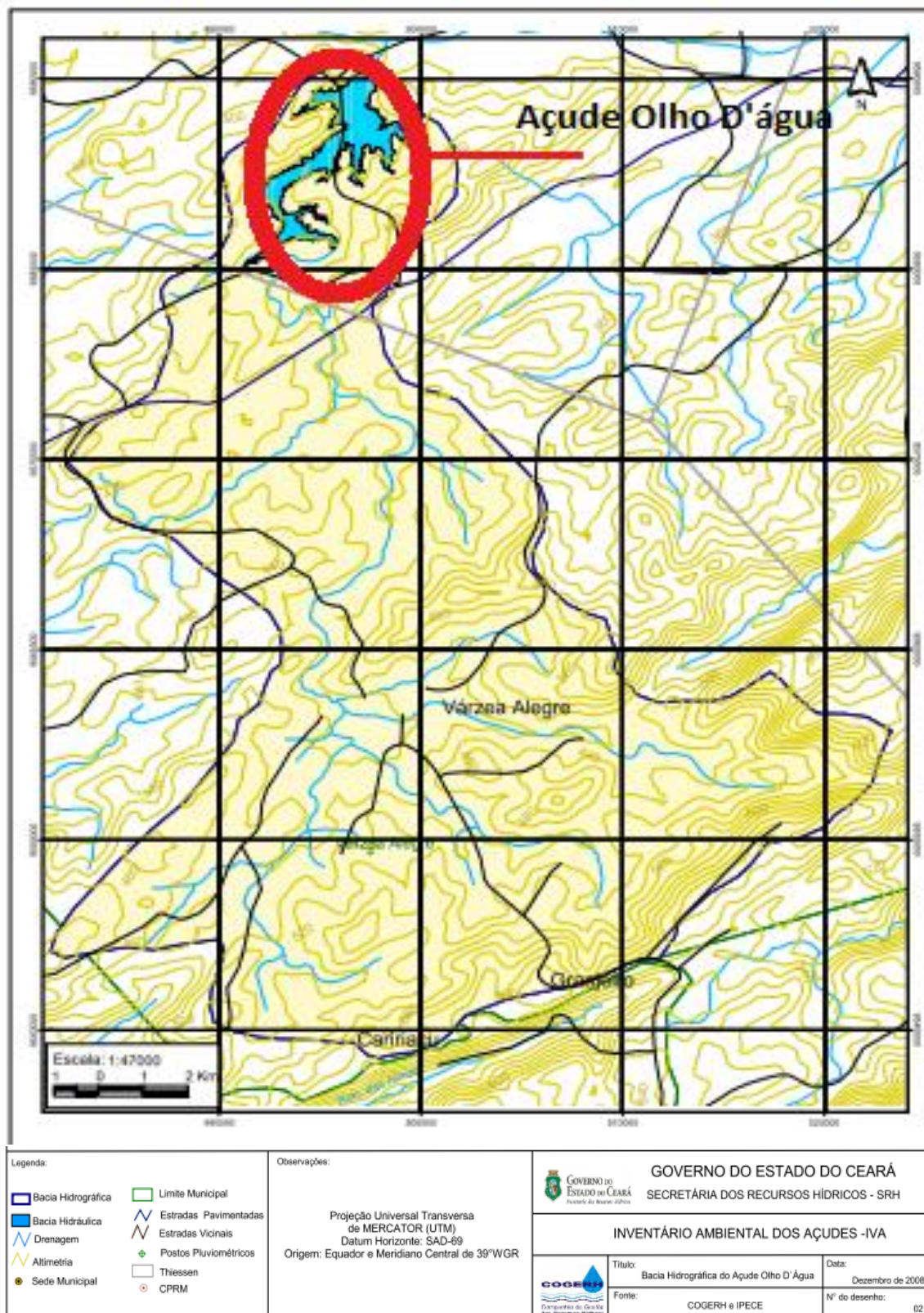
Segundo o IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em 2015 o município tinha um PIB – Produto Interno Bruto per capita de R\$ 7011,73. Na comparação com os demais municípios do estado, sua posição era de 94 de 184 municípios cearenses. Dos cerca de 40704 habitantes, 62,17% vive na zona urbana, de acordo com IPECE.

O açude responsável por suprir a demanda de água da maior parte da população da cidade, residente na zona urbana da mesma, é o açude Olho D'água, com capacidade de armazenamento de 21 milhões de m³ construído em 1998 pelo 1º Batalhão de Engenharia do Exército, através de recursos do Governo do Estado. Foi durante o ano de 1999 que a COGERH iniciou as atividades de monitoramento quantitativo e qualitativo das águas do referido açude.

O início de aporte acontece até meados do mês de fevereiro e permanece, geralmente, até o mês de maio. Foi constatada sangria no mesmo, nos anos de 2004, 2006 e 2008. Possui profundidade de aproximadamente 10 m, com tempo de residência em torno de 21 meses. De acordo com a última atualização (até o presente

momento de elaboração desse trabalho) o volume do açude era de 6,56 hm³, o que corresponde a 34,55% do seu total. A figura 4 mostra a localização do reservatório.

Figura 4. Mapa hidrológico de Várzea Alegre



Fonte: Adaptado de CPRM (1998)

Diante do quadro de escassez hídrica pelo qual passa o estado do Ceará, mais especificamente, a cidade de Várzea Alegre, embora nesse ano de 2018 o reabastecimento do açude tenha sido satisfatório a ponto de garantir o abastecimento para o presente ano, não se pode deixar de destacar que ações voltadas para amenizar os efeitos da seca devam ser propostas e efetuadas com extrema agilidade.

No ano de 2017 foi realizada uma reunião no Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará, contando com a presença de representantes do município de Várzea Alegre e do Comitê Integrado de Combate à Estiagem, cujo objetivo era ser apresentada a situação hídrica do município e as ações que o mesmo vinha tomando para evitar um colapso hídrico prematuro. Na ocasião foi protocolado um ofício que solicitava a perfuração de poços no curso da tubulação da adutora do açude Deputado Luiz Otacílio Correia (Olho D'Água) com o objetivo de aumentar a oferta da água que é gerenciada pela Cagece – Companhia de Água e Esgoto do Ceará.

Ante o exposto, vê-se a necessidade de se caracterizar e monitorar os eventos de seca na sub-bacia a fim de conhecer o regime de seca na região, dando suporte para um planejamento do uso das águas do reservatório do município.

A tabela 2 traz algumas características relevantes do reservatório que serão usados para o desenvolvimento do trabalho.

Tabela 2. Dados do reservatório

Olho D'água	
Sub-Bacia	Salgado
Rio/Riacho barrado	Riacho Machado
Bacia Hidrográfica (km²)	72,03
Capacidade (m³)	21.000.000,00
Vazão Atual (l/s)	85,00
Conclusão da obra	1998

Fonte: COGERH e ANA (2018).

5. METODOLOGIA UTILIZADA

Coleta e análise dos dados

No desenvolvimento desse estudo foram utilizados dados mensais de precipitação de estações meteorológicas localizadas no Ceará, esses dados foram obtidos no Portal HidroWeb da ANA, que oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela RHN – Rede Hidrometeorológica Nacional, reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos e dados relacionados à volumes do reservatório Olho D'água localizado no mesmo estado, coletados no Portal Hidrológico do Ceará da Funceme.

Objetos de Estudo

Para a escolha do posto pluviométrico a ser utilizado foram definidos alguns critérios como:

- Duração da série histórica;
- Ocorrência de falhas nos dados de precipitação;
- Distância dos postos pluviométricos em relação ao município e ao reservatório estudado.

Como já descrito anteriormente, a informação de entrada para o cálculo do SPI são os dados de precipitação. Foram escolhidos os dados pluviométricos do município de Várzea Alegre, a fim de se determinar o posto que melhor se adeque ao reservatório em estudo, ou seja, aquele que seja próximo açude e que contenha dados suficientes para um estudo satisfatório. Foram selecionados todos os postos com informações pluviométricas disponíveis pela ANA. Os postos foram: 639007, 639034, 639071 e 639079.

O ideal é que o posto a ser escolhido para futura análise do SPI seja um que contenha informações de pelo menos 30 anos de dados de precipitação e apresente o menor número possível de falhas nesse intervalo de tempo. Dentre os quatro postos situados no município cujo reservatório em estudo fica situado, destaca-se o posto 639034, já que o mesmo possui uma longa série e poucas falhas quando comparado com os demais. A Figura 5 mostra a série extraída do software Hidro 1.3 no intervalo de 1983 até 2017, contendo informações de 34 anos de dados, atendendo a necessidade imposta pelo método de análise que será utilizado.

Para o período analisado o posto apresenta falhas apenas nos meses de outubro e novembro do ano 2007. As informações dos outros postos citados encontram-se nos apêndices A, B e C.

A Tabela 3 mostra a identificação e a localização das estações meteorológicas e o respectivo tamanho de suas séries históricas disponíveis.

