



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

**ANA MARIA TORRES DA SILVA**

**RELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE SECA E OS**  
**VOLUMES ARMAZENADOS NOS RESERVATÓRIOS DO**  
**MUNICÍPIO DE INDEPENDÊNCIA - CE**

Delmiro Gouveia –AL

2017



ANA MARIA TORRES DA SILVA

**RELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE SECA E OS  
VOLUMES ARMAZENADOS NOS RESERVATÓRIOS DO  
MUNICÍPIO DE INDEPENDÊNCIA - 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

2017



ANA MARIA TORRES DA SILVA

RELACÃO ENTRE OS ÍNDICES DE SECA E OS  
VOLUMES ARMazenADOS NOS RESERVATÓRIOS DO  
MUNICÍPIO DE INDEPENDÊNCIA - CE

S586r Silva, Ana Maria Torres da

Relação entre os índices de seca e os volumes armazenados  
nos reservatórios do município de Independência – CE / Ana  
Maria Torres da Silva. - 2017.

49f. : il.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de  
Alagoas, Delmiro Gouveia, 2017.

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

1. Índice de Precipitação Padronizada. 2. Recursos Hídricos.

CDU 628.1

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Campus Sertão/  
UFAL – Delmiro Gouveia

2017

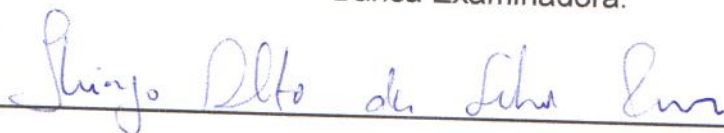
ANA MARIA TORRES DA SILVA

**RELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE SECA E OS VOLUMES  
ARMAZENADOS NOS RESERVATÓRIOS DO MUNICÍPIO DE  
INDEPENDÊNCIA - CE**

Trabalho de conclusão de curso  
submetido a banca examinadora do Curso de  
Engenharia Civil da Universidade Federal de  
Alagoas – UFAL, *Campus do Sertão*, e aprovado  
dia 06 de Dezembro de 2017.

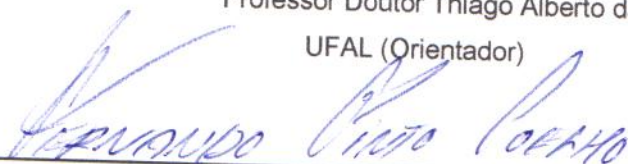
Orientador: Prof. Dr. Thiago Alberto da Silva  
Pereira.

Banca Examinadora:



Professor Doutor Thiago Alberto da Silva Pereira.

UFAL (Orientador)



Professor Msc. Fernando Pinto Coelho

UFAL - Campus Sertão

Examinador Interno



Professora Dra. Natallya de Almeida Levino

UFAL - FEAC

Examinadora Interna

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me dado capacidade e força para sonhar e lutar. Aos meus pais, Almir e Lena e a minha irmã Aldilene, por estarem ao meu lado mesmo que fisicamente distantes, e principalmente a meu irmão Aldy, por sempre me incentivar e por me mostrar que é possível ir mais longe e ser cada vez mais forte. Agradeço também a minha cunhada Yris e a toda a sua família por terem me dado suporte quando necessário.

Agradeço a todos os professores da Universidade Federal de Alagoas que contribuíram imensamente com minha formação, em especial ao meu orientador Dr. Thiago Alberto Pereira da Silva que me auxiliou no desenvolvimento do trabalho com paciência e dedicação.

Agradeço a todos que fazem/fizeram parte do Grupo Pet Ações das Engenharias pelo acolhimento e aprendizagem compartilhada, em especial a Lucas Araújo, Myllena Barros, Joyce Araújo, Isabelle Araújo, Camylla Moreno, Lucas Gomes e ao Tutor Dr. Antonio de Oliveira Netto.

Agradeço a família que encontrei no Sertão, Grazielly Alves, Karla Carnaúba, Klivia Rêgo, Viviane Regina, pelo carinho e experiências compartilhadas. Em especial a Renata Vale pelas conversas, confidências, apoio e companheirismo, por sempre permanecer ao meu lado e me incentivar em todos os momentos.

Aos amigos que a graduação me deu, Wiu José, Hiago Medeiros e Carlos Sérgio, obrigada por compartilharem comigo conhecimento e pelo incentivo.

Por fim, agradeço a Erica Flor, Daiane Rodrigues e Rayra Silva por me acolherem no final desse ciclo.

## RESUMO

Ao longo da história a seca afligiu diversas civilizações, e devido a sua recorrência e severidade dentro do nordeste brasileiro, vem sendo amplamente discutida nos dias atuais, principalmente por afetar tanto ecossistemas, quanto setores econômicos e sociais. Considerando o período de seca que está ocorrendo no Estado do Ceará e a possibilidade de ocorrência de períodos secos em outras regiões do país, independente das razões que o causaram, há a necessidade de se acompanhar e gerir de forma mais adequada períodos de escassez hídrica. O trabalho objetiva analisar a ocorrência de secas no município de Independência –CE, procurando relacionar os índices baseados na precipitação e os volumes armazenados nos reservatórios do município. A falta de água sempre foi um problema para o município, apesar de existirem diversos açudes, podendo destacar: Cupim, Jaburu II e Barra Velha, que são monitorados pelas COGERH (Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do Ceará). O método do Índice de Precipitação Padronizada (SPI) foi utilizado para avaliar a variabilidade temporal de eventos de seca, assim como suas categorias e em seguida foi comparado com dados de volumes armazenados em reservatórios, verificando uma correlação significativa entre as variáveis estudadas. As melhores correlações foram para eventos de maior duração, ou seja, valores de SPI de escala de maior tempo mostraram ter maior relação com os volumes armazenados nos reservatórios. Evidenciou-se um comportamento crescente da correlação para ambos os reservatórios, mas quando observado somente os valores negativos, que representam os períodos que ocorrem as secas, percebe-se uma tendência decrescente, sendo considerada a possibilidade dessa ocorrência estar relacionada à diminuição de captação de água no período de secas. Portanto, o SPI revela-se como uma ferramenta promissora no monitoramento da seca no município de Independência – CE, de modo que pode ser usada para auxiliar na gestão de eventos extremos de estiagem, podendo contribuir para o gerenciamento dos recursos hídricos no local em estudo, subsidiando um melhor planejamento do uso das águas estocadas nos açudes do município, contribuindo com a gestão das secas, e possibilitando uma melhor convivência com a mesma.

**Palavras-chave:** Secas; Índice de Precipitação Padronizada; Volumes Armazenados; Recursos Hídricos.

## ABSTRACT

Throughout history drought has afflicted diverse civilizations, and due to its recurrence and severity within the Brazilian northeast, has been widely discussed in the present day, mainly because it affects both ecosystems, as well as economic and social sectors. Considering the period of drought that is occurring in the State of Ceará and the possibility of dry periods in other regions of the country, regardless of the reasons that caused it, there is a need to monitor and manage more adequately periods of water scarcity. The objective of this work is to analyze the occurrence of droughts in the municipality of Independência - CE, seeking to relate the indexes based on precipitation and the volumes stored in the reservoirs of the municipality. The lack of water has always been a problem for the municipality, although there are several reservoirs, such as: Cupim, Jaburu II and Barra Velha, which are monitored by COGERH (Management Company and Water Resources of the State of Ceará). The Standardized Precipitation Index (SPI) method was used to evaluate the temporal variability of drought events, as well as their categories and was then compared with data of volumes stored in reservoirs, and verified a significant correlation between the variables studied. The best correlations were for events of longer duration, that is, values of SPI of scale of greater time showed to have greater relation with the volumes stored in the reservoirs. There was an increasing correlation behavior for both reservoirs, but when only the negative values, representing the periods that occur the droughts are observed, a decreasing trend is observed, considering that the possibility of this occurrence is related to the decrease in the uptake of water in the dry season. Therefore, SPI is a promising tool for drought monitoring in the municipality of Independência - CE, so that it can be used to assist in the management of extreme drought events, and may contribute to the management of water resources in the study site, subsidizing better planning of the use of the water stored in the dams of the municipality, contributing to the management of droughts, and enabling a better coexistence with the same.

**KEY WORDS:** Droughts; Standardized Precipitation Index; Stored Volumes; Water resources.

## SUMÁRIO

1	Introdução.....	7
2	Objetivos.....	9
	2.1 Geral.....	9
	2.2 Específicos.....	9
3	Referencial Teórico .....	10
	3.1 Fenômeno das Secas .....	10
	3.2 Índices de Secas .....	14
4	Área de Estudo .....	19
5	Metodologia utilizada.....	23
	5.1 Coleta e análise dos dados .....	23
	5.1.1 Objetos de Estudo .....	23
	5.2 Cálculo do SPI .....	30
	5.3 Cálculo das correlações .....	32
6	Resultados e discussão .....	35
	6.1 Análise dos Eventos de Seca .....	35
	6.2 Correlações .....	37
7	Conclusão .....	43
	Referências .....	45
	Apêndice A.....	48
	Anexo A .....	49



## 1 INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno recorrente que tem afligido diversas civilizações ao longo da história, tal acontecimento merece especial atenção por afetar ecossistemas, setores econômicos e sociais, causando prejuízos.

A Política Nacional de Combate e Prevenção a Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (2015), define seca como um processo que ocorre naturalmente quando a precipitação registrada é significativamente inferior aos valores normais esperados para determinado período, provocando sério desequilíbrio hídrico, o que afeta negativamente a sociedade, a produtividade agrícola e os ecossistemas.

Segundo Santos (2011), a exemplo de outros chamados perigos naturais, as secas são inevitáveis, e o que é possível combater são seus efeitos e não sua ocorrência. A tecnologia atual não permite regularizar volumes de chuvas sobre uma dada região, desse modo, os déficits causados pelo fenômeno sempre ocorrerão.

De acordo com Canamary et al. (2015), muitos países têm optado pela criação de sistemas de alerta, na tentativa de prever a ocorrência dos eventos de seca, podendo assim, buscar formas de tornar a sociedade mais resistente ao fenômeno das secas. Para tanto, essa ação necessita de mecanismos que permitam identificar a ocorrência e severidade dos eventos de seca em diferentes regiões. Esses mecanismos geralmente se baseiam em índices de seca, que caracterizam a frequência, a duração e a severidade dos eventos.

Para Santos (2011), a importância de estudos sobre o assunto, está na possibilidade de identificar e potencializar a gestão dos efeitos da seca. Podendo antecipar o entendimento da seca como um fenômeno meteorológico, sendo possível resultar delas impactos, danos ou desastres. Para uma boa gestão, portanto, deve-se partir de uma boa caracterização do fenômeno e implantação de medidas que mitiguem a ocorrência de desastres.

Tendo em vista o entendimento e relevância da problemática, sendo as secas fenômenos inevitáveis que precisam ser investigadas e monitoradas, considerando o período de seca que está ocorrendo no Estado do Ceará e a possibilidade de ocorrência de períodos secos em outras regiões do país, independente das razões que o causaram, há a necessidade de se acompanhar e gerir de forma adequada períodos de escassez hídrica.

Sendo assim, o intuito do trabalho é analisar a ocorrência de secas no município de Independência –CE, procurando relacionar os índices baseados na precipitação com os volumes armazenados nos reservatórios do município, de modo que possa auxiliar na gestão de eventos extremos de estiagem, podendo contribuir para o gerenciamento dos recursos hídricos no

município.

A falta de água sempre foi um problema para o município de Independência, que em períodos de longa estiagem sofre com a redução do volume dos reservatórios que abastecem a cidade, e por algumas vezes chegam até a secar totalmente. No município se encontram diversos açudes, podendo destacar: Cupim, Jaburu II e Barra Velha, todos são monitorados pelas COGERH (Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do Ceará).

Diante do exposto, é importante caracterizar os eventos extremos de estiagens na bacia, de forma a conhecer o regime de seca na região, subsidiando um planejamento do uso das águas estocadas nos açudes do município. A comparação dos índices de secas com dados de volumes armazenado nos reservatórios podem fornecer informações úteis para os tomadores de decisão a respeito da ocorrência de secas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Procurar relações entre os índices baseados na precipitação e os volumes armazenados nos reservatórios do município de Independência, com o intuito de auxiliar na gestão de eventos extremos de estiagens.

### **2.2 Específicos**

- Analisar a ocorrência e frequência de secas no município;
- Calcular os volumes médios mensais armazenados nos reservatórios Jaburu e Barra Velha.
- Verificar a aplicabilidade de índices para esse tipo de análise.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Fenômeno das Secas

A seca é um fenômeno climático que afeta drasticamente uma região, estando associada a graves danos econômicos e sociais. Causando impactos em grandes áreas espaciais e em diferentes setores da sociedade. Ela é provocada pela ocorrência de precipitações pluviométricas abaixo da média, em um determinado período de tempo, correspondendo a uma característica temporária do clima de uma região, é importante ressaltar que não se pode confundi-la com aridez, pois esta é uma característica permanente do clima sendo resultante de normais pluviométricas muito baixas (Azevedo e Silva, 1994).

De modo geral, as secas são denominadas em função dos fatores naturais que as causam, tal como o clima da região, as distribuições: espacial e temporal das precipitações, a capacidade de armazenamento de água pelo solo, as flutuações dos lençóis freáticos subterrâneos e a qualidade de água armazenada à superfície ou corrente, o que torna extremamente difícil a formulação de uma definição consensual de seca (Souza et al., 2000).

Portanto, a seca é uma característica normal e periódica do clima que causa prejuízos entre os diferentes setores da atividade humana, sendo difícil de detectar o seu início e a monitoração correta (Quiring, 2009). Sendo assim, este fenômeno provoca desequilíbrios hidrológicos importantes, podemos considerar que a insuficiência de precipitação numa determinada região por um período de tempo muito grande causa um fenômeno climático. A grande variedade de setores afetados, a sua diversificada distribuição geográfica e temporal, e a demanda restrita para o abastecimento de água por uso humano torna difícil o desenvolvimento de uma única definição de seca (Heim Jr, 2002).

Avaliada de diferentes maneiras em regiões com condições climáticas e utilização de água diversificadas, de acordo com Mckee et al. (1993), não existe uma definição de seca válida para qualquer região, em qualquer época e ainda adequada a todas as ramificações das sociedades humanas, o que dificulta a sua análise.

Os episódios de secas são classificados por intensidade, a depender da duração e partes do ciclo hidrológico afetadas. Para Freitas (2010), as diversas definições, aspectos e formas de analisar as secas são os principais fatores que ocasionam um não entendimento completo desse fenômeno. Sendo que uma definição única não é aplicável a todas as situações, fazendo com que o conceito de seca varie de região para região.

Nota-se que a seca pode ser relacionada diretamente com a escassez de água, sendo resultante de diversos fatores ou da junção deles, como a exploração dos recursos hídricos,

precipitação baixa ou insuficiente e elevada evaporação. Para Heim Jr (2002), a seca classifica-se em quatro diferentes categorias em função dos seus efeitos, podendo ser: meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica.

A seca meteorológica é caracterizada por um grau de severidade e duração de um período seco, que são relacionados à precipitação. Baseia-se em condições atmosféricas regionais. Essa categoria é expressa apenas com base no grau de secura e na duração do período seco comparados a algum estado “normal”, ou seja, é caracterizada pelo *déficit* da precipitação em relação ao valor normal (Fernandes et al., 2009).

A seca agrícola ocorre quando as disponibilidades hídricas do solo são inadequadas ou insuficientes para atender à demanda evaporativa dos campos cultivados, sendo relacionada à baixa disponibilidade de umidade no solo afetando o desenvolvimento dificultando a sobrevivência das culturas. De acordo com Pires (2003), a seca agrícola geralmente manifesta-se após a seca meteorológica, mas antes da seca hidrológica, e as combinações dos tipos de seca meteorológica e hidrológica estão diretamente ligadas aos impactos na agricultura.

A seca hidrológica refere-se a períodos com níveis dos fluxos superficiais de água (rios, riacho e córregos) e dos reservatórios abaixo do normal. Elas ocorrem quando há existência de secas meteorológicas de longa duração, acrescido de uma redução dos níveis de água subterrânea e conseqüente deplecionamento dos reservatórios, lagos e poços.

A seca socioeconômica pode ser vista não como um tipo de seca, mas sim como conseqüência dos outros tipos de seca definidas anteriormente. Ocorre quando o déficit de água leva a falta de bens ou serviços (energia elétrica, alimentos, etc) devido ao volume de água inadequado (Pereira, 2017). Ela está relacionada ao impacto da seca nas atividades humanas, podendo ser impactos diretos ou indiretos.

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 e, mais tarde, em função da longa duração do período da seca, torna-se uma seca hidrológica com impactos na afluência para reservatórios e lagos. Por último, ocorre a seca socioeconômica, que impacta os setores sociais, ambientais e econômicos. A dimensão e a gravidade do problema são basicamente dependentes da extensão e da duração da seca meteorológica (Silva, 2011).

Segundo Canamary et al. (2015), os efeitos da seca são mais severos quanto maior a fragilidade de uma comunidade. 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.

De acordo com Cavalcanti et al. (2013), os pequenos agricultores da região semiárida

apresentam grande fragilidade para superarem os problemas causados pelas secas, tanto para alimentação dos animais, quanto para obtenção de água para seu próprio consumo.

Segundo Freitas (2010), 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. Ou seja, trata-se de áreas de grande vulnerabilidade para a agricultura. 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.

Historicamente a região Nordeste do Brasil é afetada por grandes secas, o primeiro registro da ocorrência de secas nos documentos portugueses é por volta de 1552, quando os portugueses chegaram à região (VILLA, 2001). Nesta região, a ocorrência de seca é registrada com muita frequência, sobretudo na região semiárida, onde a média pluviométrica anual é em geral muito baixa em relação à da evapotranspiração.

A região Nordeste do Brasil está inserida no denominado polígono das secas, que é um território reconhecido pela legislação como sujeito a períodos críticos de prolongadas estiagens. Compreendendo a uma divisão regional efetuada em termos político administrativo dentro da zona semiárida, apresentando diferentes zonas geográficas com distintos índices de aridez, abrange os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e extremo norte de Minas Gerais e do Espírito Santo. Caracteriza-se basicamente pelo regime de chuvas, definido pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações pluviométricas num curto período de tempo, cerca de três meses, durante o qual ocorrem sob a forma de fortes aguaceiros, de pequena duração, com paisagem típica de semideserto, apresenta a caatinga como vegetação predominante e temperaturas elevadas (CODEVASF, 2017).

Segundo Freitas (2010), no Nordeste brasileiro a precipitação média anual varia de 400 a 1200 mm, esses valores mudam significativamente de um ano para outro, ocasionando na região, secas com duração de vários anos. Sendo a taxa de evapotranspiração potencial anual maior que 2000 mm, ocorrerá um déficit de água na maioria dos meses do ano (julho a dezembro). Entende-se que o maior problema não é necessariamente a quantidade precipitada, mas a forma como as chuvas se distribuem no tempo e espaço.

Pode ocorrer, que em apenas um só trimestre seja registrado 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 (EMBRAPA, 2017).

A ocorrência de secas extremas nessa região ocasiona efeitos catastróficos, pois a mesma caracteriza-se por possuir uma frágil estrutura agrária e industrial. Sendo a agricultura

ainda a base da economia da região, períodos prolongados de secas reduzem a umidade do solo, acarretando enormes perdas às culturas. E torna-se mais vulnerável pela grande concentração de estabelecimentos de agricultura familiar constituídos geralmente, por pequenas propriedades que utilizam o sistema de sequeiro, ou seja, sem irrigação. Os impactos da estiagem afetam os demais setores produtivos e a economia regional (CEMADEM, 2017).

Dentre os impactos causados pela seca pode-se destacar a perda das safras e rebanhos, a redução no abastecimento de água, a deterioração da qualidade da água, a redução na geração de energia elétrica, aumento de conflitos pelo uso da água. O estudo da seca e de seus impactos são de grande importância para o planejamento e gestão dos recursos hídricos (Uliana et al, 2017). Podendo ser também, visto como consequência dos impactos da seca a fome e a imigração para outras regiões do Brasil.

De acordo com Marengo et al (2016), historicamente, eventos de seca nos estados do nordeste brasileiro geraram perdas massivas de produção agrícola e pecuária, perda de vidas humanas pela fome, desnutrição e doenças, e deslocamentos de pessoas, causando grandes impactos sobre a economias regional e nacional.

Sendo as secas fenômenos recorrentes em regiões semiáridas, não se deve enfrentar ou combater, mas conviver com ela. Os impactos ou efeitos de um determinado período de seca sobre a população de uma determinada região ou bacia hidrográfica, irá depender não somente da severidade e duração do evento, mas também das condições sociais e culturais da população atingida. (Freitas, 2010). O entendimento é de que o fenômeno sempre ocorreu e deverá inclusive se agravar e, por isso, não poderá ser combatido, o que pode ser feito, no entanto, é desenvolver propostas e experimentar alternativas para que seja possível conviver com ela. A seca é um evento climático difícil de ser previsto, mas intervenções e estratégias podem ajudar as populações a estarem mais preparadas para conviverem com o fenômeno.

Para Freitas (2010), os prejuízos decorrentes da redução das atividades agropecuárias são, dentre os prejuízos econômicos, o que causa mais impacto no nordeste brasileiro. Com a falta da água, torna-se difícil o desenvolvimento da agricultura e a criação de animais. Desta forma, a seca provoca a falta de recursos econômicos, gerando fome e miséria.

A seca é considerada um dos principais limitantes que afetam a segurança alimentar, sendo que a eficiência produtiva nas regiões mais suscetíveis a esse fenômeno depende de uma série de medidas de monitoramento e mitigação de efeitos negativos, possibilitando através do uso racional e sustentável dos recursos hídricos existentes.

A perfeita compreensão do fenômeno das secas faz-se, portanto, extremamente necessária para o uso sustentável dos limitados recursos hídricos da região. Além disso, estudos

para a melhoria da previsão de secas, com base nos dados hidrometeorológicos disponíveis, e em tempo hábil, de forma a que as medidas a serem tomadas no sentido de minorar seus efeitos possam ser efetivamente implementadas, são de grande valia para a região Nordeste do Brasil. (Freitas, 2008).

Segundo Santos (2011), é improvável que a tecnologia hoje disponível seja capaz de desenvolver um instrumento que evite a ocorrência das secas, contudo são possíveis e desejáveis o uso de instrumentos capazes de reduzir a intensidade e magnitude, minimizando os impactos delas decorrentes. Nesse sentido, a diferenciação do fenômeno físico de seus agravantes deve preceder o desenvolvimento de ferramentas de gestão do fenômeno das secas, as quais devem ser voltadas à redução dos impactos e desastres. Ou seja, o objetivo da gestão de recursos hídricos, naquilo que diz respeito às secas, seria a redução da vulnerabilidade de grupos sociais potencialmente afetados por elas.

Para Pereira (2017), no cenário de alterações climáticas, o uso de uma ferramenta para a previsão da precipitação em qualquer época do ano, mais especificamente para estação seca e considerando as características da região de estudo, tem o intuito de auxiliar na redução dos efeitos da seca, suavizando os impactos causados na economia e na sociedade.

Percebe-se, no entanto, a importância do 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, pois permitem evitar ou corrigir eventuais falhas nas gestões anteriores.

Muitos procedimentos têm sido adotados por pesquisadores na caracterização das secas, uma técnica amplamente utilizada no estudo das secas é o uso dos índices de secas.

### **3.2 Índices de Secas**

Diversos autores vêm discutindo o procedimento para caracterizar as secas na Região Nordeste do Brasil, dentro dessa necessidade, vários índices têm sido desenvolvidos buscando a quantificação dos aspectos climatológicos das secas, objetivando uma definição mais precisa da mesma. Esses índices se fundamentam nas variáveis climatológicas e métodos estatísticos visando determinar a intensidade, a duração e a frequência da sua ocorrência (Barra, 2000).

Devido sua complexidade, a investigação da seca e de seus impactos é compreendida de maneira mais eficaz quando utilizados os índices de medição da severidade da seca. Tais índices são comumente empregados no monitoramento e identificação das secas em várias escalas temporais de acordo com variáveis meteorológicas, como precipitação, temperatura do ar,



evapotranspiração e escoamento superficial, a fim de determinar a intensidade, a duração e a frequência em que essa problemática ocorre.

Para Souza et al (2000), o monitoramento do fenômeno da seca utiliza índices que padronizam em base espacial e temporal essa anormalidade climática. Sendo que, a maioria dos índices tenta sintetizar as informações referentes às condições anormais de baixa pluviometria e seus efeitos potenciais. Empregando esses índices para o monitoramento dos períodos de seca, pode-se desenvolver um sistema de acompanhamento das características dos períodos de seca, assim como medidas mitigadoras, dependendo dos valores atingidos para tais parâmetros (Freitas, 2010).

O monitoramento regional ou estadual do índice de seca pode ser útil para vários propósitos, tais como: fornece às autoridades de planejamento uma ideia do grau de anormalidade relativas das condições do tempo e do clima da região, definir as melhores épocas de semeadura e avaliar as disponibilidades hídricas do solo, verificar a eficiência do sistema de abastecimento de água para os reservatórios, entre outros (Souza et al, 2000).

Nesse contexto, é imprescindível conhecer as características dos eventos da seca, tais como intensidade, recorrência, extensão territorial e sua persistência, já que se pode recorrer a índices de seca, que tem o objetivo de monitorar e mensurar estes eventos, sendo indicadores que caracterizam a magnitude, a duração, a severidade e a extensão espacial da seca. Os índices consistem em equações que incluem variáveis meteorológicas e hidrológicas que, em conjunto com procedimentos estatísticos, expressam numericamente a seca (Barra et al., 2002).

De acordo com Silva (2010), o índice de seca é caracteristicamente um simples número, que se torna muito mais vantajoso nas tomadas de decisões do que uma série de dados. Qualquer índice de seca deve ser suficiente geral para que possa ser usado na modelagem de ocorrência de seca em diferentes regiões climáticas.

Para Santos (2008), não há um índice de seca que seja completamente adequado a todas as circunstâncias, e nenhum dos índices de modo inerente é superior aos demais, porém, alguns índices são mais bem ajustáveis do que outros para determinados estudos e a depender do tipo de uso. Entretanto, os índices de seca variam em grau de complexidade, desde uma simples medida de seca meteorológica tal como os desvios de precipitação em relação a sua média climatológica, até modelos paramétricos de relação água - planta, os quais incorporam as condições de umidade do solo e o manejo do uso da terra para áreas climatologicamente homogêneas.

Segundo Fernandes et al. (2009), a utilização dos índices de seca desenvolvidos por vários pesquisadores para mediar a severidade da seca, 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. O presente trabalho não trata, nem pretende discorrer sobre todos os índices já desenvolvidos, e por isso não serão detalhados. A tabela 1, 2 e 3 resumem de forma simples alguns dos mais utilizados índices de seca, demonstrando suas aplicações, vantagens e desvantagens. Vale ressaltar que nenhum índice é perfeito para todas as situações.

**Tabela 01.** Índices de Seca meteorológica e hidrológica

Índices	Vantagens	Desvantagens
Índice de Seca de Bhalme & Mooley Modificado (MBMDI) “Modified Bhalme & Mooley Drought Index”	Melhoria e adaptação do índice BMDI às condições regionais. Sensível à variação da umidade do solo.	O MBMDI, assim como o índice de Palmer, é válido apenas para locais com solos de composições físicas idênticas.
Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) “Palmer Drought Severity Index”	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).