Tabela 3. Identificação e localização das estações meteorológicas

Código da Estação	Coordenadas		Tamanho da Série (anos)
	Latitude	Longitude	
609007	S6°40'0,12"	W39°15'0'	40
609034	S6°48'0"	W39°18'0'	106
609071	S6°52'0,12"	W39°23'0'	19
609079	S6°46'57"	W39°20'45.96'	12

Fonte: Portal Hidroweb (2018).

Quando comparada as séries dispostas para o município de Várzea Alegre, fica evidente que o posto 609034 é o mais apropriado para ser utilizado nos cálculos por apresentar uma série extensa e poucas falhas no período considerado para estudo. Optou-se por analisar o período de 1983 até 2017, pois esse período, além de atender o intervalo de tempo, exigido pelo método de análise, o SPI, que é de 30 anos de dados pluviométricos, foram registradas duas falhas. Não há preocupação quanto a distância entre o posto e o reservatório já que ambos estão inseridos na mesma cidade, portanto, em regiões climatologicamente semelhantes. Como dito, mesmo com o cuidado tomado na escolha da estação pluviométrica, ainda se registraram falhas.

Para o preenchimento de falhas foi usado o método de ponderação regional, é um método simplificado, cuja preferência de utilização se dá para preenchimento de séries mensais e anuais, no qual as falhas são preenchidas através de uma ponderação, tomando, pelo menos, dados de três postos vizinhos, no qual seus dados

devem conter séries de pelo menos 10 anos e esses postos devem estar localizados em climas semelhantes ao posto de estudo. Essa especificação de climatologia semelhante é necessária uma vez que se faz a consideração que as precipitações nos postos são proporcionais, sendo esse fator de proporcionalidade função da precipitação média em tais postos, levando em consideração ainda a precipitação média de cada posto. Designando por x a estação que apresenta falhas e por A, B e C as estações vizinhas, pode-se determinar a precipitação desta estação através da equação:

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{M_x}{M_a} P_a + \frac{M_x}{M_b} P_b + \frac{M_x}{M_c} P_c \right) \quad (1)$$

Onde:

P_x - É a variável que guardará os dados corrigidos

M_x - Média aritmética da estação com falha

M_a , M_b e M_c - Média aritmética das estações vizinhas

P_a , P_b e P_c - É o dado da estação vizinha, ao posto com falha, do mesmo ano que utilizamos para preencher a falha.

Os postos utilizados para preencher as falhas foram 639044, 639002 e 638071. Estes foram escolhidos por se localizarem em região climatológica semelhante ao posto a ser preenchido.

Figura 5. Postos para preenchimento de falhas e reservatório Olho D'água



Fonte: Adaptado de Google Earth (2018)

Na sequência, foi realizado teste de consistência. A análise de consistência de séries pluviométricas é o tipo de análise utilizada para verificar a homogeneidade dos dados, já que o mesmo está sujeito a inconsistências, como problemas com os aparelhos de registro ou ainda com o operador do posto, por exemplo. Para essa

análise foi utilizado o método de Dupla Massa, desenvolvido pelo Geological Survey (USA).

O método é simples de ser aplicado. Em um plano cartesiano são traçadas duas curvas, uma de totais anuais ou mensais de precipitação acumulados do posto que irá ser analisado (eixo das ordenadas) e outra da média acumulada dos totais anuais ou mensais de precipitação de postos confiáveis da região considerada (eixo das abscissas). Para o presente trabalho foi utilizada a opção de acumular os valores para dados mensais. Caso haja consistência nos valores analisados, o gráfico obtido tenderá a se conformar como uma reta, uma vez que se espera que os valores sejam proporcionais. Selecionou-se dois postos, 639002 e 639044, para que fosse feita a média das precipitações mensais acumuladas, como base de comparações. Os postos foram selecionados por conterem uma série histórica semelhante ao posto em estudo, sendo o período compreendido entre 1983 e 2017 e por não conterem falhas no período.

Os dados mensais de precipitação, do período de 1983 a 2017, foram utilizados para o cálculo do índice de precipitação normalizada, SPI, ao qual foi feita uma escolha de escala temporal. A escala de tempo utilizada para o cálculo do índice está diretamente relacionada com o tempo necessário para que os efeitos da seca sejam sentidos sobre os diferentes setores de atividades (seja agrícola, social etc) e sobre os recursos hídricos em geral.

Calculo do SPI

O Índice de seca utilizado na análise foi o Índice padronizado de precipitação (SPI), o qual foi calculado a partir do modelo computacional disponibilizado no sítio da National Drought Mitigation Center e utilizado algoritmo implementado no sistema Matlab[®] pelo Professor Doutor Thiago Alberto da Silva Pereira constando no Anexo 5. Os dados de precipitação foram obtidos no portal Hidroweb da ANA, após ser realizado o preenchimento de falhas e análise de consistência.

A interpretação do SPI pode ser realizada com diferentes escalas de tempo, sendo elas de 1, 3, 6 e 12 meses. A escala de tempo escolhida para se analisar o SPI corresponde ao número de meses que se estende até o final do mês em curso. A variação nessa escala nos permite fazer diferentes interpretações, por exemplo, quando se deseja avaliar impactos de curto prazo relacionados, geralmente, com a

umidade do solo e conseqüentemente a agricultura, utiliza-se SPI para um mês, que é semelhante à da percentagem da precipitação normal mensal, equivalendo à sua representação mais exata, devido à distribuição ser normalizada e o SPI de um mês refletir circunstâncias de curto prazo.

Já para outros processos, como a avaliação da precipitação sazonal e análise da água disponível no solo recomenda-se SPI de três meses, cuja interpretação transmite uma comparação entre a precipitação ao longo de três meses consecutivos de um determinado ano, com os totais de precipitação deste mesmo período para todos os anos da série histórica de dados. Ou ainda, para tendências de médio prazo nos padrões de precipitação recomenda-se o SPI de seis meses, que semelhante ao anterior, faz uma comparação entre a precipitação para um período específico de seis meses com o mesmo período na série histórica em análise, sendo bastante útil na análise a quantidade excessiva de precipitação ao longo das diferentes estações do ano e para avaliação de níveis de reservatórios de águas subterrâneas o SPI para doze meses que transmite uma comparação da precipitação de doze meses consecutivos com os mesmos doze meses consecutivos de todos os anos precedentes da série histórica de dados. Ele pode ser associado às vazões, níveis de água de reservatórios, níveis de água subterrânea, os quais correspondem a escalas de tempo longas.

Diante disso, o cálculo do SPI consiste em acumular os dados do período de precipitação, conforme a escala de tempo selecionada e ajustá-los a uma função de distribuição de probabilidade (distribuição gama, que é a mais adequada para computar o índice), com a probabilidade de ocorrência no qual os resultados dessa função de distribuição são ajustados ao inverso da distribuição normal, que, por definição, apresenta sua média com valor zero e variância unitária Guttman (1998).

No presente trabalho analisamos o SPI em diferentes escalas, sendo elas: 1, 3, 6 e 12 meses. A escala de tempo utilizada para o cálculo do índice está diretamente relacionada com o tempo necessário para que os efeitos da seca sejam sentidos sobre os diferentes setores de atividades e sobre os recursos hídricos em geral.

O SPI é um índice adimensional em que valores negativos indicam precipitações menores que a média ou mediana, ou seja, seca, e valores positivos indicam precipitação maior que a mediana ou média, logo, representam 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.

A distribuição Gama é computada através da aplicação da função de densidade de probabilidade, definida por:

$$f(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, x > 0 \quad (2)$$

em que $\alpha > 0$ é o parâmetro de forma (adimensional), $\beta > 0$ o parâmetro de escala (mm), x é a precipitação acumulada (mm) e a função gama é dada pela equação (3) :

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (3)$$

A distribuição gama, conforme transcrita na equação (2), só está definida para $x > 0$, ela não admite valores nulos, logo quando um dado mês apresenta valores nulos de precipitação total, faz-se necessário o uso de uma transformação da distribuição de probabilidade acumulada, dada por

$$F(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (4)$$

Sendo $G(x)$ conhecida como função gama incompleta, que é a função de distribuição estimada a partir dos valores não nulos da série de dados utilizada e q a probabilidade de ocorrência de valores nulos. Com isso, o SPI é definido, conforme Pessini (2017), como:

$$SPI = \varphi^{-1}[F(x)] \quad (5)$$

Em que φ a função de distribuição normal reduzida. Os valores de SPI podem ser classificados conforme a Tabela 4, onde foram considerados valores SPI e sua respectiva classificação.

Tabela 4. Classificação de valores de SPI

<i>SPI</i>	<i>Categoria</i>
$\geq 2,00$	Chuva extrema
1,5 a 1,99	Chuva severa
0,1 a 1,49	Chuva moderada
0 a 0,99	Chuva ligeira
0 a - 0,99	Seca ligeira
- 1 a -1,49	Seca moderada
-1,5 a -1,99	Seca severa
$\leq -2,00$	Seca extrema

Fonte: Modificado de McKee *et al* (1993).