**Tabela 2.** Índices de Seca Hidrológica

Índices	Vantagens	Desvantagens
Índice de Abastecimento de Água em Superfície (SWSI) “Surface Water Supply Index”	O índice supriu elementos hidrológicos que faltaram ao PDSI.	Mudar uma estação de coleta de dados ou as políticas de gerenciamento de água requer que um novo algoritmo seja calculado. O índice é único para cada bacia, o que limita a comparações entre bacias.
Índice de Recuperação de Seca (RDI) “Reclamation Drought Index”	Como o SWSI, o RDI é calculado à nível de bacia, só que adiciona ao cálculo a variável temperatura. Sua característica principal é esclarecer fatores climáticos e o suprimento de água.	Devido ao fato do índice ser único para cada bacia, as comparações entre bacias são limitadas

Fonte: Adaptado de Fernandes (2009).

**Tabela 3.** Índices de Seca Meteorológica

Índices	Vantagens	Desvantagens
Índice Porcentagem Normal (PN) “Percent of Normal”	Um simples cálculo efetivo para comparação entre uma única região ou estação	Desde que a “normal” é uma construção matemática baseada em um número limitado de anos, não pode sempre refletir tendências climáticas.
Decis (D) “Deciles”	Remove algumas fraquezas de aproximação do PN, fornecendo uma medida estatística exata da precipitação.	Exige no mínimo 30 anos de registro de dados.
Índice de Precipitação Padronizada (SPI) “Standardized Precipitation Index”	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 Anomalia de Chuva (RAI) “Rainfall Anomaly Index”	Difere do índice SWSI por adicionar o valor de temperatura. Diferenças entre o RAI e os mais complexos índices de Palmer são insignificantes.	O indicativo de ano seco, nem sempre garante a ausência de cheias em uma região estudada.
Índice de Seca de Bhalme & Mooley (BMDI) “Bhalme & Mooley Drought Index”	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.

Fonte: Adaptado de Fernandes (2009).

Dentre os índices mais utilizados, segundo Guttman (1998), o SPI (*Standardized Precipitation Index*) representa melhor os possíveis períodos de déficit ou excesso de precipitação. Para Mckee *et al.* (1993 e 1995), criador do SPI, tais escalas, ao serem relacionadas ao *deficit* de precipitação, tornam-se extremamente importantes para caracterizar diferentes tipos de seca. E, segundo Guttman (1998), o SPI, ao ser comparado a outros índices, como o PDSI (Índice de Severidade de Seca de Palmer), representa melhor os possíveis períodos de *deficit* ou excesso de precipitação.

Baseado na probabilidade de precipitação para qualquer escala de tempo, a vantagem de se utilizar o SPI é devido à possibilidade de ser calculado para diferentes escalas de tempo, podendo prever com a antecedência a seca, com menos complexidade que o índice de Palmer. Contudo, há a desvantagem de os valores baseados em dados preliminares poderem mudar e o fato de ser necessário uma série muito longa de dados de precipitação, com no mínimo 30 anos. O método, descrito pela primeira vez por McKee *et al.* (1993), é obtido por meio da

normalização da precipitação mensal a partir de uma função de distribuição de probabilidade. Para o cálculo do SPI é feito a partir da totalização dos registros de precipitação em uma determinada escala de tempo. Sendo a série temporal dos totais de precipitação ajustada a uma função de distribuição de probabilidade, que é transformada em uma função normal de distribuição de probabilidade, de forma que o valor médio do SPI para o local e período desejado seja nulo.

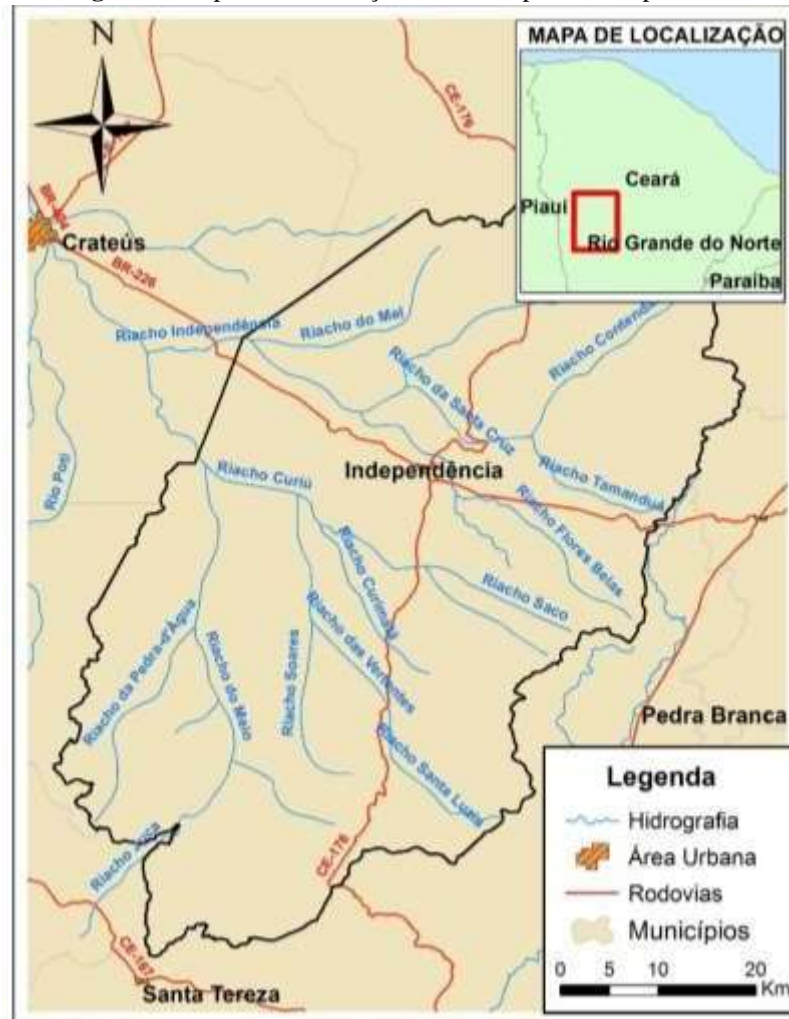
O SPI é comumente utilizado para o monitoramento de condições associadas a secas e excesso de chuva, sua principal característica é a possibilidade de utilização de monitoramento tanto de condições úmidas quanto secas, em diversas escalas de tempo, o que requer interpretações diferentes. Esta flexibilidade temporal possibilita utilizá-lo em várias aplicações, é recomendada a utilização do índice como ferramenta promissora na gestão da seca auxiliando na tomada de decisão. Para o monitoramento de secas a partir do SPI, são considerados apenas os valores negativos do índice. Atualmente, o método é usado pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) para o monitoramento de secas no Brasil.

Neste contexto, a preferência pelo uso do SPI na caracterização de secas no estudo em questão, se justifica pelo fato do método apresentar uma grande versatilidade, podendo ser obtido em diferentes escalas de tempo, com a capacidade de refletir os diversos tipos de seca existentes, já mencionados anteriormente (hidrológica, agrícola, socioeconômica), dependendo da escala de tempo utilizada. Outro fator a ser considerado é a facilidade do cálculo e de sua interpretação e o fato de utilizar apenas uma variável, reduzindo as incertezas decorrentes disso.

#### 4 ÁREA DE ESTUDO

Para o presente estudo, foi escolhido o município de Independência, situado no interior do estado do Ceará, que faz parte da mesorregião dos Sertões Cearenses e da microrregião do Sertão de Crateús. Possui divisa com os municípios de Novo Oriente, Crateús, Pedra Branca, Tauá, Monsenhor Tabosa, Quiterianópolis, Tamboril e Boa Viagem. Possui extensão territorial de 3.218,68 km<sup>2</sup>, sendo considerado o 4º maior município do estado do Ceará; com densidade demográfica de 7,95 hab/km<sup>2</sup> e segundo estimativas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), uma população de 25.967 habitantes em 2017. O município é constituído por seis distritos, Ematuba, Iapi, Jandrangoeira, Monte Sinai e Tranqueiras. Na figura 1, temos o mapa de localização do município dentro do Estado do Ceará, destacando a hidrologia da região.

**Figura 1.** Mapa de Localização do Município de Independência



Fonte: Autora (2017)

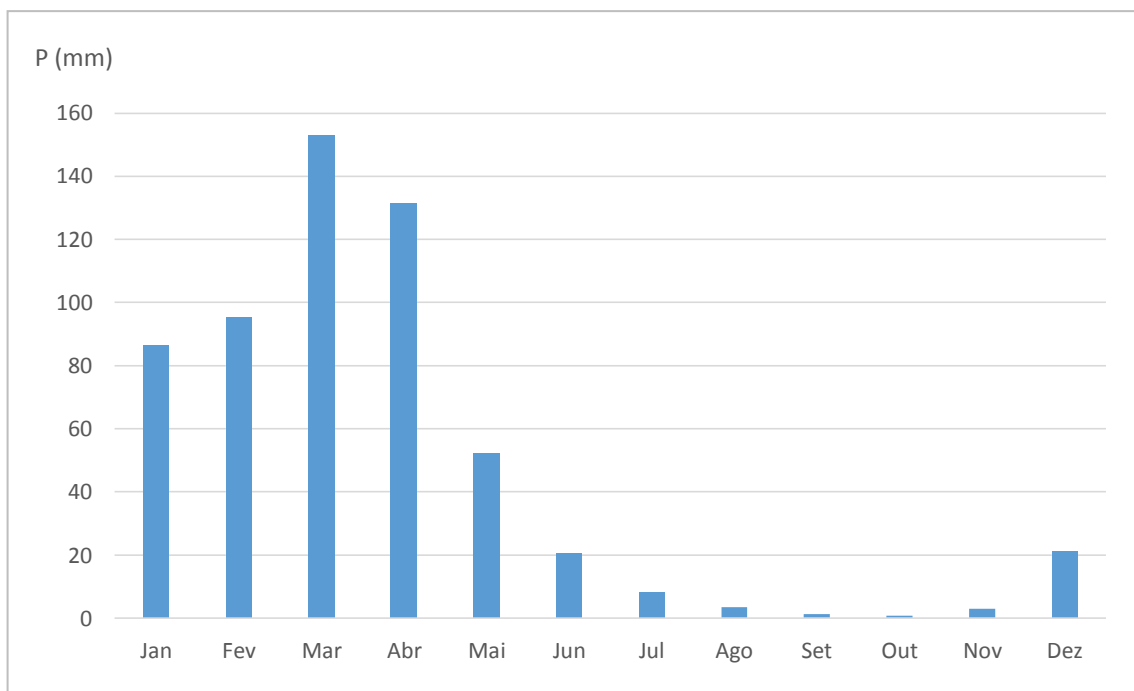
O município pertence a bacia do rio Parnaíba, classificada pela ANA, como sendo hidrologicamente a segunda mais importante da Região Nordeste. Suas microbacias são

relativamente pequenas e curtas, pois seus rios e riachos nascem no próprio município, limitando seu aporte e volume de água. Todos os seus rios são intermitentes, ou seja, secam nos períodos de escassez de chuva.

O clima da região é o tropical semiárido, tendo como bioma predominante a caatinga IPECE (2016). De acordo com dados da Fundação Cearense de Meteorologia – FUNCEME (2017), com base na pluviometria dos anos de 1974 a 2012 a evapotranspiração de referência média anual, calculada pelo método de *Penman-Monteith*, é de 1915,7 mm, impactando em um índice de aridez de 30,9, sendo classificado como semiárido. O município se enquadra no denominado polígono das secas e sempre enfrentou problemas climáticos, sendo considerado um dos municípios mais áridos e com maior índice de desertificação do Estado e, por muitas vezes sofreu por esse motivo.

Na figura 2, observa-se a distribuição da precipitação média ao longo do ano no município. A média foi calculada para o período de 1974 a 2017, com dados referentes a precipitação diária coletados no Portal Hidro Web da Agência Nacional de Águas.

**Figura 2.** Precipitação média mensal no município de Independência no período de 1974 a 2017.



Fonte: Autora (2017).

Em pelo menos sete meses do ano chove muito pouco e a temperatura média alcança 29 graus. O ano tem pouca pluviosidade, sendo a média anual inferior à 600 mm. O período chuvoso ocorre normalmente de janeiro a maio, podendo, devido à irregularidade das pluviosidades, em alguns anos, o período de chuvas ultrapassar esse intervalo ou ser até menor; as temperaturas decrescem um pouco, ficando com aproximadamente 25 graus de média.

A falta de água por muitos anos, foi um problema, inclusive, em períodos de longa estiagem, os reservatórios de abastecimento da cidade secavam totalmente, fazendo com que a população ficasse dependendo dos carros pipa para o abastecimento de água em suas casas.

Segundo o IBGE, em 2014, o município tinha um Produto Interno Bruto – PIB per capita- de R\$ 7.273,85. Na comparação com os demais municípios do estado, sua posição era de 78º de 184 municípios cearenses. O município possui grande extensão territorial, a maior parte da população reside na zona rural e desenvolve atividades agropecuárias que, segundo o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE, em 2013 representava 21,61 % do PIB do município.

No município, se encontram diversos açudes, podendo destacar: Cupim, Jaburu II e Barra Velha, todos monitorados pelas COGERH (Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do Ceará).

O açude Cupim foi o primeiro a ser construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS, no intuito de minimizar a problemática das secas na região, com capacidade de 4.550.000 m<sup>3</sup>, entrando em funcionamento em 1970. Está localizado na zona urbana do município e por muito tempo constituiu a principal fonte de abastecimento de água da cidade, sendo capaz de atender a demanda da população. Mais de 10 anos depois, o açude Jaburu II foi construído, resultado de mais uma obra do DNOCS, sendo concluído em 1984. Com capacidade de 106.000.000 de m<sup>3</sup> (SRH, 2017), foi situado no distrito de Monte Sinai visando atender a carência hídrica da zona rural.

Mesmo com a construção dos dois reservatórios, o município não deixou de sofrer a insolência das secas. Em decorrência do aumento populacional e diante das secas no município a capacidade de água armazenada no açude Cupim, deixou de ser capaz de suprir a necessidade de abastecimento da população. E o fato do açude Jaburu II estar localizado distante da sede do município, inviabilizou, ao menos inicialmente, a utilização do reservatório para o abastecimento de água da cidade. Diante da necessidade, foi construído em 1999 o açude Barra Velha, com capacidade de 99.560.000 m<sup>3</sup>, localizado mais próximo da sede do município, de forma a atender a demanda de água da população da zona urbana (Secretaria de Recursos Hídricos -SRH, 2017).

Ao longo dos anos as secas castigaram a região, de modo que os reservatórios não tiveram recarga efetiva e passaram por situações críticas, perdendo expressivamente seus volumes, chegando a ficar em seu volume morto. A água armazenada pelo açude Barra Velha se tornou imprópria para uso humano, havendo a necessidade do uso de carros pipa. Em dezembro de 2015, em mais uma tentativa de suprir a carência do abastecimento da sede do município, foi

feita uma adutora emergencial que levava a água do açude Jaburu II até a zona urbana do município. No entanto, no início de 2017 o volume de água reservado se tornou insuficiente, impossibilitando o bombeamento de água para o abastecimento da cidade e sendo necessário entrar com outras medidas emergenciais para a obtenção de recursos hídricos, que pudesse atender a demanda existente.

Diante da criticidade da situação, foi necessário, além do uso de carros pipa, a perfuração de poços na zona urbana e rural, que foi realizado através da Superintendência de Obras Hidráulicas (SOHIDRA).

Exposta a situação, é importante perceber a necessidade de caracterizar os eventos extremos de estiagens na bacia, de forma a conhecer o regime de seca na região, para que possa ser feito um planejamento do uso das águas estocadas nos açudes do município.

No entanto, apesar de citados os três açudes, a análise do presente estudo restringe-se aos dados referentes aos Açudes Barra Velha e Jaburu II, por serem considerados de maior importância para a garantia da manutenção do abastecimento do município de Independência, e devido a maior capacidade de armazenamento dos mesmos.

A tabela 4 traz algumas características relevantes dos reservatórios que serão usados para o desenvolvimento do trabalho.

**Tabela 4. Caracterização dos Açudes Jaburu II e Barra Velha**

	<b>Jaburu II</b>	<b>Barra Velha</b>
Bacia	Parnaíba	Parnaíba
Rio/Riacho barrado	Jaburu	Santa Cruz
Bacia Hidrográfica (km <sup>2</sup> )	913,50	856,07
Capacidade (m <sup>3</sup> )	106. 000. 000	99.560.000
Vazão Regularizada (m <sup>3</sup> /s)	0,630	0,500
Conclusão da obra	1984	1999

Fonte: COGERH e ANA (2017).



## 5 METODOLOGIA UTILIZADA

### 5.1 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 Agência Nacional de Águas (ANA), e dados relacionados à volumes dos reservatórios Barra Velha e Jaburu II, localizados no mesmo estado, coletados no Portal Hidrológico do Ceará da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

#### 5.1.1 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 aos reservatórios estudados.

Inicialmente, verificou-se a existência de postos pluviométricos localizados no município de Independência e em municípios vizinhos, que possuíssem uma série histórica com um número maior de duração. Apesar de terem sido encontrados um número grande de postos dentro e próximo ao município, a maioria deles não possuíam uma série muito longa de informações, não sendo representativo para o cálculo do SPI. Foram pré-selecionados 12 postos nessa fase, em função da extensão da série de dados.

A Tabela 5 mostra a identificação e a localização das estações meteorológicas e o respectivo tamanho de suas séries históricas, selecionadas nessa etapa.

**Tabela 5.** Identificação e localização das estações meteorológicas

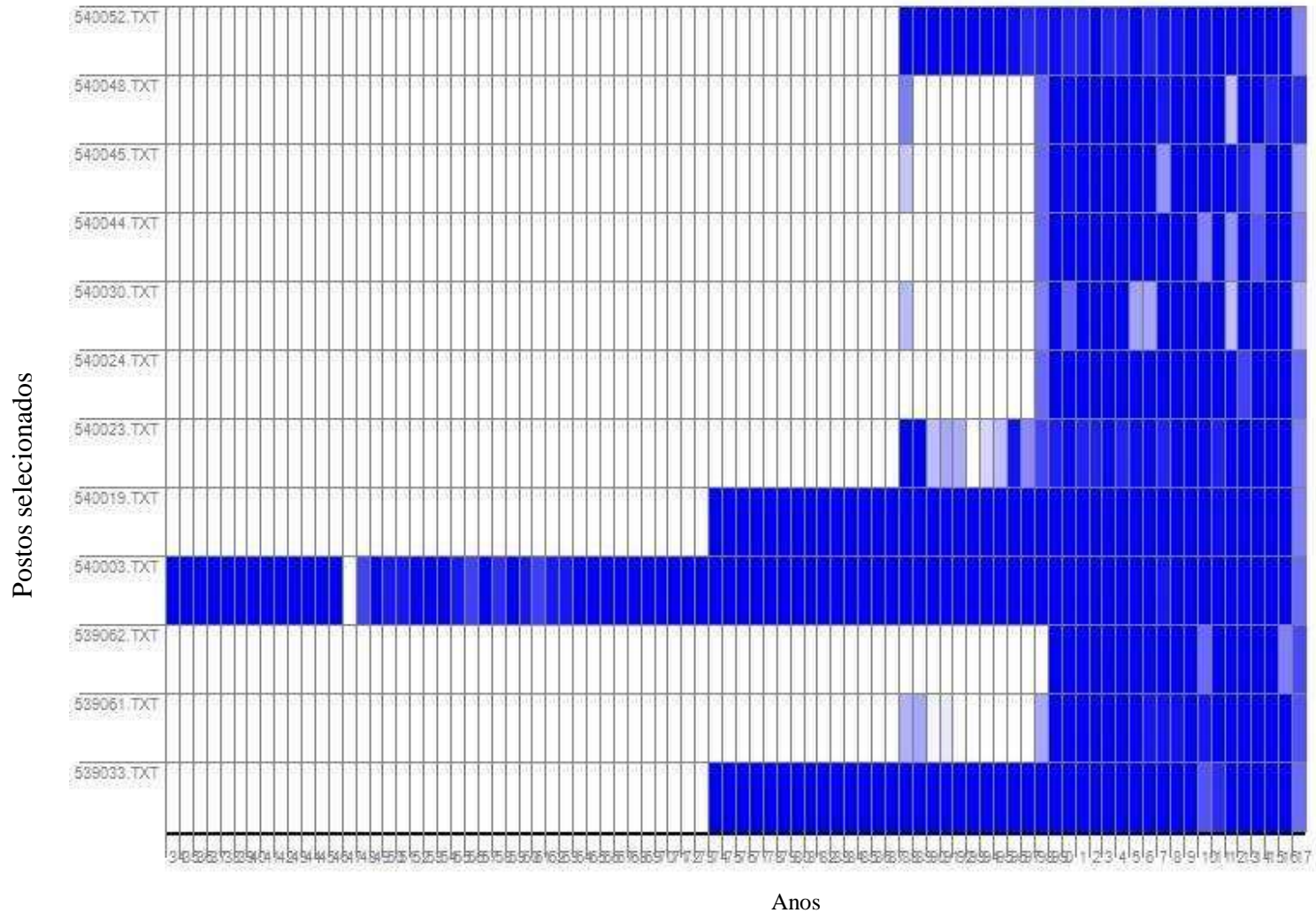
Código da Estação	Coordenadas		Tamanho da Série (anos)
	Latitude	Longitude	
539033	-5°27'0"	-39°43'0'	43
539061	-5°34'0"	-39°38'0'	29
539062	-5°27'0"	-39°44'0'	23
540003	-5°32'19"	-40°46'26'	83
540019	-5°23'37'	-40°18'46'	43
540023	-5°3'0'	-40°56'0'	29
540024	-5°26'0'	-40°51'0'	29
540030	-5°41'36'	-40°20'55'	29
540044	-5°5'0'	-40°18'0'	29
540045	-5°52'0'	-40°35'0'	29
540048	-5°51'0'	-40°27'0'	29
540052	-5°54'0'	-40°42'0'	29

Fonte: Portal *Hidroweb* (2017).

Na fase seguinte, foi observado a existência de falhas nos postos selecionados na primeira fase, figuras 3 e 4. Para essa análise, foi usado *Software* de Manejo e Visualização de Dados Hidrológicos, desenvolvido em 2010 pelo grupo de pesquisa em Hidrologia de Grande Escala (HGE), do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS). Nessa etapa usou-se a duração de toda a série histórica de cada posto selecionado sem se preocupar com a necessidade de padronização.

Para entendimento das figuras, faz-se necessário saber que os retângulos azuis escuros, representam dados 100 % disponíveis para este posto, neste ano. Os retângulos brancos, representam dados indisponíveis para esse ponto neste ano e os retângulos com cores intermediárias (azul mais claro), representam dados disponíveis parcialmente.

**Figura 3.** Análise de falhas dos postos selecionados (1934 a 2017)

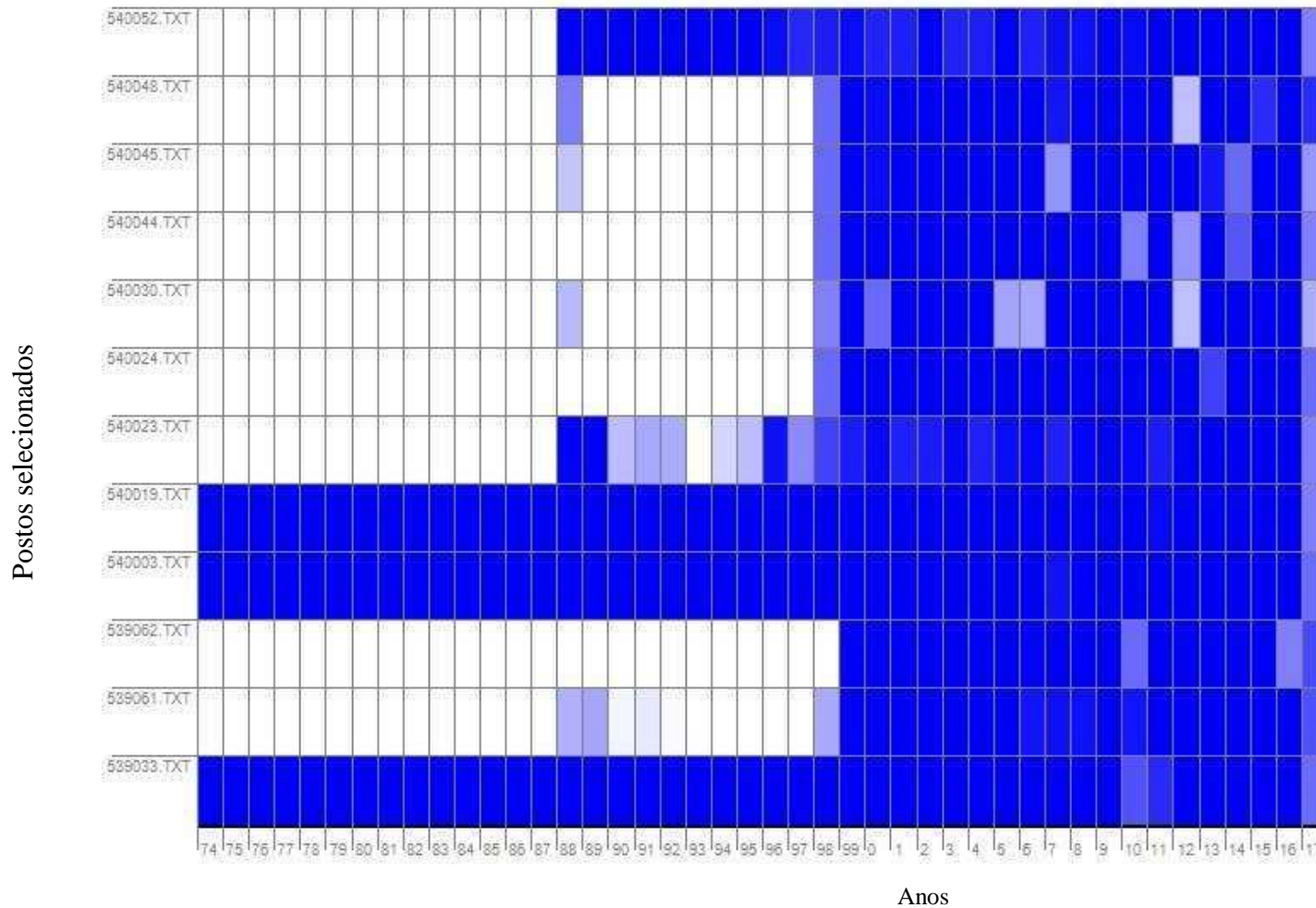


Fonte: *Software* Manejo 4.5 (2017).

Analisando a Figura 3, percebeu-se a existência de um posto com uma série história bem superior às demais, porém, com a existência de

falhas de informação. Assim, reduzimos o período verificado e mais uma vez fizemos o manejo de dados usando as informações referentes ao período de 1974 a 2017 para melhor visualização.

**Figura 4.** Análise de falhas dos postos selecionados (1974 a 2017)



Fonte: *Software Manejo 4.5* (2017).

Através da Figura 5, podemos observar que, verifica-se a distância dos postos em relação ao município e aos reservatórios, a importância dessa etapa é para observar se o ponto selecionado será localizado em uma área de influência dos reservatórios, sendo isso importante para relacionar com os volumes de vazão.