A série histórica do posto selecionado continha informações de 1983 a 2017, totalizando 34 anos de duração. Os dados relacionados à volumes foram coletados no Portal Hidrológico do Ceará e a série histórica disponível é referente ao período de 2004 a 2017.

Cálculo das Correlações

Quando se deseja avaliar o grau de relacionamento de duas variáveis, o quanto uma variável interfere no resultado da outra, utilizam-se os chamados coeficientes de correlação, uma ferramenta importante para se analisar a confiabilidade de um sistema, avaliando a probabilidade de não haver falha durante sua operação. Para análise da correlação dos valores de SPI para as diferentes escalas de tempo com os valores de volume armazenados no reservatório em estudo, foram utilizados os métodos de cálculo pelos coeficientes de Pearson (conhecido como “r de Pearson”) e Spearman. Para o análise e cálculo foi utilizada uma defasagem de 2 meses.

O coeficiente de correlação de Pearson mede o grau de correlação linear entre duas variáveis. Para uma melhor compreensão do coeficiente r de Pearson” é importante o conhecimento do termo covariância. Ela significa co-variação, ou seja, como duas variáveis vão variar de forma conjunta, contudo, apesar de ser uma ferramenta para medir a relação linear entre duas variáveis, não se recomenda a mesma para comparação de graus de relação entre variáveis, uma vez que as unidades de medida influenciam no resultado (que podem ser metros, quilometro, quilogramas, centímetros, etc). Com o intuito de evitar essa influência das unidades e ordem de grandeza das variáveis, divide-se a covariância pelo desvio padrão (de x e, se assim as variáveis forem denominadas) obtendo-se o coeficiente de correlação de Pearson:

$$r = \frac{\sum(xi-\bar{x})(yi-\bar{y})}{\sqrt{(\sum(xi-\bar{x})^2)(\sum(yi-\bar{y})^2)}} \quad (6)$$

xi e yi = valores das variáveis x e y.

\bar{x} e \bar{y} = são respectivamente as médias de valores xi e yi .

A aplicação da função estatística de Pearson é um índice adimensional que reflete a intensidade da relação linear entre duas variáveis. Esse coeficiente assume valores entre -1 e 1.

$r = 1$ Significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis.

$r = -1$ Significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis. Isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui.

$r = 0$ Significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra.

No entanto, pode existir uma outra dependência que seja "não linear". Assim, o resultado $r = 0$ deve ser investigado por outros meios.

Como já dito, o coeficiente de Pearson é apropriado para medição de correlações de variáveis lineares. Quando esse comportamento não é verificado, a medição pelo método "r de Pearson" não será apropriada. Para esses casos se recomenda a utilização do coeficiente de Spearman, que embora não mostrem tendências lineares, pode ser considerado um índice não-paramétrico e monotônico, ou seja, aumento nos valores de X representam aumento nos valores de Y (para correlações positivas). Para correlação negativa acontece o contrário.

O coeficiente de Spearman não requer que as variáveis sejam quantitativas, são considerados, em vez dos dados observados, apenas a ordem das observações. Ele se utiliza da expressão do coeficiente de Pearson, porém calculado com postos. A atribuição dos postos é feita separadamente para cada uma das variáveis. Para a variável X, atribui-se o posto 1 à menor variável, posto 2 à segunda menor variável e assim por diante, até o posto n para a maior variável. Para a variável Y é feito o mesmo procedimento independente da variável X. Pode-se dizer que o coeficiente de Spearman equivale ao coeficiente de Pearson para dados ordenados.

Uma aproximação para o coeficiente de correlação pode ser calculada pela equação:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum di^2}{(n^3 - n)} \quad (7)$$

n = número de pares (xi, yi)

di = (postos de xi dentre os valores de x) – (posto de yi nos valores de y)

Conhecido também como coeficiente de correlação por postos de Spearman, é o mais antigo e conhecido coeficiente quando se deseja mensurar variáveis a nível ordinal, segundo Lira (2004).

O coeficiente ρ de Spearman varia entre -1 e 1. Quando $\rho = 1$ (valor máximo da correlação) as variáveis seguem o mesmo padrão, são iguais para cada indivíduo, ocorre quando os valores de d_i são nulos. O valor mínimo ($\rho = -1$) representa uma inversão de valores dos postos entre as variáveis.

Sendo o coeficiente de correlação de Spearman uma medida estatística não-paramétrica, não há restrições para o teste de significância do coeficiente. O coeficiente de correlação de Pearson, ao contrário, é uma medida paramétrica, ao passo que o teste de significância depende da condição de normalidade da distribuição bidimensional de X e Y (ou de se tomar uma amostra com $n > 30$).

Para a análise da correlação entre os SPI e os volumes de reservatórios foi escrito uma rotina em Matlab® e pode ser acessado no Apêndice A.

A fim de testar a veracidade das correlações foi calculado o nível de significância pelo teste de t-student, consideraram-se normalmente significativo os limites correspondentes a 0,05, ou seja, intervalo de confiança de 95%. Foram testados para níveis de confiança de 0,05, 0,02 e 0,01.

Quando se aborda a questão de estatística, para ser verificado se determinados dados são compatíveis com alguma hipótese, utiliza-se a Teste de Hipóteses, que pode ser paramétrico e não-paramétrico, atestando sobre validade ou não de uma hipótese. Baseia-se na análise de uma amostra, por meio da teoria das probabilidades.

Os testes de hipóteses são constituídos por duas hipóteses, a hipótese nula H_0 e a hipótese alternativa H_A . A hipótese nula assume que um dado resultado estatístico foi obtido apenas por acaso, devido a flutuações probabilísticas dos eventos sendo medidos e não a um efeito real que cause o resultado. Ela normalmente é formulada com o objetivo de ser rejeitada. Essa rejeição envolve a aceitação da hipótese alternativa (que é a hipótese de pesquisa que se deseja provar). Ou seja, na hipótese nula se considera que o resultado é pura coincidência e que a hipótese alternativa é resultado de uma real similaridade entre as variáveis.

O coeficiente de correlação da população, aqui denominado de “ ρ ”, serve como base para a estimativa do coeficiente de correlação da amostra, “ r ”. O teste de significância do valor de “ r ” consiste em admitir como hipótese nula que não há correlação entre as variáveis, ou seja, $\rho = 0$ e fazer a verificação se para essa afirmação o valor de “ r ” é muito ou pouco provável. Caso a probabilidade de se obter o valor de “ r ” seja menor do que um certo valor crítico (nível de confiança), rejeita-se H_0 e a hipótese alternativa (H_A) é aceita, no qual $\rho \neq 0$.

Uma vez que as hipóteses são enunciadas, deve-se estabelecer o nível de significância α para cálculo. Em seguida, com uma tabela de distribuição “ t ” de Student se obtém o valor para $t(g/l)$ (para os níveis de confiança já citados), no qual g/l corresponde ao número de graus de liberdade e vale $n - 2$, sendo n a quantidade de dados analisada. Calcula-se a variável t_0 através da equação:

$$t_0 = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (8)$$

Se $t_0 > t(g/l)$ ou $t_0 < -t(g/l)$, rejeita-se H_0 . Caso contrário, não se rejeita H_0 . Se H_0 for rejeitada, conduz-se à aceitação da hipótese alternativa o que confirma a hipótese científica, a ideia que embasou a aquisição dos dados e a realização de todos os testes, pode-se concluir que o valor de r obtido para a amostra é significativo e que existe correlação r entre as variáveis X e Y com nível de significância igual a α (a probabilidade p de se errar é menor a α). Já a não rejeição da hipótese nula não permite que nenhuma conclusão seja feita. Ou seja, significa que a estatística não oferece subsídios de que a hipótese científica seja verdadeira, o que não significa que a hipótese de nulidade seja verdadeira, mas apenas não se obteve indícios nessa amostra de que a hipótese de nulidade seja falsa. Tanto pode existir correlação como não existir de acordo com Alves (2017).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Preenchimento de falhas e Análise de consistência

Por meio da equação (1) pode-se fazer o preenchimento das falhas do posto 639034, falhas essas registradas nos meses de outubro e novembro de 2007.

Tabela 5. Média e precipitação dos postos

Posto	Out/07		Nov/07	
639002	Ma = 15,8 mm	Pa = 0 mm	Ma = 10,8 mm	Pa = 0 mm
639071	Mb = 0 mm	Pb = 0 mm	Mb = 6,2 mm	Pb = 0 mm
639044	Mc = 16,6 mm	Pc = 0 mm	Mc = 8,9 mm	Pc = 0 mm

Fonte: Autor (2018)

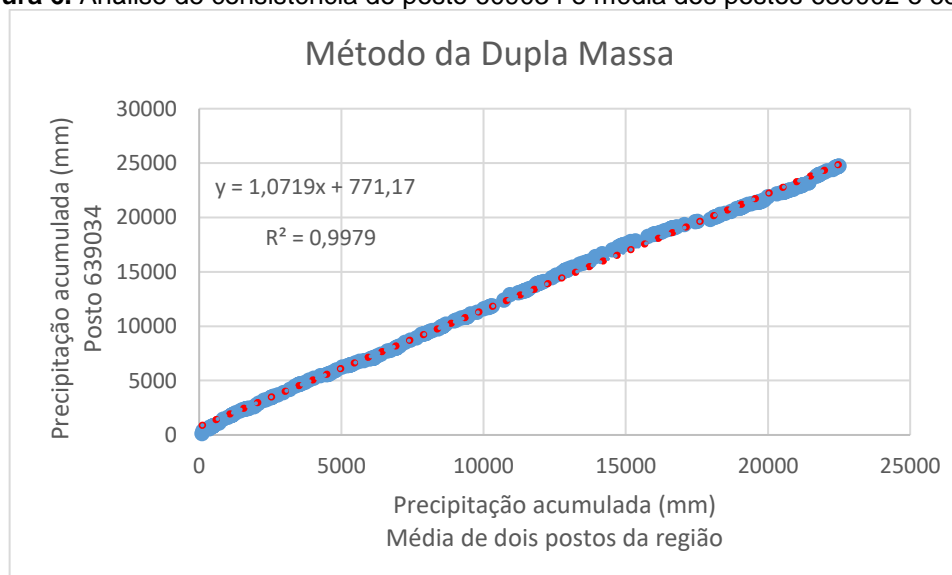
Sendo a média no posto 639034 de 18,2 mm para o mês de outubro e 24,6 mm para o mês de novembro, procede-se com os cálculos:

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{18,2}{16,6} * 0 + \frac{18,2}{Mb} * 0 + \frac{18,2}{15,8} * 0 \right) = 0 \text{ mm para o mês de outubro}$$

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{24,6}{8,9} * 0 + \frac{24,6}{20,6} * 0 + \frac{24,6}{10,8} * 0 \right) = 0 \text{ mm para o mês de novembro}$$

Com esses valores a série fica completa e podem ser calculados os SPIs. Para a análise de consistência foi usado o método da Dupla Massa (Figura 6).

Figura 6. Análise de consistência do posto 609034 e média dos postos 639002 e 639044



Fonte: Autor (2018)

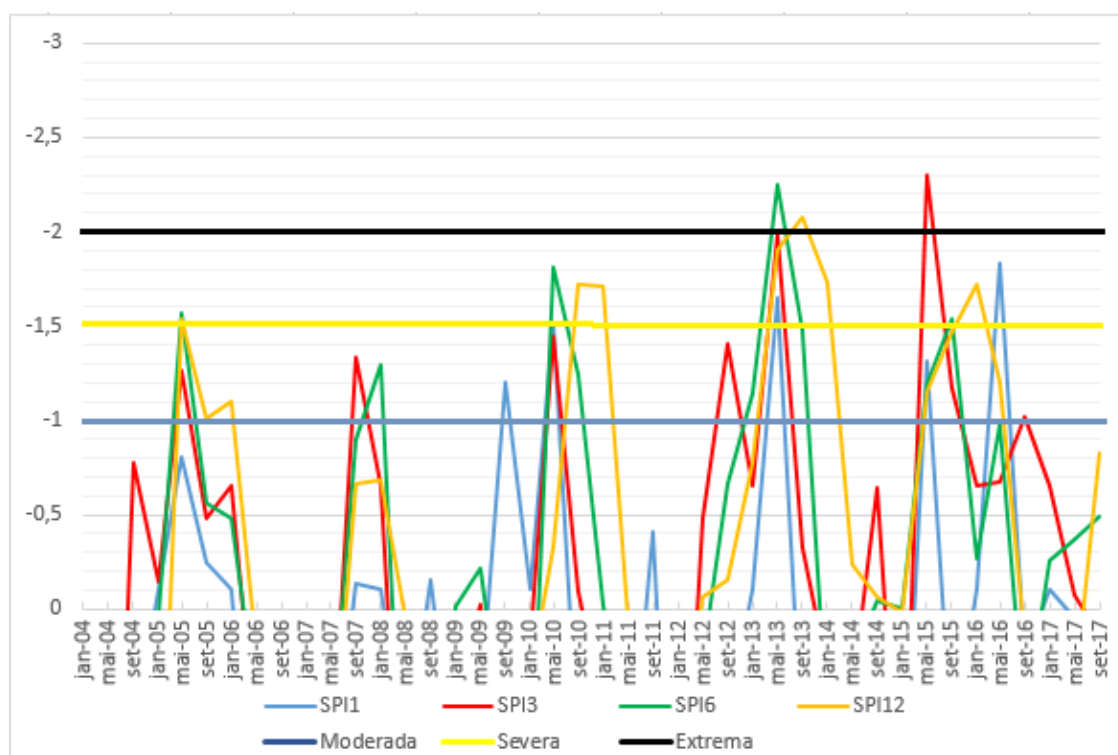
Pode-se observar que após plotar o gráfico os dados se comportam como uma única reta, evidenciando assim não haver inconsistências. A reta pontilhada em

vermelho é uma linha de tendência, vê-se como gráfica se ajusta quase que perfeitamente a ela.

Análise dos Eventos de Seca

No gráfico 3 são apresentados os valores nas escalas de 1, 3, 6 e 12 meses de SPI para no período de 2004 a 2017, onde pode-se observar a classificação da severidade das secas. A figura 7 só destaca valores negativos, pois esses são os que correspondem aos períodos de seca.

Figura 7. Valores negativos de SPI para as escalas de 1, 3, 6 e 12 meses e classificação da severidade da seca



Fonte: Autor (2018)

Pode-se destacar que os eventos de seca ocorreram em grande parte da série histórica, com maior destaque para as secas ligeiras, que predominaram na série quando comparada com as demais classificações de seca.

Para o SPI1, no que se refere as secas moderadas, vê-se que elas aconteceram com certa regularidade na série analisada, mais precisamente nos meses de abril (para os anos de 2004, 2007, 2012 e 2013). Tem-se registro ainda para os anos de 2009, 2014 e 2015. As secas severas foram evidenciadas apenas depois de 2010, aparecendo novamente em 2013, 2015 e 2016. Foram registradas secas extremas para os anos de 2009 e 2011, ambas no mês de março.

No estudo do SPI3, para as secas moderadas, constatou-se que a mesma foi verificada nos anos de 2005, 2007, 2008, 2012, 2015 e 2016, com destaque para o ano de 2015, em que cinco meses a registraram. As secas severas foram registradas até o ano de 2013, tendo antes aparecido nos anos de 2004, 2007, 2009 e 2010. O mês de fevereiro de 2015 registrou a única ocorrência de seca extrema para SPI3.

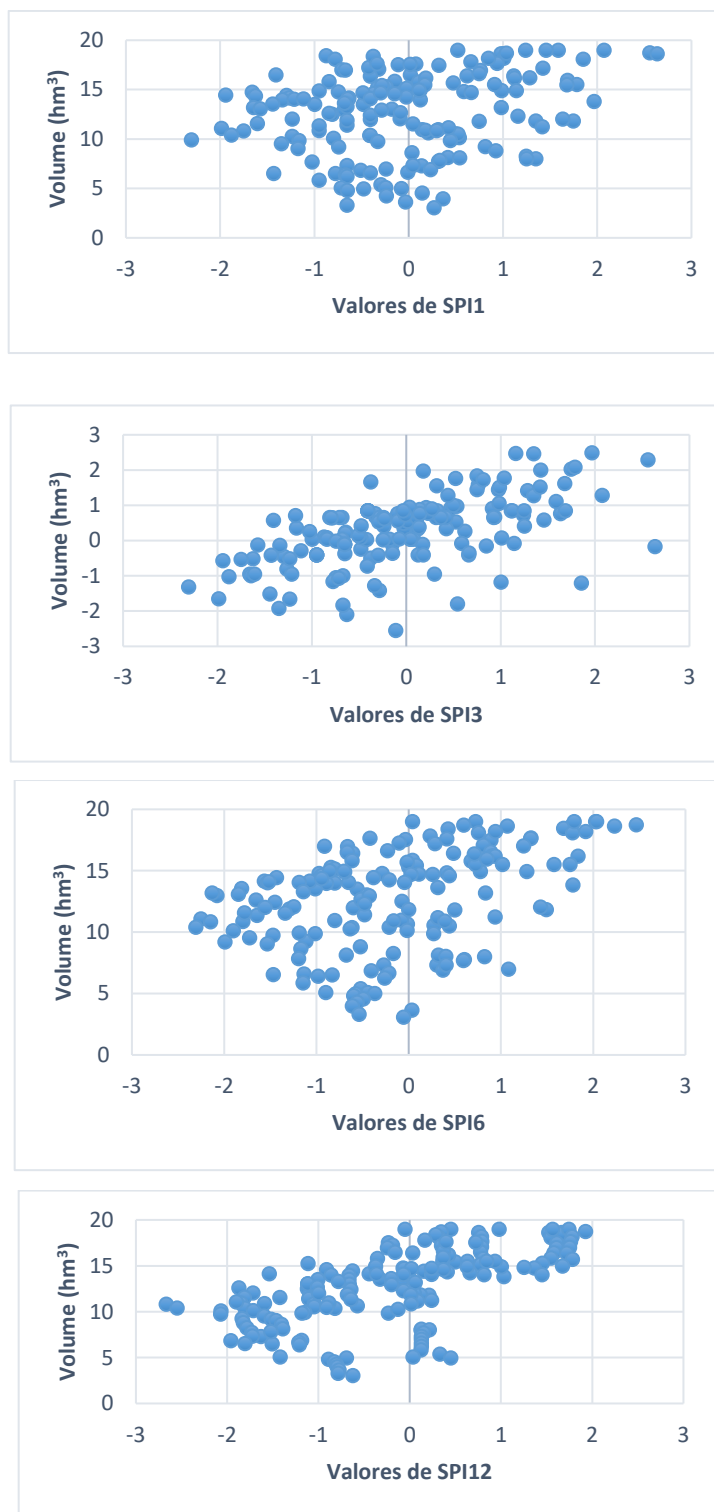
Para o SPI6 verificaram-se as maiores ocorrências de secas moderadas, tendo início em janeiro de 2005 e tendo seu último registro em novembro de 2016, ocorrendo também nos anos de 2007, 2009, 2010, 2012, 2013 e 2015. A seca extrema foi registrada em um mês de 2007, um de 2010 e no trimestre fevereiro, março e abril de 2013.