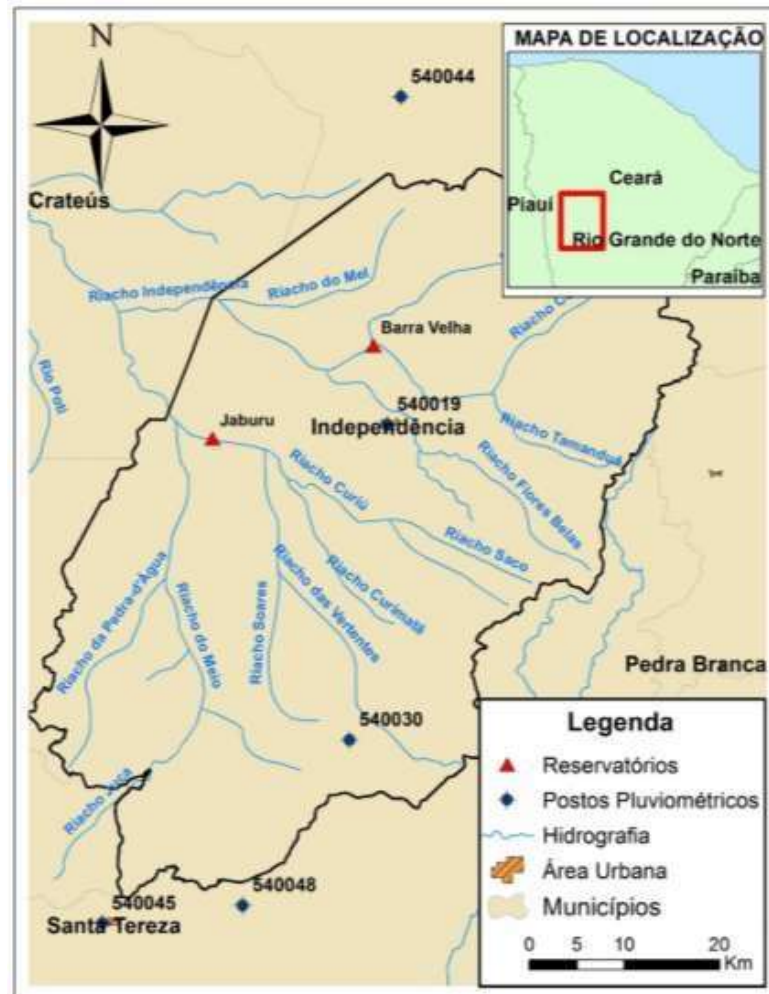
**Figura 5.** Localização dos Postos selecionados



Fonte: Autora 2017

Na figura 6, pode-se observar a localização dos postos e dos açudes estudados.

**Figura 6.** Localização dos reservatórios Jaburu II e Barra Velha e dos Postos selecionados



Fonte: Autora (2017).

Analisando os resultados encontrados, levando em consideração o tamanho da série histórica, a ocorrência de falhas e a distância do posto dos reservatórios estudados, foi escolhido apenas um posto (código 540019), que fica localizado no município de Independência à jusante dos reservatórios.

Apesar de que, para a escolha do posto de medição de chuvas, foi tido o cuidado de obter uma série histórica ininterrupta de precipitações ao longo dos anos, ou seja, uma série longa e com número reduzido de falhas, no posto selecionado, foram encontradas ocorrências de falhas nas observações. Tornando necessário fazer o preenchimento das mesmas.

Para o preenchimento de falhas foi usado o método de ponderação regional, é um método simplificado, geralmente utilizado para o preenchimento de séries mensais e anuais, onde as falhas de um posto são preenchidas através de uma ponderação com base nos dados de pelo menos três postos vizinhos, que devem ser de regiões climatológicas semelhantes à do posto em estudo, e ter uma série de dados de no mínimo 10 anos. 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:

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

$P_x$  - 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: 540003, 540030 e 540045. Estes foram escolhidos por se localizarem em região climatológica semelhante ao posto a ser preenchido e por não conterem falhas no período.

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, isto é, se houve alguma anormalidade na estação pluviométrica, tal como mudança de local, das condições do aparelho ou modificação no método de observação. Para essa análise foi utilizado o método de Dupla Massa, desenvolvido pelo *Geological Survey (USA)*.

O método consiste em selecionar postos de uma região, acumular para cada um deles valores mensais, e plotar num gráfico cartesiano os valores acumulados correspondentes ao posto a consistir em um eixo, e de um posto confiável adotado como base de comparação em outro eixo. No trabalho em questão, foi usado o método aprimorado que consiste em obter-se os valores médios das precipitações mensais acumuladas em alguns postos da região e utilizar a série, que foi formada, como base de comparação. Se os valores dos postos a consistir são proporcionais aos observados na base de comparação, os postos devem se alinhar formando uma reta.

Os dados mensais de precipitação, do período de 1974 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 e sobre os recursos hídricos em geral.

## 5.2 Calculo do SPI

O Índice de seca utilizado na análise foi o Índice padronizado de precipitação (SPI – *Standardized Precipitation Index*), o qual foi calculado a partir do modelo computacional disponibilizado no sítio da *National Drought Mitigation Center*, e os dados de precipitação foram obtidos no portal *hidroweb*, da Agência Nacional de Águas (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 interpretação do SPI de 1 mês 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.

A interpretação do SPI de 3 meses 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. Isto é, equivale às condições de curto a médio prazo de água no solo, além da estimativa da precipitação sazonal.

A interpretação do SPI de 6 meses 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.

A interpretação do SPI de 12 meses 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.

Com essas informações, pode-se calcular inicialmente a precipitação acumulada de cada mês para a escala de tempo escolhida, e ajustar uma distribuição de probabilidade a esse acúmulo de precipitação, estimando os valores da distribuição de probabilidade, correspondente aos valores de precipitação acumulada e convertendo os valores de probabilidade acumulada obtidos em valores do SPI, que correspondem à variável normal reduzida. No trabalho em questão analisamos o SPI em diferentes escalas 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 seca e valores



positivos indicam períodos úmidos. Com esse índice, a intensidade da seca, a magnitude e a duração podem ser determinadas, bem como a probabilidade de surgir, a partir de uma série histórica, uma seca específica.

A distribuição de probabilidade utilizada no ajuste da precipitação acumulada foi o gama dos parâmetros, 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,  $\beta > 0$  o parâmetro de escala,  $x$  é a precipitação acumulada e a função gama.

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

A distribuição gama, conforme exposto na equação (1), só está definida para  $x > 0$ , 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 zeros na amostra. Com isso, o SPI é definido, conforme Pereira e Paulo (2004), como,

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

Em que  $\varphi$  a função de distribuição normal reduzida. Os valores de SPI podem ser classificados conforme a Tabela 6, onde foram considerados valores SPI e sua respectiva classificação.

**Tabela 6.** 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 1974 a 2017, totalizando

43 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.

### 5.3 Cálculo das correlações

Para analisar a existência de correlação dos valores de SPI com os valores de volumes armazenados, utilizou-se a função do coeficiente de correlação de *Pearson* ou simplesmente "r de *Pearson*" e o coeficiente de correlação de *Spearman* ( $\rho$ ). Um coeficiente de correlação mede o grau pelo qual duas variáveis tendem a mudar juntas.

Para fazer a correlação usamos um período comum aos dois dados, que compreende ao período de 2004 a 2017, considerando uma defasagem de 3 meses.

A correlação de *Pearson* avalia a relação linear entre duas variáveis contínuas, considera-se que uma relação é linear quando a mudança em uma variável é associada a uma mudança proporcional na outra variável. O coeficiente de correlação de *Pearson* ( $r$ ) é uma medida de associação linear entre variáveis.

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

$x_i$  e  $y_i$  = valores das variáveis  $x$  e  $y$ .

$\bar{x}$  e  $\bar{y}$  = são respectivamente as médias de valores  $x_i$  e  $y_i$ .

A aplicação da função estatística de *Pearson* permite calcular o grau da correlação, que possui variabilidade entre -1 (correlação negativa perfeita) e +1 (correlação positiva perfeita) e trata-se de uma análise correlacional, que indica a correspondência linear de duas variáveis quantitativas.

$r = 1$  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.

A correlação de Spearman avalia a relação monotônica entre duas variáveis contínuas ou ordinais. Em uma relação monotônica, as variáveis tendem a mudar juntas, mas não necessariamente a uma taxa constante. Esse coeficiente de correlação baseia-se nos valores classificados de cada variável, em vez de os dados brutos. O coeficiente de correlação de postos de Spearman é uma medida de correlação não-paramétrica. Ao contrário do coeficiente de correlação de Pearson, não requer a suposição que a relação entre as variáveis é linear, nem requer que as variáveis sejam quantitativas, pode ser usado para as variáveis medidas no nível ordinal. Este coeficiente é definido como o coeficiente de correlação de Pearson entre os postos (posições) dos valores (e não nos valores originais). 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 ( $x_i, y_i$ )

$d_i$  = (postos de  $x_i$  dentre os valores de  $x$ ) – (posto de  $y_i$  nos valores de  $y$ )

O coeficiente  $\rho$  de Spearman varia entre -1 e 1. Quanto mais próximo estiver destes extremos, maior será a associação entre as variáveis. O sinal negativo da correlação significa que as variáveis variam em sentido contrário, isto é, as categorias mais elevadas de uma variável estão associadas a categorias mais baixas da outra variável.

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%.

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  $n > 30$ ).

Em estatística, aborda-se a questão da significância de um resultado usando-se o conceito de hipótese nula. A hipótese nula ( $H_0$ ) simplesmente assume que um dado resultado estatístico foi obtido apenas por acaso, devido a flutuações probabilísticas dos eventos sendo medidos, e não devido a um efeito real que cause o resultado. Sempre que se trabalha com uma hipótese para explicar um dado fenômeno, temos que considerar a possibilidade de pelo menos uma hipótese concorrente a ela. No caso da estatística, a hipótese concorrente é chamada de hipótese alternativa ( $H_A$ ).

O valor de  $r$  é usado para estimar o coeficiente de correlação  $\rho$  e o teste de significância desse valor consiste em assumir como  $H_0$  que  $\rho = 0$  (ausência de correlação) para verificar se sob tal hipótese o valor obtido para  $r$  é muito ou pouco provável. Se a probabilidade de se obter o valor de  $r$  for menor que um certo valor crítico, rejeita-se  $H_0$  e assume-se como mais provável a hipótese alternativa, segundo a qual  $\rho \neq 0$ .

Para o cálculo foi escolhido um valor crítico  $\alpha$  para a significância. Como a amostra contém  $n$  pares de dados, consultou-se uma tabela da distribuição  $t$  de *Student*, anexo A para a obtenção do valor de  $t(\text{gl})$  para o valor de  $\alpha$  escolhido, onde  $\text{gl} = n - 2$  graus de liberdade.

Usando a equação para encontrar a variável

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

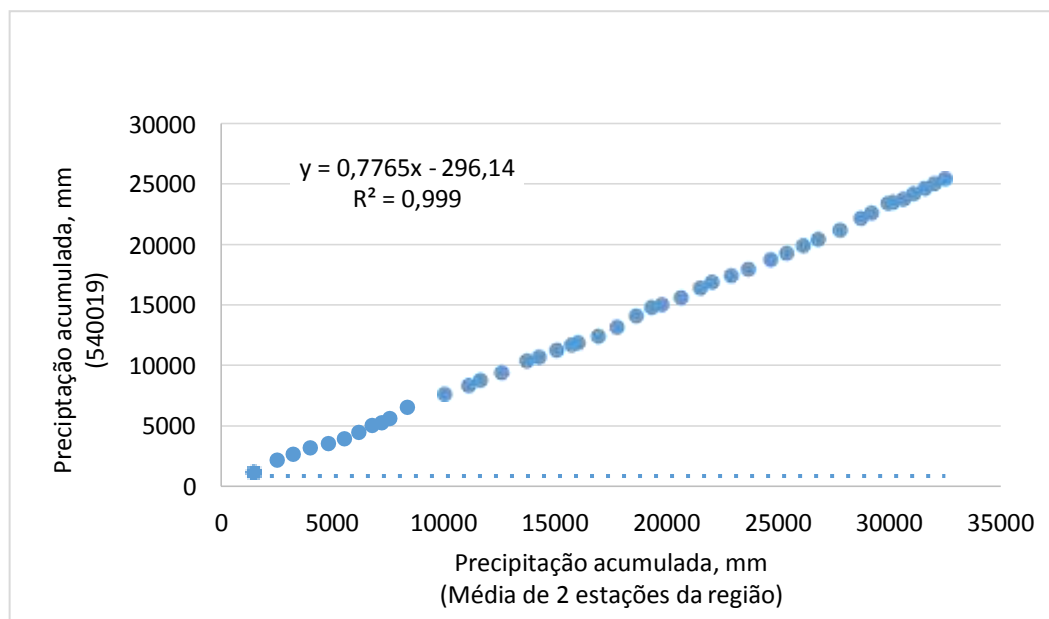
Se  $t_0 > t(\text{gl})$  ou  $t_0 < -t(\text{gl})$ , rejeita-se  $H_0$ , caso contrário, não. Se  $H_0$  for rejeitada, deve-se concluir que o valor de  $r$  obtido para a amostra é significativo, e que existe correlação  $r$  entre as variáveis  $X$  e  $Y$  com nível de significância igual a  $\alpha$  (a probabilidade  $p$  de se errar é menor a  $\alpha$ ). Se  $H_0$  não for rejeitada, deve-se concluir que o valor obtido de  $r$  não é significativo: tanto pode haver correlação  $r$  como não haver correlação ( $\rho = 0$ )

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante do exposto, com base em todo referencial teórico abordado no trabalho, e após a coleta de todos os dados relevantes para a pesquisa, abordar-se á a análise e discussão dos resultados.

Para verificação da análise de consistência usado o método da Dupla Massa, mostrado na figura 6, foram selecionados dois postos, 540003 e 539033, para que fosse feita a média das precipitações mensais acumuladas, como base de comparações. A justificativa para escolha desses postos, se deu porque eles contêm uma série histórica semelhante ao posto em estudo, sendo o período compreendido entre 1974 e 2017, por não apresentar falhas no período e por se localizarem em região climatológica semelhante ao posto em estudo.