O SPI na escala de 12 meses anotou secas moderadas com início em março de 2005 e só voltaram a acontecer no ano de 2010 e mantiveram certa regularidade de aparição, sendo verificadas nos anos de 2012, 2013 e 2015, com último registro em março de 2017. As secas severas também tiveram início em 2010, no mês de fevereiro, sendo registradas posteriormente nos anos de 2010, 2013, 2014 e 2015, com destaque para o ano de 2010, que teve um período iniciando no mês de maio e perdurando até o mês de novembro com registro de seca severa. As secas extremas foram contabilizadas no quadrimestre março, abril, maio e junho do ano 2013.

Correlações

Na figura 8 temos os gráficos de dispersão entre os volumes do reservatório Olho D'água e valores de SPI para todas as escalas que já definidas anteriormente. São utilizados para pontuar dados em um eixo vertical (volumes) e horizontal (valores de SPI) com a intenção de exibir quanto uma variável é afetada por outra.

Figura 8. Dispersão entre volumes e valores de SPI do reservatório Olho D'água.



Fonte: Autor (2018)

Algumas conclusões podem ser feitas ao se analisar os gráficos de dispersão anteriores. Embora a dispersão entre os dados seja nítida, percebe-se uma tendência de linearidade, principalmente no SPI3 e SPI12, entre o aumento de volume e o

aumento no valor de SPI. Para os volumes mais baixos do reservatório há uma associação com os valores negativos de SPI, já os valores positivos de SPI tem relação com os volumes maiores medidos no reservatório.

Quando se analisa os dados de SPI, mais precisamente os valores negativos, verifica-se uma curva com tendência decrescente, o que à primeira vista pode parecer uma incoerência dos resultados, já que para os maiores valores de volume correspondem os valores negativos de SPI. Todavia, essa situação pode ser explicada coerentemente. Comumente em períodos de estiagem mais prolongados ocorre a redução da vazão que é liberada para abastecimento, somado a isso o fato de que nesses períodos há a perfuração de novos poços como alternativa de abastecimento ao reservatório principal e o uso de políticas públicas, que visam conscientizar a população a fazer um uso mais racional da água, através de panfletos educativos, propagandas nos meios de comunicação e audiências públicas para debater o assunto.

Nas tabelas 6 e 7 tem-se o resultado das correlações de Pearson e Spearman dos valores de SPI e os valores de volumes armazenados no reservatório Olho D'água. Essas correlações foram calculadas através de programação implementada no Matlab® por Torres (2017) que pode ser visualizada no Anexo 4 e a verificação pelo método de “t” de Student.

Tabela 6. Coeficiente de Pearson entre SPI e Volumes do reservatório Olho D'água

	0	-1	-2
SPI1	0,0943	0,1096	0,1133
SPI3	0,2642*	0,3117*	0,3335*
SPI6	0,4089*	0,4501*	0,4670*
SPI12	0,6112*	0,6040*	0,5834*

*Correlação com 99% de significância verificada pelo método t- Student.

Fonte: Autor (2018)

Tabela 7. Coeficiente de Spearman entre SPI e Volumes do reservatório Olho D'água

	0	-1	-2
SPI1	0,0978	0,1316	0,1374
SPI3	0,2694*	0,3246*	0,3507*
SPI6	0,4397*	0,4877*	0,5070*
SPI12	0,6733*	0,6623*	0,6354*

*Correlação com 99% de significância verificada pelo método t- Student.

Fonte: Autor (2018)

Os valores 0, -1 e -2 se referem a defasagem do SPI e dos volumes que foram utilizados nos cálculos das correlações. (0 quando não há defasagem, -1 para defasagem de 1 mês e -2 para defasagem de 2 meses).

O resultado de significância foi verificado para diferentes níveis de confiança, a saber, $\alpha = 95\%$, $\alpha = 98\%$ e $\alpha = 99\%$. Será mostrado um exemplo de cálculo para uma correlação que tenha atingido 99% de significância e um exemplo de verificação que não atingiu os 95% de significância. Para o nível de confiança de 95% foram escolhidos os dados de SPI1 e correlação de Pearson. Seguindo as recomendações feitas anteriormente, assume-se primeiramente que $H_0: \rho = 0$ e $H_A: \rho \neq 0$. Em seguida, na tabela "t" de Student (Figura 6), para $\alpha = 0,05$ (95%) e $gl = n - 2$, em que n é a quantidade de dados utilizados, para uma série de 155 dados (janeiro de 2004 até dezembro de 2017) obtém-se o valor de $t(gl)$. Como na tabela não consta o valor para $gl = 153$, adota-se o menor valor mais próximo. Para $\alpha = 0,05$ e $gl = 150$ o valor de $t(150)$ é 1,9759. Calcula-se t_0 a partir da equação (8) a fim de se comparar com $t(150)$.

$$t_0 = 0,0943 * \sqrt{\frac{166}{1 - 0,0943^2}} = 1,22 < 1,98$$

Em que 0,0943 é o valor do coeficiente de correlação de Pearson para o SPI1. Como $1,22 < 1,9759$, não se rejeita a hipótese nula e, portanto, o valor da correlação obtido não é importante. Como exemplo de correlação com significância de 99% atendida, foi escolhida a verificação referente ao SPI3 e o coeficiente de Spearman. Procede-se como anteriormente, na admissão de hipóteses e verificação de $t(150)$. Calcula-se t_0 :

$$t_0 = 0,2694 * \sqrt{\frac{166}{1 - 0,2694^2}} = 3,60 > 2,60$$

Com $t(150) = 2,60$ e $0,2494$ sendo o coeficiente de Spearman. Como $t_0 > t(gl)$, rejeita-se a hipótese nula e o valor da correlação obtido é significativo. Todos os outros dados foram obtidos seguindo o mesmo procedimento de cálculo através de planilhas do excel.

Para o SPI1 não foi verificada nenhuma correlação com 95% de significância. Para os demais SPIs, todos obtiveram significância de pelo menos 99% verificado pelo método "t de Student".

Fica evidente a existência de correlação significativamente positiva estatística tanto para o Coeficiente de Pearson como para o de Spearman, sendo que a correlação se torna mais forte para valores de SPI de um número maior de meses. Nota-se que os melhores resultados são encontrados para o coeficiente de correlação de Spearman para SPI 12, sendo maiores que 0,6 para ambos os reservatórios analisados.

7. CONCLUSÃO

O SPI se mostrou uma ferramenta de extremo valor na quantificação desses eventos (secas), permitindo ser feita uma análise para diferentes escalas de tempo e assim atenuar a dificuldade relatada inicialmente em se caracterizar as secas, além disso, sua metodologia possibilita uma fácil interpretação dos resultados dando maior condições para serem tomadas ações de planejamento por parte do poder público na gestão dos recursos hídricos.

A coerência dos resultados se mostrou satisfatória, semelhante ao observado em Torres (2017), que propôs o mesmo estudo para a cidade de Independência, localizado no estado Ceará, mais ao norte quando comparada com Várzea Alegre. Em Torres (2017) o gráfico de SPI para os valores negativos assemelhou-se bem aos resultados obtidos no presente estudo, havendo predominância de secas ligeiras e também a recorrência de dos outros tipos de seca foram na mesma proporção, ver Anexo 6. Os gráficos de dispersão também tiveram o mesmo comportamento (Anexo 7), com uma tendência decrescente quando se relacionava os valores de volume com os valores negativos de SPI, evidenciando que as políticas que são adotadas para mitigação da seca seguem um padrão no estado do Ceará, é o que demonstra essa comparação.

8. BIBLIOGRAFIA

ALVES, Marcelo Corrêa. **Teste t de Student**. Piracicaba-SP, 2017. Disponível em <http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:syllabvs:lcf5759a:teste_t.pdf> Acesso em 20 de setembro de 2018.

ANA – Agência Nacional de Águas – **A questão da água no Nordeste** – Brasília, 2012. Disponível em <<http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/669/4/A%20quest%C3%A3o%20da%20%C3%A1gua%20no%20Nordeste.pdf>> Acesso em 10 de setembro de 2018.

ANA – Agência Nacional de Águas - **ORIENTAÇÕES PARA CONSISTÊNCIA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS**. Brasília-DE, 2012. Disponível em <<http://arquivos.ana.gov.br/inf hidrologicas/cadastro/OrientacoesParaConsistenciaDadosPluviometricos-VersaoJul12.pdf>> Acesso em 14 de setembro de 2018.

BAUER, Lidiane. **ESTIMAÇÃO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PONDERADO**; DISSERTAÇÃO DE MESTRADO. Porto Alegre-RS, 2007. Disponível em <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/11499/000616112.pdf>> Acesso em 19 de setembro de 2018.

BEZERRA, Jakeline Rodrigues de Aquino. **A seca no Nordeste brasileiro: uma leitura do Jornal Folha de São Paulo**. UFPB 2016. Disponível em <<file:///C:/Users/dener/Documents/30203-66786-1-PB.pdf>> Acesso em 10 de setembro de 2018.

BLAIN, Gabriel Constantino. **Aplicação do conceito do índice padronizado de precipitação à série decenal da diferença entre precipitação pluvial e evapotranspiração potencial**. Campinas-SP, 2010. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v70n1/v70n1a31.pdf>> Acesso em 13 de setembro de 2018.

BLAIN, Gabriel Constantino. **Análise comparativa dos índices de seca de Palmer, Palmer adaptado e índice padronizado de precipitação no estado de São Paulo.** Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo 2006. Acesso em 2 de setembro de 2018.

CAMPOS, José Nilton B. **Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos;** Estudos Avançados 28 (82), 2014. Fortaleza-CE, 2014. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v28n82/05.pdf>> Acesso em 25 de agosto de 2018.

CANAMARY, Eryca Acioli. **AVALIAÇÃO DE ÍNDICES PARA FINS DE MONITORAMENTO E PREVISÃO DE SECAS NO NORDESTE SETENTRIONAL; DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS.** Brasília-DF, 2015. Disponível em <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/19732/1/2015_EricaAcioliCanamary.pdf> Acesso em 22 de agosto de 2018.

CASTRO, Cesar Nunes de. **A AGRICULTURA NO NORDESTE BRASILEIRO: OPORTUNIDADES E LIMITAÇÕES AO DESENVOLVIMENTO.** Rio de Janeiro, 2012. Disponível em <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1011/1/TD_1786.pdf> Acesso em 21 de agosto de 2018.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – **Convivência com a seca** – Disponível em <<https://www.embrapa.br/tema-convivencia-com-a-seca/perguntas-e-respostas>> Acesso em 21 de agosto de 2018.

FERNANDES, Diego Simões *et al.* **Índices para a Quantificação da Seca.** Santo Antônio de Goiás-GO, 2009. Disponível em <http://www.simehgo.sectec.go.gov.br/downloads/publicacoes/artigos/doc_244.pdf> Acesso em 12 de setembro de 2018.

FERREIRA, Luciana Kamila Rodrigues. **ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE ÍNDICES DE SECA APLICADOS À REGIÃO DO ALTO**

JAGUARIBE – CEARÁ; PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – ÁREA DE CONCENTRAÇÃO RECURSOS HÍDRICOS. Fortaleza, 2016.

Disponível em

<http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/21102/1/2016_dis_lkrferreira.pdf>

Acesso em 13 de setembro de 2018.

FOLHES, Marcelo Theophilo et al. **PREVISÕES TRADICIONAIS DE TEMPO E CLIMA NO CEARÁ: O CONHECIMENTO POPULAR À SERVIÇO DA CIÊNCIA.**

Uberlândia-MG, 2007.

FREITAS, M.A.S. **O Fenômeno das Secas no Nordeste do Brasil: Uma abordagem conceitual.** In: IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 2008.

FREITAS, Marcos Airton de Sousa. **O FENÔMENO DAS SECAS NO NORDESTE DO BRASIL: UMA ABORDAGEM CONCEITUAL,** IX Simpósio de Recursos Hídricos do

Nordeste. Fortaleza-CE, 2008. Disponível em

<https://www.researchgate.net/publication/275958879_O_FENOMENO_DAS_SECA_SNO_NORDESTE_DO_BRASIL_UMA_ABORDAGEM_CONCEITUAL> Acesso em 3 de setembro de 2018.

Fundo das Nações Unidas para a Infância – UNICEF - **Os efeitos da seca na vida das crianças e adolescentes do Ceará e propostas de solução.** Fortaleza-CE

2014. Disponível em <https://www.unicef.org/brazil/pt/os_efeitos_da_seca.pdf>

Acesso em 10 de setembro de 2018.

GAMA, Claudeam Martins da et al. **SECAS: UMA “TRAGÉDIA SOCIOECONÔMICA”.** Disponível em

<http://editorarealize.com.br/revistas/aguanosemiarido/trabalhos/Modalidade_4datahora_31_10_2013_16_54_54_idinscrito_370_d7a051e5e2a6d2a7dfdda9bc2fb5473a.pdf> Acesso em 3 de setembro de 2018.

GOIS, Givanildo de et al. **SEVERIDADE DA SECA NO ESTADO DO TOCANTINS E SUAS RELAÇÕES COM OS EVENTOS DE EL NIÑO.** Goiânia-GO, 2013. Disponível

em<<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/agrarias/severidade%20da%20seca.pdf>> Acesso em 18 de setembro de 2018.

Governo do Estado do Ceará - **PLANO ESTADUAL DE CONVIVÊNCIA COM A SECA AÇÕES EMERGENCIAIS E ESTRUTURANTES** – Fortaleza, 2015. Disponível em<http://www.ipece.ce.gov.br/estudos_sociais/politicas_publicas/Plano_Convivencia_com_a_Seca_02_03_2015.pdf?repeat=w3tc> Acesso em 22 de agosto de 2018.

GUEDES, Roni Valter de Souza et al. **Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, 2012. Disponível em <abes-dn.org.br> Acesso em 25 de agosto de 2018.

GUIMARÃES, Paulo Ricardo B. **Análise de Correlação e medidas de associação**. Disponível em < <https://docs.ufpr.br/~jomarc/correlacao.pdf>> Acesso em 19 de setembro de 2018.

JR, Richard R. Heim. **Uma revisão do XX século Seca índices utilizados nos Estados Unidos**. Asheville, Carolina do Norte, 2002. Disponível em < <file:///C:/Users/dener/Desktop/277954cd5985b244a7522333263789ff242c.en.pt.pdf>> Acesso em 26 de agosto de 2018.

LIRA, Sachiko Araki. **ANÁLISE DE CORRELAÇÃO: ABORDAGEM TEÓRICA E DE CONSTRUÇÃO DOS COEFICIENTES COM APLICAÇÕES**. Curitiba-PR, 2004. Disponível em <http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/dissertacao_sachiko.pdf> Acesso em 18 de setembro de 2018.

MARTINS, Eduardo Sávio P.R. et al. **Monitor de Secas do Nordeste, em busca de um novo paradigma para a gestão de secas**. Série Água Brasil, Brasília-DF, 2015.

MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J. e KLEIST, J. **The relationship of drought frequency and duration to times scale**. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY,

8., 1993, Boston. Anais American Meteorological Society, Boston: PREPRINTS, 1993. p.179 – 184.

MEDEIROS, Giovana Cristina Santos de. **METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA SECA HIDROLÓGICA SOB A PERSPECTIVA DA DEMANDA HÍDRICA**; Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN, 2016. Disponível em <file:///C:/Users/dener/Desktop/DissertacaoGiovanaMedeiros.pdf> Acesso em 25 de agosto de 2018.

MEDEIROS, G.C.; MAIA, A.G.; MEDEIROS, J.D. **SECA HIDROLÓGICA: UMA ABORDAGEM SOB A PERSPECTIVA DA DEMANDA HÍDRICA**; XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. Aracaju-SE, 2016. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/309727399_SECA_HIDROLOGICA_UMA_ABORDAGEM_SOB_A_PERSPECTIVA_DA_DEMANDA_HIDRICA> Acesso em 30 de agosto de 2018.

MILLÉO, Carla. **ANÁLISE DE TENDÊNCIAS NA SÉRIE HISTÓRICA DE PRECIPITAÇÕES EM CURITIBA**; XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília-DF, 2015. Disponível em <file:///C:/Users/dener/Documents/PAP019316.pdf> Acesso em 16 de setembro.

MOURA, Magna Soelma Bezerra de *et al.* **Clima e água de chuva no Semi-Árido**. Disponível em <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/159649/1/OPB1515.pdf>> Acesso em 3 de setembro de 2018.