**Figura 6.** Análise de Dupla Massa



Fonte: Autora (2017)

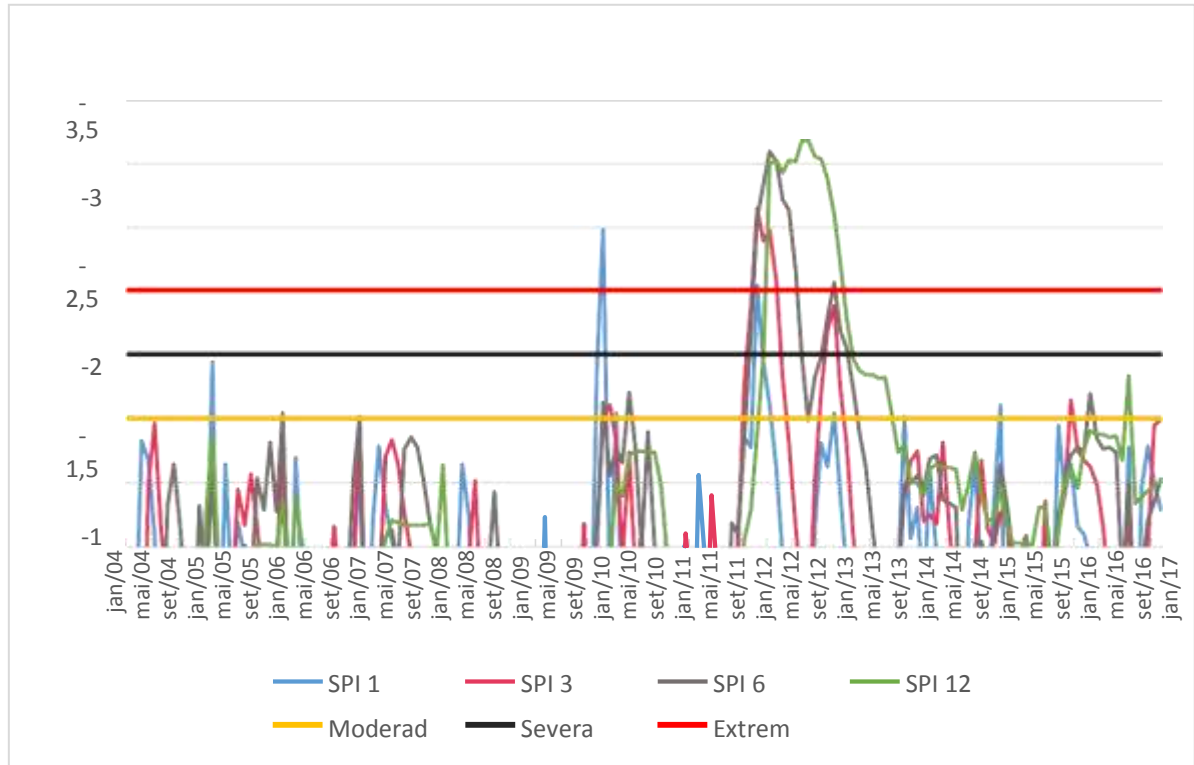
Pode-se observar que após plotar o gráfico os dados se comportam como uma única reta, evidenciando assim, não haver inconsistências, indicando proporcionalidade entre os dados.

### 6.1 Análise dos Eventos de Seca

Na figura 7, 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. figura só

destaca valores negativos, pois esses são os que correspondem aos períodos de seca.

**Figura 7.** Valores de SPI



Fonte: Autor (2017)

É notório que os eventos de seca ocorreram em quase toda a série histórica, sendo evidenciada a ocorrência de secas ligeiras com maior frequência.

Para o SPI 1 as secas moderadas ocorreram em 2005 e votaram a ocorrer com maior regularidade depois de 2010, registrando-se a ocorrência em 2012, 2013 e 2015. Não ocorreram secas severas para SPI de 1 mês nesse período, já as secas extremas, por sua vez, ocorreram em março de 2010 em março de 2012.

Em relação ao SPI 3 no que concerne a secas moderadas registrou-se a ocorrência em pelo menos 2 meses em 2010 e 2013, tendo registros também em um mês de 2012 e voltando a ocorrer em 2016. Neste intervalo de tempo ocorreram secas severas em fevereiro de 2012 e, fevereiro e março de 2013, e as extremas de março a junho de 2012.

Para o SPI na escala de 6 meses observou-se a evolução dos eventos de seca. Em relação a secas moderadas registrou-se a ocorrência nos anos de 2006, 2007, 2010, 2012, 2013 e 2016. Foi possível destacar o episódio de secas severas nos meses de fevereiro de 2012, em fevereiro, abril e maio de 2013 e secas extremas de março a setembro de 2012 e março de 2013.

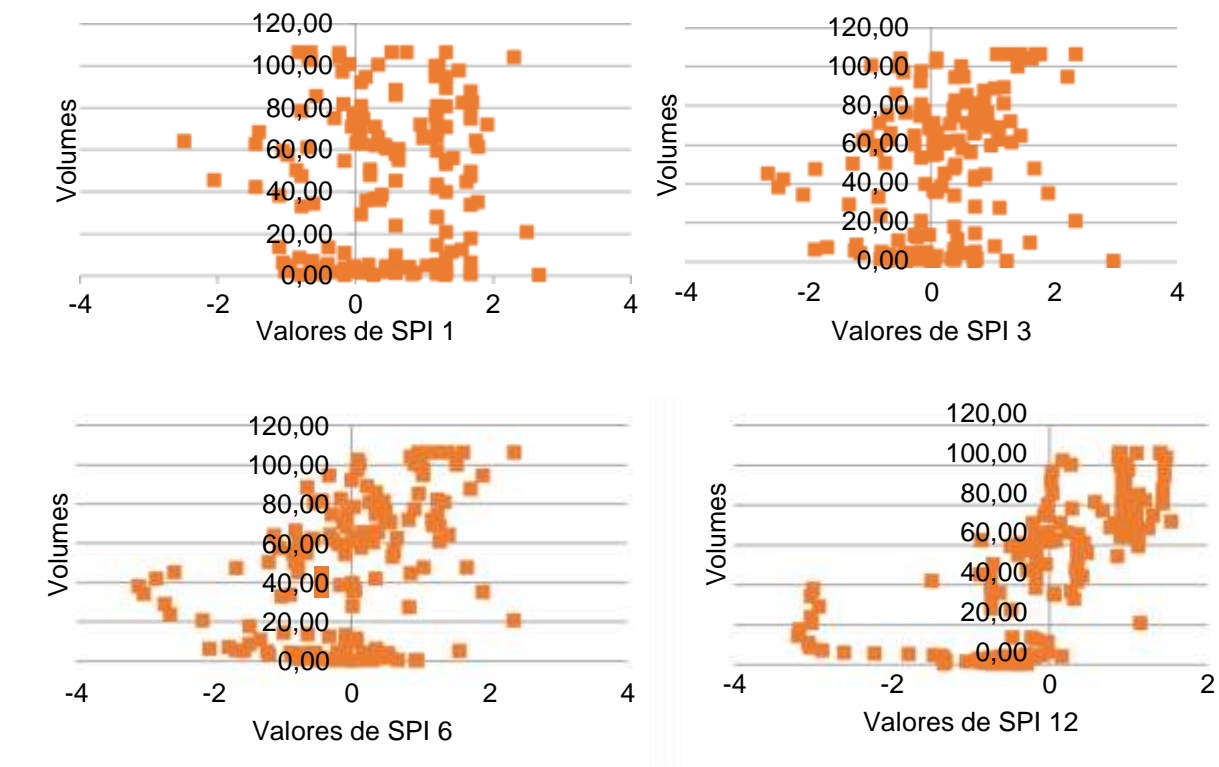
Para a escala de 12 meses, registra-se períodos de secas severas apenas em maio de 2013 e secas extremas no período de maio de 2012 a abril de 2013. Nota-se que em alguns intervalos não se detectam esses eventos, sendo períodos que possivelmente foram úmidos. Para o SPI12 fica evidente que a severidade das secas a partir de 2012 se intensificaram, tendo um declínio em 2013 e sendo registradas após esse período apenas a ocorrência mais frequente de secas ligeiras.

No geral, percebe-se que teve mais episódios de seca para SPI de 6 e 12 meses, ou seja, séries com acumulados maiores evidenciando secas mais prolongadas na região.

## 6.2 Correlações

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

**Figura 8.** Dispersão entre volumes e valores de SPI do reservatório Jaburu II.

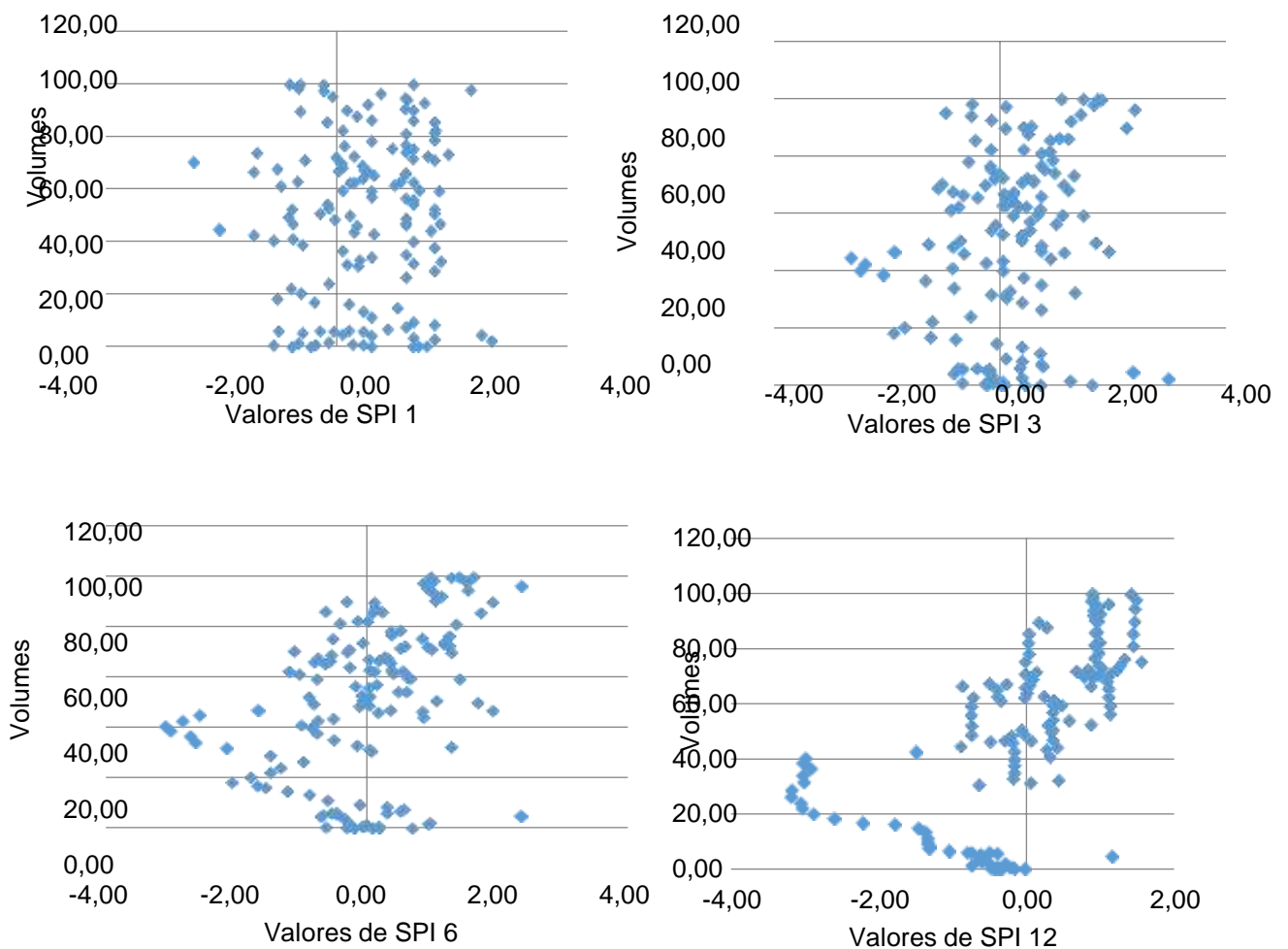


Fonte: Autor (2017)

Embora a dispersão seja grande, percebe-se uma relação crescente identificando volumes baixos com valores negativos de SPI e volumes mais elevados com valores de SPI positivo. Isso fica mais nítido para os valores de SPI de 6 e 12 meses.

Na figura 9, temos os gráficos de dispersão entre os volumes do reservatório Barra Velha e valores de SPI de 1, 3, 6 e 12 meses.