PAZ, Adriano Rolim da. **Hidrologia Aplicada**; Disciplina Ministrada na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. Caxias do Sul, 2004. Disponível em <http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/apostila_HIDROLOGIA_APLICADA_UE_RGS.pdf> Acesso em 13 de setembro de 2018.

SANTOS, M.S. **Caracterização Espaço-Temporal de Secas Utilizando Ondaletas e o *Standardized Precipitation Index***: Uma Aplicação Para a Parcela Mineira da Bacia do São Francisco, Belo Horizonte, 2011. Acesso em 15 de setembro de 2018.

SAMPAIO, Nilo A de S.; LEONI, Roberto Campos. **UTILIZAÇÃO DOS TESTES DE HIPÓTESES PARA A MÉDIA NA TOMADA DE DECISÃO**. São Paulo, 2015. Disponível em <<https://www.aedb.br/wp-content/uploads/2015/05/545.pdf>> Acesso em 20 de setembro de 2018.

SILVA, F.B.; AZEVEDO, J.R. **ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DE SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO BRÍGIDA – PE**; XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Disponível em <<file:///C:/Users/dener/Documents/PAP022136.pdf>> Acesso em 14 de setembro de 2018.

SILVA, Tais Medeiros. **TESTE t-STUDENT TESTE IGUALDADE DE VARIÂNCIAS**; Trabalho apresentado para obtenção de nota parcial na disciplina Estatística Aplicada. Belém-PA, 2014. Disponível em <http://www.ufpa.br/heliton/arquivos/aplicada/seminarios/M1_01_Testes_t_Tais.pdf> Acesso em 21 de setembro de 2018.

SOARES, Edmilson. **Seca no Nordeste e a transposição do rio São Francisco**. Universidade Estadual Paulista, Campus de Ourinhos/SP 2013. Disponível em <<http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geografias/article/viewFile/593/463>> Acesso em 11 de setembro.

ULIANA, Eduardo Morgan *et al.* **Índice de precipitação padronizado: estudo de caso para região noroeste do Estado do Espírito Santo, Brasil**. Sinop-MT, 2017. Disponível em <<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/4669/3727>> Acesso em 16 de setembro.

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Curitiba - **APOSTILA DE HIDROLOGIA APLICADA**. Curitiba-PR, 2010. Disponível em <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2014/03/hidro_celimar.pdf> Acesso em 14 de setembro de 2018.

VERA, Carmo. **Correlação**. Disponível em <http://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/Correlacao/Correlacao_Pearson_Spearman_Kendall.pdf> Acesso em 18 de setembro.

VIVAS, Eduardo Bruno de Freitas. **AVALIAÇÃO E GESTÃO DE SITUAÇÕES DE SECA E ESCASSEZ**. Dissertação para Doutorado em Engenharia Civil na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011. Acesso em 19 de setembro de 2018.

WMO – World Meteorological Organization. **Preventing and mitigating natural disasters**, 2006. Acesso em 25 de setembro de 2018.

ANEXO 1

Dados pluviométricos do posto 639007

Série: NARANIU 00639007 (Importado, Bruto, 01/1961 - 01/2001)													
Totais Diários	Gráfico de Totais Diários			Totais Mensais	Máximas Mensais	Dias de Chuva Mensais			Leituras Mensais			Situação Mensal	
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1967	90,5			151,3	133,5	16,0	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	53,7	
1968	84,5	77,2	224,8	159,4	141,9	5,4	0,0	0,0		0,3	12,5	102,7	
1969	184,2	120,1	101,5	211,5	143,7	85,3	23,8	7,4	23,6	17,5	0,0	2,8	921,4
1970	138,4	227,2	341,7	42,8	0,0	4,5	6,3	8,0	3,4	3,2	18,0	0,0	793,5
1971	222,2	211,6	53,0	118,9	70,9	32,6	27,8	1,0	24,6	33,7	30,9	30,3	857,5
1972	296,8	113,4	178,0	78,8	34,7	26,2	1,0	40,4	0,0	3,0	0,0	76,7	849,0
1973	131,2	153,6	280,3	349,0	90,1	71,2	86,9	1,4	24,8	45,8	0,5	115,8	1350,6
1974	291,1	212,9	269,3	488,0	178,4	13,4	7,6	0,0	7,2	14,0	20,2	71,6	1573,7
1975	127,7	158,8	380,2	284,5	69,0	68,0	38,8	0,0	2,5	0,0	4,2	188,8	1322,5
1976	30,2	336,7	425,6	74,5	1,2	19,0	0,0	0,0	4,5	170,1	68,1	57,6	1187,5
1977	87,3	259,0	324,6	312,8	176,6	59,1	16,4	1,5	0,0	71,5	3,0	118,6	1430,4
1978	184,3	244,6	117,6	185,9	187,7	15,1	45,6	8,0	17,5	0,0	50,9	19,5	1076,7
1979	132,0	63,4	130,0	78,6	121,8	2,6	4,4	8,2	47,3	32,3	7,7	13,6	641,9
1980	176,7	289,0	111,0	44,3	73,1	7,0	25,6	0,0	0,0	48,2	13,9	30,6	819,4
1981	210,4	78,1	257,5	97,2	60,4	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	74,8	786,1
1982	145,1	325,4	73,2	139,1	31,0	12,5	12,8	0,0	0,0	0,0	4,1	33,7	776,9
1983	36,7	281,4	143,8	7,6	0,0	12,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9	497,4
1984	11,5	85,8	252,0	317,0	123,6	2,8	0,0	0,0	0,0	134,0	0,0	61,0	987,7
1985	204,6	398,7	340,9	288,5	140,8	127,0	58,4	26,0	0,0	0,0	15,2	174,6	1774,7
1986	110,3	149,6	297,6	261,4	96,2	83,6	24,6	5,8	39,2	62,0	77,6	3,0	1210,9
1987	108,6	0,0	570,2	183,8	35,8	70,0	0,0	0,0	3,2	0,0	7,8	0,0	979,4
1988	133,4	114,4	299,2	208,7	62,8	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	135,3	964,2
1989	129,8	11,8	176,4	370,0	130,2	30,2	18,2	0,0	16,2	0,0	226,8	452,6	1562,2
1990	46,0	148,2	198,4	247,8	28,8	8,2							
1991													
1992													
1993													
1994													
1995													
1996													
1997													
1998				72,8	0,3							105,0	
1999	124,0	67,6	310,2	82,6	208,4	7,6							
2000	137,7	131,3	159,7	287,1	2,1	6,9							
2001	85,5												

Fonte: Adaptado de Hidro 1.3

ANEXO 2

Dados pluviométricos do posto 639071

Séries													
Série: RIACHO VERDE 00639071 (Importado, Bruto, 01/1999 - 09/2018)													
Totais Diários	Gráfico de Totais Diários			Totais Mensais	Máximas Mensais	Dias de Chuva Mensais			Leituras Mensais			Situação Mensal	
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1999	220,0	187,0	326,0	121,0	140,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,0	1056,0
2000	209,0	290,0	230,0	202,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	127,0	1083,0
2001	68,0	165,0	137,0	81,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	456,0
2002	299,0	76,0	242,0	79,0	39,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	735,0
2003	164,0	134,0	153,0	75,0	50,0	32,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	608,0
2004	637,0	18,0	78,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	733,0
2005	149,0	14,0	354,0	68,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	116,0	723,0
2006	52,0	374,0	372,0	395,0	17,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,0	130,0	1376,0
2007	93,0	261,0	117,0	60,0	50,0	17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	65,0	663,0
2008	257,0	131,0	378,0	206,0	58,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	117,0	1147,0
2009	110,0	182,0	124,0	367,0	272,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1055,0
2010	146,0	0,0											
2011													
2012			0,0										
2013	50,0	91,0	93,0	60,0	73,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	367,0
2014	71,0	433,0	155,0	231,0	67,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,0	31,0	1058,0
2015	27,0	54,0	173,0	63,0	91,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	439,0
2016	262,0	24,0	316,0	44,0	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,0	789,0
2017	176,0	124,0		105,0	87,0	27,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,0	

Fonte: Adaptado de Hidro 1.3

ANEXO 3

Dados pluviométricos do posto 639079

Série: BOA VISTA 00639079 (Importado: Bruto, 12/2006 - 09/2018)													
Totais Diários		Gráfico de Totais Diários			Totais Mensais		Máximas Mensais		Dias de Chuva Mensais		Leituras Mensais		Situação Mensal
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2006													125,0
2007	111,0	319,0	53,0	118,0	50,0	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	789,0
2008	327,0	132,0	386,0	285,0	78,0	19,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1227,0
2009	115,0	202,0	73,0	449,0	227,0	3,0	24,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1100,0
2010	105,0	40,0	94,0	161,0									
2011				20,0									
2012	105,0	152,0	53,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	310,0
2013	48,0	0,0	72,5										
2014													
2015	42,0	44,0	238,0	38,0	110,0	35,0	0,0	0,0	0,0				
2016	242,0	15,0											
2017	93,0	165,0	154,0										