**Figura 9.** Dispersão entre volumes e valores de SPI do reservatório Barra Velha



Fonte: Autora (2017)



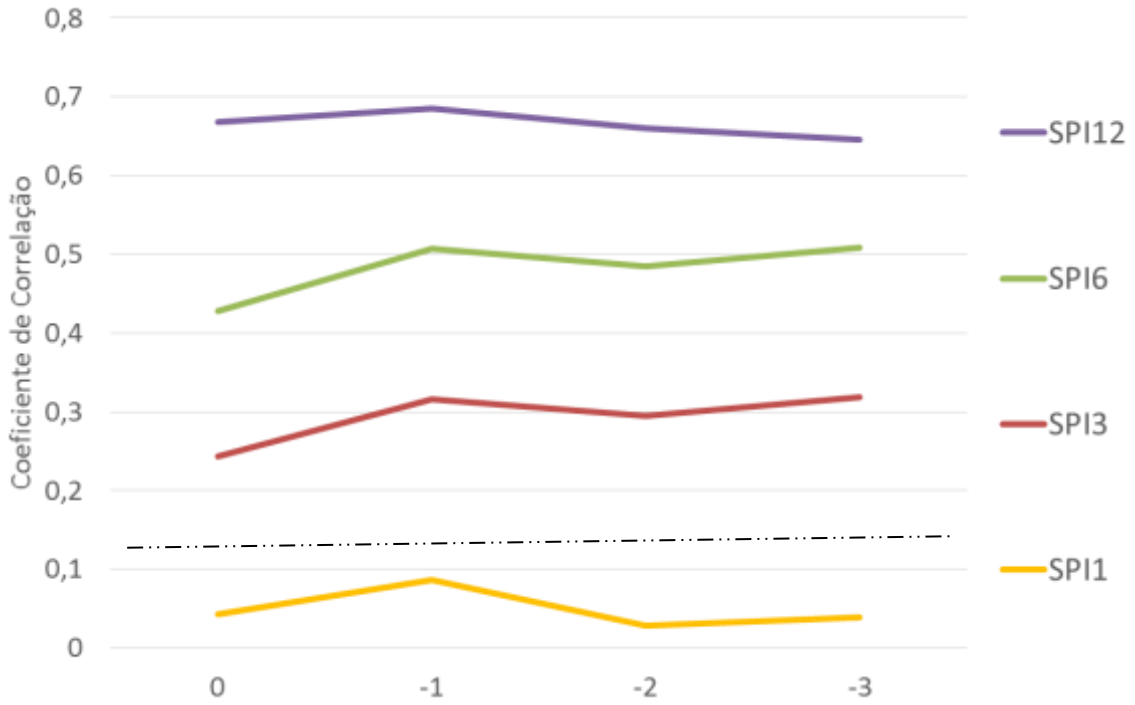
Assim, como o reservatório anterior, verifica-se uma tendência crescente na relação entre volumes e valores de SPI de 6 e 12 meses. No lado negativo que são valores que evidenciam a ocorrência de secas em geral os volumes são mais baixos. Para o SPI de 12 meses pode-se verificar melhor essa tendência.

Em ambos os reservatórios, analisando apenas os períodos de seca que são representados pelos valores negativos de SPI, é possível verificar uma curva decrescente. O que pode parecer uma contradição, pois evidência um aumento do volume de água reservado em períodos de secas de maior intensidade. Esse fato pode ser explicado por ocorrer redução da captação de água dos reservatórios no período de secas persistentes e mais severas, principalmente para consumo humano, já que com a redução do volume a qualidade da água fica ruim, tornando-se muitas vezes imprópria para esse fim. Geralmente, nesses períodos, a liberação de água através de comportas para fins de irrigação são reduzidos ou até suprimidos. E são realizadas medidas emergenciais como o abastecimento através do uso de carros pipas e a utilização de águas subterrâneas.

Observa-se que o açude Jaburu II passa por períodos maiores de volumes reduzidos, chegando, em alguns momentos, ao seu total colapso. Isso pode ser entendido por o açude em questão ter sido utilizado por um longo período, quase que exclusivamente, para fins agrícolas, não sendo visto como fonte necessária para o abastecimento do município. Desse modo, as comportas que regularizavam o escoamento eram abertas com grande frequência para alimentarem pequena ou média irrigação para aproveitamento agrícola das terras de jusante do açude.

Nas figuras 10, 11, 12 e 13 temos o resultado das correlações de *Pearson* e *Spearman* dos valores de SPI e os valores de volumes armazenados nos reservatórios Jaburu II e Barra Velha. Essas correlações foram calculadas através de programação implementada no *Matlab*<sup>®</sup>.

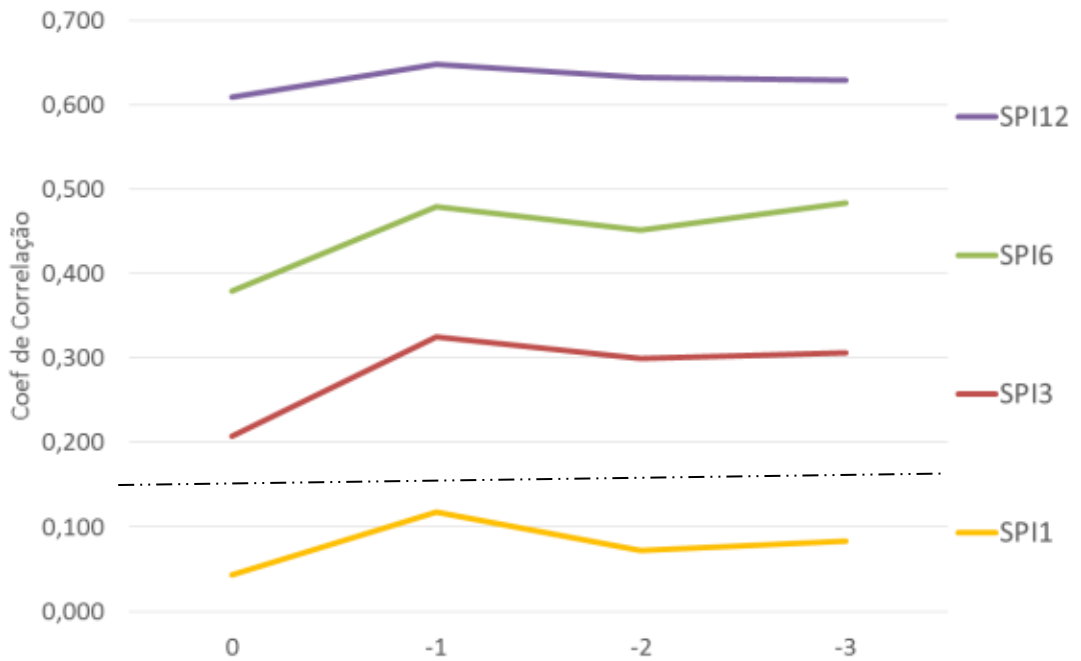
**Figura 10.** Coeficiente de *Pearson* entre SPI e Volumes do reservatório Jaburu II



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

Fonte: Autora (2017)

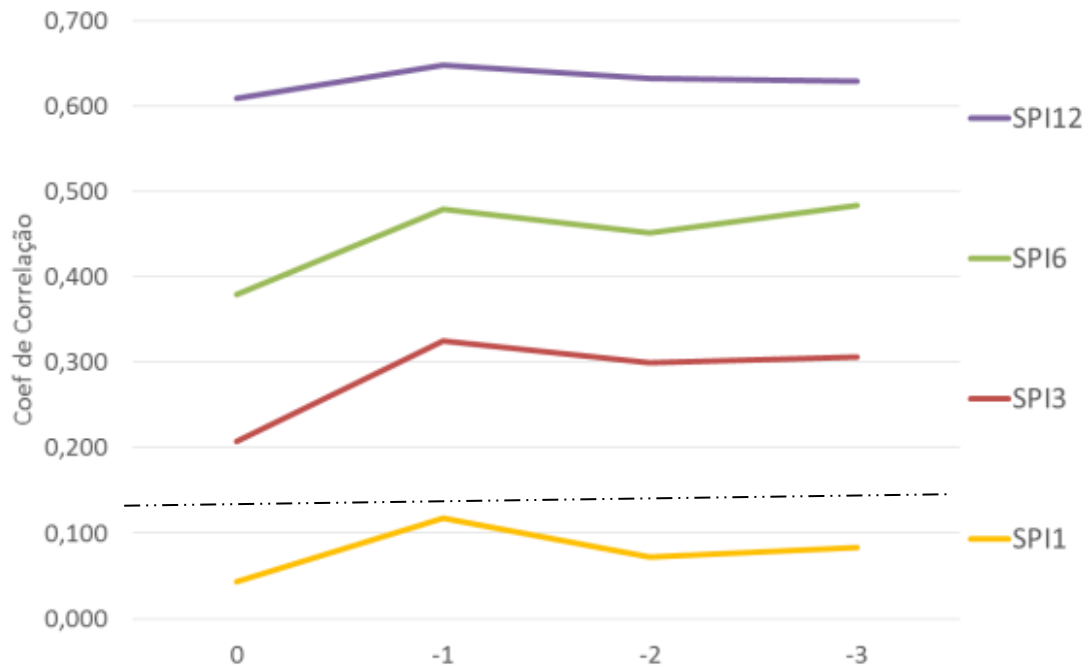
**Figura 11.** Coeficiente de *Spearman* entre SPI e Volumes do reservatório Jaburu II



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

Fonte: Autora (2017)

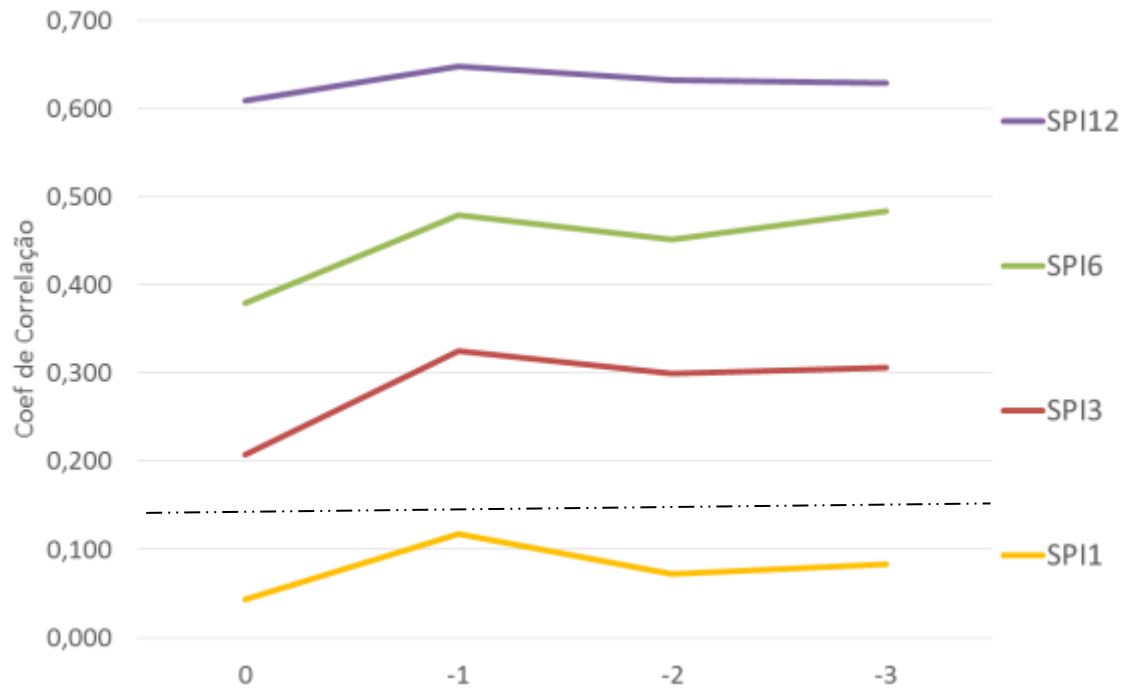
**Figura 12.** Coeficiente de *Pearson* entre SPI e Volumes do reservatório Barra Velha



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

Fonte: Autora (2017)

**Figura 13.** Coeficiente de *Spearman* entre SPI e Volumes do reservatório Barra Velha



----- Correlação com 95% de significância verificada pelo método t- Student.

Fonte: Autora (2017)

Realizado o teste de significância verifica-se que não existe correlação com significância de pelo menos 95% para valores de SPI 1 para nenhum dos reservatórios. Já para os demais valores de SPI a significância da correlação foi de 99 % calculada pelo método de *t* – *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 torna-se 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 0,7 para ambos os reservatórios analisados.

Sendo que existe uma melhor correlação entre os volumes e os valores de SPI do açude Jaburu. A pequena diferença da correlação em relação ao volume do açude Barra Velha e valores registrados de SPI pode ser explicada pela existência da interferência de escoamento para o açude, devido a construção de pequenos reservatórios em propriedades privadas a montante do açude, dificultando o escoamento e como consequência o aumento do volume armazenado.

## 7 CONCLUSÃO

A partir das informações obtidas nesse trabalho, verificou-se que na última década a ocorrência de secas vem ficando cada vez mais intensa e persistente no município de Independência, sobretudo para análise anual (SPI 12), o que pode provocar a diminuição dos estoques de águas nos reservatórios, principal fonte de água na área de estudo.

No período estudado, registrou-se eventos de seca para SPI de 6 e de 12 meses, corroborando secas mais prolongadas, ficando evidente que as escalas de longo tempo mostram-se mais adequadas. Sendo que, os eventos de maior duração têm maior correlação com volumes dos reservatórios, mostrou-se o SPI como uma ferramenta promissora no monitoramento da seca no município de Independência – CE, sobretudo para secas prolongadas, maiores que 6 meses.

Também é possível identificar uma tendência de comportamento decrescente para valores de SPI negativos, que representam os períodos que ocorrem seca, mais especificamente para o açude Barra Velha, sendo considerada a possibilidade dessa ocorrência estar relacionada à diminuição de captação de água no período de secas, pois a redução do volume armazenado afeta a qualidade da água, tornando-a imprópria para uso humano. E nesse período estratégias de emergência (uso de carros pipas e utilização de águas subterrâneas), são praticadas a fim de minimizar a deficiência hídrica. Outro fato relevante é que na bacia do açude existem barramentos, a montante dele, o que dificulta o escoamento da água até o reservatório, impactando na redução do volume do mesmo.

No que se refere ao reservatório Jaburu II, verificou-se que o mesmo possui maior relação com a precipitação, pois é o maior reservatório. Sendo também observado que esse açude possui períodos de maior colapso, passando temporadas com pouca ou sem nenhuma água, isso pode ser justificado devido ao seu uso, que por uma parte do tempo estudado, era predominantemente para fins agrícolas, o que demanda uma quantidade maior de liberação de água (as comportas quase sempre estavam abertas). Seu gerenciamento era de uso menos restrito, já que por um período não se pensava em usar a água por ele reservada para abastecimento da cidade, devido a sua distância da sede do município.

De modo geral, verificamos a existência de relação entre os valores de SPI que impactam de forma significativa o volume de reservatórios do município. Sendo perceptível a necessidade de se monitorar os eventos de seca e a deficiência de precipitação durante um período prolongado de tempo que atingem a região, visto que a ocorrências de fenômenos de seca trazem uma série de problemáticas para as atividades humanas, causando diversos impactos

sociais e econômicos. As informações referentes a estudos como esse, fornecem dados importantes e podem contribuir para o melhor gerenciamento dos recursos hídricos da região.

Em futuros trabalhos, sugere-se que seja aplicado o índice de Precipitação e Evapotranspiração Padronizado (SPEI) em comparação ao SPI, a fim de determinar a influência da evapotranspiração nos resultados.

## REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **HidroWeb**: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov>. Acesso em: 22 de setembro 2017.

ANA. Agência Nacional de Águas. **A questão da Água no Nordeste**. Centro de Gestão de Estudos Estratégicos – CGEE. Brasília, DF, 2012.

AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R. **Índice de seca para a microrregião do agreste da Borborema no Estado da Paraíba**. Revista Brasileira de Meteorologia, 9(1): 66-72, 1994.

BARRA, T. S. **Análise climatológica das secas do Estado do Ceará**. Dissertação de Mestrado– Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa. 84p. 2000.

BARRA, T. S.; COSTA, J.M.N; SEDYAMA, G.C; FERREIRA, W.P. M; NETO, F. S. D. **Caracterização Climatológica da Severidade das Secas do Estado do Ceará – Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p.266-272. Campina Grande, PB, 2002.

BRASIL. Lei Federal nº13.153, de 13 de junho de 2015. Institui a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca e seus instrumentos; prevê a criação da Comissão Nacional de Combate à Desertificação; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/L13153.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/L13153.htm). Acesso em: 15 de outubro de 2017.

CANAMARY, E. A.; REIS, J.; MARTINS, E.S. **Avaliação dos Índices SPI e SPEI no Monitoramento de Secas no Nordeste Setentrional do Brasil**. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília - DF, 2015.

CAVALCANTI, N. B; RESENDE, G. M.; BRITO, L. T. **Vulnerabilidade dos pequenos Agricultores da Região Semi-Árida do Nordeste nos Períodos de Seca**. 2013.

CEMADEM – Centro Nacional de monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Disponível em: [www.cenamdem.gov.br/secas/](http://www.cenamdem.gov.br/secas/). Acesso em: 28 de outubro 2017.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco. Disponível em: <http://www.codevasf.gov.br/osvales/vale-do-sao-francisco/poligono-das-secas/>. Acesso em: 25 de setembro de 2017.

DNOCS. **Programa de Gestão Participativa dos Reservatórios do DNOCS**. Fortaleza: DNOCS, 2004.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: [www.embrapa.br/tema-convivencia-com-a-seca/sobre-o-tema](http://www.embrapa.br/tema-convivencia-com-a-seca/sobre-o-tema). Acesso em: 29 de outubro de 2017.

FERNANDES, D. S.; HIENEMAN, A.B.; PAZ, R.L.; CARDOSO, A. S. **Índices para a Quantificação da Seca**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009.

FREITAS, M. A. S. **Que Venha a Seca: Modelos para Gestão de Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas.** 1 ed. Rio de Janeiro: CBJE, 2010.

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

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/areas/17-mapas-tem%C3%A1ticos/542-%C3%ADndice-de-aridez-para-o-ceara>. Acesso em: 21 de agosto de 2017.

GUTTMAN, G.B. **Comparing the Palmer Drought Index and the “Standardized Precipitation Index”.** Journal of the American Water Resources, Washington, v.16, n.2, p. 113-121, 1998.

HEIM JR, R. R. **A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States.** American Meteorological Society, 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 02 de setembro 2017.

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br). Acesso em 28 de agosto 2017.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil Básico Municipal 2016 Independência. 2016.

MARENGO, J. A; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. **A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico.** Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Centro de Ciências do Sistema Terrestre – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST/INPE), São Paulo, Brasil, 2016.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. **“Drought monitoring with multiple time scales”.** In 9th Conference on Applied Climatology American Meteorological Society, Boston, pp. 233-236. 1995.

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.

NÍCOLAS, L.; KAVISKI, E.; GRIMM, A. M. **Caracterização das Secas no Estado do Paraná.** In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília - DF, 2015.

PALMER, W. **“Meteorological Drought”.** U.S. Weather Bureau, Res. Paper N° 45, Washington, 1965.

PAULO, A. A.; FERREIRA, E.; COELHO, C. L. S. PEREIRA. **Drought class transition analysis through Markov and Loglinear models, an approach to early warning.** Agric. Water Manage. 2004.



PEREIRA, T. A. S. **Análise e Previsão de Chuvas na Estação Seca do Leste do Nordeste do Brasil: Aplicação nas Bacias dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. 2017.

PIRES, V. **Frequência e intensidade de fenômenos meteorológicos extremos associados a precipitação.** 2003. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra) – Universidade de Lisboa, Portugal, 2003.

QUIRING, S.M. **Developing Objective Operational Definitions for Monitoring Drought.** Journal Applied Meteorology and Climatology, v.48, p.1217–1229, 2009.

ROQUE, A. Estatística II. **Significância do Coeficiente de Correlação.** Disponível em: <http://sisne.org/Disciplinas/Grad/ProbEstat2/aula15.pdf>. Acesso em: 16 de agosto de 2017.

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

SANTOS.R.S. **Avaliação da seca/produktividade agrícola considerando cenários de mudanças climáticas.** Dissertação. Universidade de Viçosa. Viçosa-MG. 2008.

SILVA, A. O. **Aplicação dos Índices de Palmer e Bhalme & Mooley na Avaliação da Seca no Estado do Ceará.** 2011.

SOUZA, A; BRAULIO, F.C; LOPES, T. C. S. P. **Um Estudo do Índice de Bhalme & Mooley IBM (Bhalme & Mooley, 1980); Índice de Anomalia de Chuva – IAC (Rooy, 1965) para o estado de Mato Grosso do Sul.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia XI – Rio de Janeiro, p 1250 – 1258. Anais, Rio de Janeiro 2000.

SRH. Secretária de Recursos Hídricos. Governo do Estado Do Ceará. **Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará.** Disponível em: <http://atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/acudes/detalhaCaracteristicasTecnicas>. Acesso em: 25 de outubro de 2017.

TUCCI; C. E. M. **Hidrologia – Ciência e Aplicação.** UFGRS, Porto Alegre, 1993.

ULIANA, E. M; MENDES, M.A.S.A; ALMEIDA, F. T; REIS.E. F; XAVIER, A. C.; SILVA, J. G. F. **Índice de Precipitação Padronizado: Estudo de Caso para a Região Nordeste do Estado do Espírito Santo, Brasil.** Pesquisas Agrárias Ambientais. Nativa, Sinop.v 5. n.5, p. 330 – 336 ISSN 2318-7670. Mato Grosso, 2017.

VIALI, L. **Correlação e Regressão.** Série Estatística Básica. Disponível em: [http://www.pucrs.br/famat/viali/graduacao/engenharias/material/apostilas/Apostila\\_5.pdf](http://www.pucrs.br/famat/viali/graduacao/engenharias/material/apostilas/Apostila_5.pdf). Acesso em: 17 de agosto de 2017.

VILLA, M.A. **Vida e Morte no Sertão.** Histórias de Seca no Nordeste nos Séculos XIX e XX. 1ed. Ática: São Paulo, 2011.

**APÊNCICE A**

```
% Programa que retorna valores de correlação de Pearson
e Spearman unctio [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 A

Tabela T: Distribuição de t-Student segundo os graus de liberdade e uma dada probabilidade num teste bicaudal (primeira linha)  
 Para um teste monocaudal, considere metade do valor de probabilidade apontado



Nº de graus de liberdade	Probabilidade para um teste bicaudal													
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,60	0,58	0,40	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,0787	0,1584	0,3249	0,5095	0,7265	1,0000	1,3764	1,9626	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,657	636,619
2	0,0708	0,1421	0,2887	0,4447	0,6172	0,8165	1,0607	1,3862	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248	31,5991
3	0,0681	0,1366	0,2767	0,4242	0,5844	0,7649	0,9785	1,2498	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409	12,9240
4	0,0667	0,1338	0,2707	0,4142	0,5686	0,7407	0,9410	1,1896	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041	8,6103
5	0,0659	0,1322	0,2672	0,4082	0,5594	0,7267	0,9195	1,1558	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321	6,8688
6	0,0654	0,1311	0,2648	0,4043	0,5534	0,7176	0,9057	1,1342	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074	5,9588
7	0,0650	0,1303	0,2632	0,4015	0,5491	0,7111	0,8960	1,1192	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995	5,4079
8	0,0647	0,1297	0,2619	0,3995	0,5459	0,7064	0,8889	1,1081	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554	5,0413
9	0,0645	0,1293	0,2610	0,3979	0,5435	0,7027	0,8834	1,0997	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498	4,7809
10	0,0643	0,1289	0,2602	0,3966	0,5415	0,6998	0,8791	1,0931	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693	4,5869
11	0,0642	0,1286	0,2596	0,3956	0,5399	0,6974	0,8755	1,0877	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058	4,4370
12	0,0640	0,1283	0,2590	0,3947	0,5386	0,6955	0,8726	1,0832	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545	4,3178
13	0,0639	0,1281	0,2586	0,3940	0,5375	0,6938	0,8702	1,0795	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123	4,2208
14	0,0638	0,1280	0,2582	0,3933	0,5366	0,6924	0,8681	1,0763	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768	4,1405
15	0,0638	0,1278	0,2579	0,3928	0,5357	0,6912	0,8662	1,0735	1,3406	1,7531	2,1314	2,6025	2,9467	4,0728
16	0,0637	0,1277	0,2576	0,3923	0,5350	0,6901	0,8647	1,0711	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208	4,0150
17	0,0636	0,1276	0,2573	0,3919	0,5344	0,6892	0,8633	1,0690	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982	3,9651
18	0,0636	0,1274	0,2571	0,3915	0,5338	0,6884	0,8620	1,0672	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784	3,9216
19	0,0635	0,1274	0,2569	0,3912	0,5333	0,6876	0,8610	1,0655	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609	3,8834
20	0,0635	0,1273	0,2567	0,3909	0,5329	0,6870	0,8600	1,0640	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453	3,8495
21	0,0635	0,1272	0,2566	0,3906	0,5325	0,6864	0,8591	1,0627	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314	3,8193
22	0,0634	0,1271	0,2564	0,3904	0,5321	0,6858	0,8583	1,0614	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188	3,7921
23	0,0634	0,1271	0,2563	0,3902	0,5317	0,6853	0,8575	1,0603	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073	3,7676
24	0,0634	0,1270	0,2562	0,3900	0,5314	0,6848	0,8569	1,0593	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969	3,7454
25	0,0633	0,1269	0,2561	0,3898	0,5312	0,6844	0,8562	1,0584	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874	3,7251
26	0,0633	0,1269	0,2560	0,3896	0,5309	0,6840	0,8557	1,0575	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787	3,7066
27	0,0633	0,1268	0,2559	0,3894	0,5306	0,6837	0,8551	1,0567	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707	3,6896
28	0,0633	0,1268	0,2558	0,3893	0,5304	0,6834	0,8546	1,0560	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633	3,6739
29	0,0633	0,1268	0,2557	0,3892	0,5302	0,6830	0,8542	1,0553	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564	3,6594
30	0,0632	0,1267	0,2556	0,3890	0,5300	0,6828	0,8538	1,0547	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500	3,6460
40	0,0630	0,1262	0,2545	0,3872	0,5272	0,6786	0,8477	1,0455	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603	3,4602
90	0,0629	0,1260	0,2541	0,3866	0,5263	0,6772	0,8456	1,0424	1,2910	1,6620	1,9867	2,3685	2,6316	3,4019
120	0,0628	0,1259	0,2539	0,3862	0,5258	0,6765	0,8446	1,0409	1,2886	1,6577	1,9799	2,3578	2,6174	3,3735
150	0,0628	0,1259	0,2538	0,3861	0,5255	0,6761	0,8440	1,0400	1,2872	1,6551	1,9759	2,3515	2,6090	3,3566
180	0,0628	0,1258	0,2537	0,3859	0,5253	0,6759	0,8436	1,0394	1,2863	1,6534	1,9732	2,3472	2,6034	3,3454
210	0,0628	0,1258	0,2537	0,3858	0,5252	0,6757	0,8433	1,0390	1,2856	1,6521	1,9713	2,3442	2,5994	3,3375
240	0,0628	0,1258	0,2536	0,3858	0,5251	0,6755	0,8431	1,0387	1,2851	1,6512	1,9699	2,3420	2,5965	3,3315
270	0,0628	0,1258	0,2536	0,3857	0,5250	0,6754	0,8430	1,0384	1,2847	1,6505	1,9688	2,3402	2,5942	3,3269
300	0,0628	0,1258	0,2536	0,3857	0,5250	0,6753	0,8428	1,0382	1,2844	1,6499	1,9679	2,3388	2,5923	3,3233
400	0,0627	0,1257	0,2535	0,3856	0,5248	0,6751	0,8425	1,0378	1,2837	1,6487	1,9659	2,3357	2,5882	3,3150
500	0,0627	0,1257	0,2535	0,3855	0,5247	0,6750	0,8423	1,0375	1,2832	1,6479	1,9647	2,3338	2,5857	3,3101
800	0,0627	0,1257	0,2534	0,3855	0,5246	0,6748	0,8421	1,0371	1,2828	1,6468	1,9629	2,3310	2,5820	3,3027
1000	0,0627	0,1257	0,2534	0,3854	0,5246	0,6747	0,8420	1,0370	1,2824	1,6464	1,9623	2,3301	2,5808	3,3003