Fonte: Adaptado de Hidro 1.3

ANEXO 4

Algoritmo implementado no MatLab por Torres (2017) coeficiente de Pearson e Spearman

```
function [Pearson,Spearman] = Correla(SPI,Vol)

[nt nz] = size (SPI);
[mt mz] = size (Vol);

i = 1;

for i = 1:nz
    Pearson(i) = corr(SPI(:,i),Vol(:));
    Spearman(i) = corr(SPI(:,i),Vol(:),'type','Spearman');
    i=i+1;
end
```

ANEXO 5

Algoritmo implementado no MatLab por Pereira (2016) cálculo SPI

```
function [SPI] = SPIn(X,Z)

% Matriz X - Matriz com valores de precipitazro
% Z - intervalo de análise, em meses

% Tamanho da amostra
n = size(X,1);

% Número de anos
anos = n/12;

% Calculo do P acumulado
for i = Z:n
    Y(i-Z+1) = sum(X(i-Z+1:i));
end

ny = size(Y',1); % n-Z-1
Yr = Y(14-Z:ny);% Excluir 1a Linha

% Criar Matriz de Imagem
```

```

Iy = reshape(1:ny-13+Z, 12, []);
Ty = Iy';

% Criar Matriz sem a primeira linha
for j = 1:12
    Yc(:,j) = Yr(Ty(:,j));
end

%% Inserir "zeros" a primeira linha

% Gerar zeros
W = zeros(Z-1,1)';

% Juntar com os valores
L = [W Y(1:13-Z)];

%% Inserir Primeira Linha

M = [ L; Yc];

%% Retirar os zeros no calculo do SPI

for k = 1:12
    if k < Z % Celulas que possuem zero
        % Ajustar Distribuicao de Gamma
        pd = fitdist(M(2:anos,k),'Gamma');
        % Retorna o valor da propabilidade acumulada
        N(2:anos,k) = cdf(pd,M(2:anos,k));
        % Devolve o zero
        N(1,k) = 0;
    else
        % Ajustar Distribuicao de Gamma
        pd = fitdist(M(:,k),'Gamma');
        % Retorna o valor da propabilidade acumulada
        N(:,k) = cdf(pd,M(:,k));
    end
    % Calculo do m
    m(k) = 0;
    for l = 1:anos
        if M(l,k) == 0;
            m(k) = m(k) + 1;
        else
            m(k) = m(k);
        end
    end
    % Retirar os "zeros" no calculo do m
    if k < Z
        m(k) = m(k)-1;
    else
        m(k) = m(k);
    end

    % Cálculos do valores corrigidos
    q(k) = m(k)/anos;
    H(:,k) = q(k) + (1-q(k))*N(:,k);
end

co = 2.515517;
c1 = 0.802853;
c2 = 0.010328;

```

```

d1 = 1.432788;
d2 = 0.189269;
d3 = 0.001308;

for o = 1:12
    for p = 1:anos
        if H(p,o) > 0.5
            Aux(p,o) = 1/(1-H(p,o))^2;
            t(p,o) = sqrt(log(Aux(p,o)));
            Aux1(p,o) = co + c1*t(p,o)+c2*t(p,o)^2;
            Aux2(p,o) = 1+d1*t(p,o)+d2*t(p,o)^2+ d3*t(p,o)^3;
            SPI(p,o) = t(p,o) - (Aux1(p,o))/(Aux2(p,o));
        else
            Aux(p,o) = 1/(H(p,o))^2;
            t(p,o) = sqrt(log(Aux(p,o)));
            Aux1(p,o) = co + c1*t(p,o)+c2*t(p,o)^2;
            Aux2(p,o) = 1+d1*t(p,o)+d2*t(p,o)^2+ d3*t(p,o)^3;
            SPI(p,o) = -t(p,o) + (Aux1(p,o))/(Aux2(p,o));
        end
    end
end

% Os Z-1 elementos devem ser iguais a -99
R = -99*ones(Z-1,1);

SPI = reshape(SPI',n,1);

SPI = [R; SPI(Z:n)];

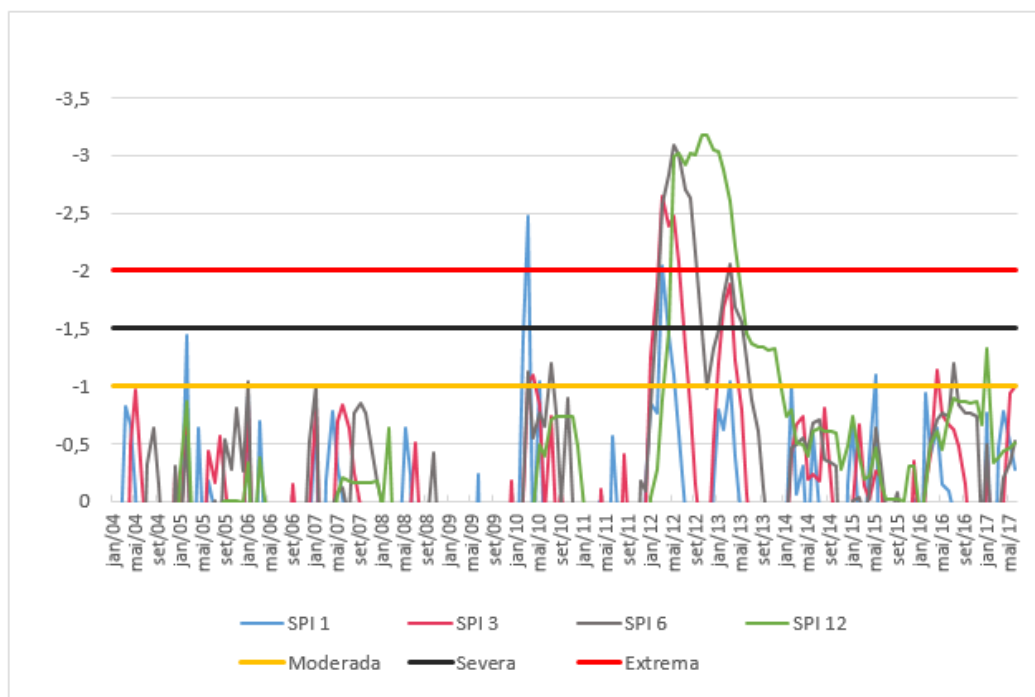
% Plotar gráfico
A = 1:n;

plot(A, SPI, 'b')
xlabel('Tempo');
ylabel('SPI');
title(['SPI']);
legend('SPI');
end

```

ANEXO 6

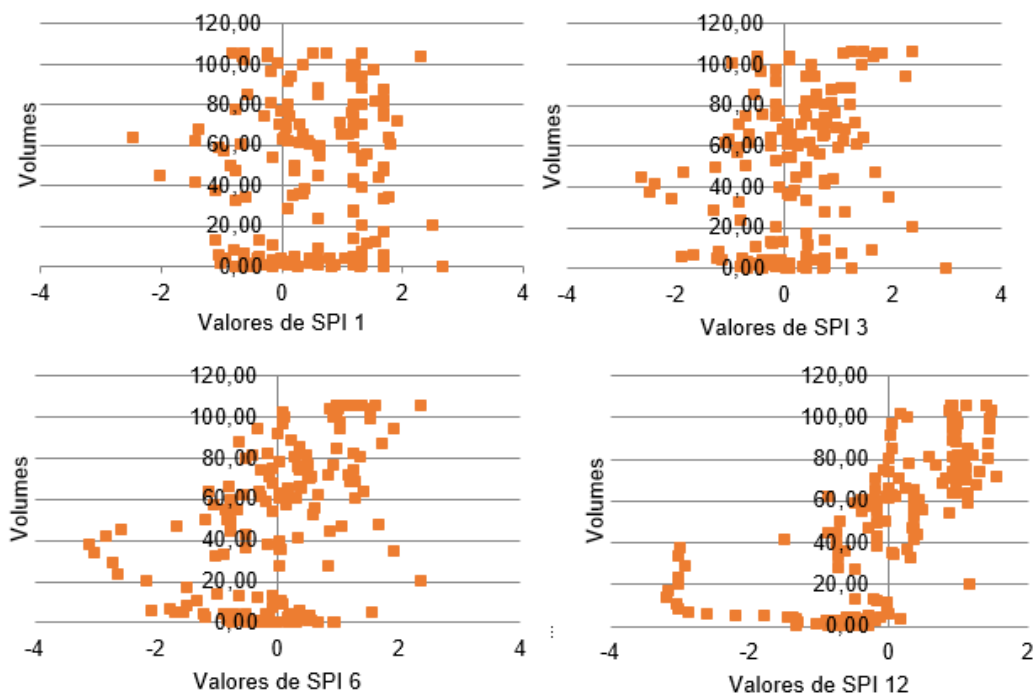
Dados de SPI negativos para o município de Independência



Fonte: Adaptado de Torres (2017)

ANEXO 7

Gráfico de dispersão entre valores de volume e SPI para o município de Independência



Fonte: Adaptado de Torres (2017)