



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE-UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS-CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANÁLISE DAS FREQUÊNCIAS DE SECAS NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO AÇUDE EPITÁCIO PESSOA – PB

IANNE LOPES DE ARAÚJO

PROF. Dr. FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA
Orientador

Campina Grande - PB
Dezembro de 2018

**ANÁLISE DAS FREQUÊNCIAS DE SECAS NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO AÇUDE EPITÁCIO PESSOA – PB**

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande escalas

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa

Aluna: Ianne Lopes de Araújo

Campina Grande - PB

Dezembro de 2018

A663a

Araújo, Ianne Lopes de.

Análise das frequências de secas na bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa-PB / Ianne Lopes de Araújo. – Campina Grande, 2019.
92 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa".

Referências.

1. Secas – Paraíba. 2. Meteorologia. 3. Secas – Severidade – Duração – Intensidade. 4. Função Distribuição de Probabilidade. 5. Equação Linear Multivariada. I. Sousa, Francisco de Assis Salviano de. II. Título.

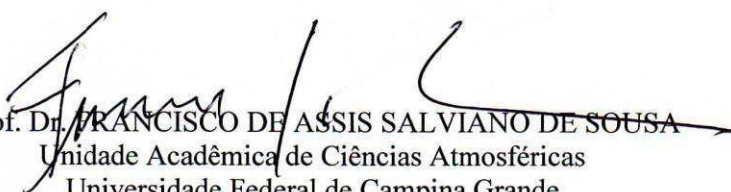
CDU 551.577.38(813.3)(043)

IANNE LOPES ARAÚJO


ANÁLISE DAS FREQUÊNCIAS DE SECAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
AÇUDE EPITÁCIO PESSOA-PB

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 20/12/2018

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Dr. RAYONIL GOMES CARNEIRO
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus por me dar forças nessa caminhada e oportunidades que me foram dadas na vida, principalmente por conhecido pessoas especiais no longo do curso.

Não posso deixar de agradecer a uma pessoa especial na minha vida, minha querida mãe, Eneida Lopes (*in memoriam*), ao pouco tempo de convívio me ensinou coisas maravilhosas.

Ao meu querido esposo Jefferson Melo por sempre acreditar no meu potencial e está sempre ao meu lado quando mais precisava, pela confiança e incentivo durante toda essa jornada, e a minha filha Lavínia por está por perto.

A toda minha família e amigos que sempre estiveram ao meu lado me apoiando em tudo

A minha sobrinha Rafaella de Araújo pela confiança e incentivo durante toda a jornada do curso.

Ao meu orientador e professor Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa, pela confiança, paciência e auxílio durante a realização desse trabalho.

Ao Doutor Enilson Cavalcanti (UFCG) e ao Doutor Rayonil Carneiro (INPE) por aceitarem o convite de participar da banca examinadora como também pelas sugestões para a melhoria deste trabalho.

A toda minha turma de mestrado que fizeram e fazem parte desta jornada.

A todos, meu muito obrigado.

ANÁLISE DAS FREQUÊNCIAS DE SECAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE EPITÁCIO PESSOA – PB

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Justificativa.....	15
1.2. Objetivo geral.....	16
1.3. Objetivos específicos	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. Sistemas precipitantes do Nordeste do Brasil	17
2.2. Secas no Nordeste do Brasil e no mundo	18
2.3. Estudos de secas	23
2.4. Índices de secas	24
3. METODOLOGIA	27
3.1. Região e dados.....	27
3.2. Climatologia da Bacia Hidrográfica do Açude Epitácio Pessoa	29
3.3. Definição dos parâmetros de seca e Método RUN.....	32
3.4. Delimitações das sub-regiões por Análise de Agrupamento	34
3.5. Teste de heterogeneidade das sub-regiões	34
3.6. Distribuições de probabilidades	35
3.7. Distribuição de Probabilidade Normal	35
3.8. Distribuição de Probabilidade Exponencial	36

3.9. Distribuição de Probabilidade Log-Normal	37
3.10. Teste de Kolmogorov-Smirnov	38
3.11. Análise de regressão linear múltipla	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1. Caracterização da precipitação dos postos pluviométricos.....	39
4.2. Delimitações das sub-regiões por Análise de Agrupamento.....	41
4.3. Delimitações da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa com base nas variáveis Severidade, Duração e Intensidade.....	45
4.4. Ajustes de funções densidade de probabilidade das variáveis: Severidade, Duração e Intensidade	48
4.5. Ajuste das equações de regressão linear múltipla	52
5. CONCLUSÃO	58
6. BIBLIOGRAFIA	59
7. ANEXO I	69

RESUMO

A região Semiárida brasileira (SAB) é frequentemente assolada por eventos de secas. A seca apesar de recorrente afeta as atividades econômicas e um grande número de pessoas. A seca na SAB é um evento climático que ainda precisa ser melhor estudado. O objetivo deste trabalho foi o de ajustar as características da seca: Severidade, Duração e Intensidade na SAB. Como unidade de planejamento foi escolhida a bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa, uma bacia hidrográfica representativa da SAB. Essa bacia está localizada no estado da Paraíba, na SAB. Foram utilizados dados de totais mensais precipitados, coletados nos 30 postos pluviométricos e tamanho amostral de 40 anos. Os ajustes das funções distribuição de probabilidades aos valores das características de seca: Severidade, Duração e Intensidade para cada uma das sub-regiões foram considerados satisfatórios. A aderência das curvas em cada sub-região mostrou que cada uma delas possui características particulares, principalmente em relação à qualidade dos dados de chuva no período chuvoso e ao tamanho do espaço amostral. As três sub-regiões homogêneas, segundo as características da seca (Severidade, Duração e Intensidade) foram precisamente delimitadas pela estatística multivariada denominada Análise de Agrupamento, sub-regionalizando as características de seca e fornecendo as subamostras para suas modelagens pelo uso das equações de regressão linear múltipla para cada sub-região. Os resultados dos ajustes das equações de regressão linear múltipla para todo o Semiárido brasileiro seguem os padrões dos apresentados para as localidades situadas no âmbito da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. Nessa bacia as sub-regiões 1 e 2 apresentaram resultados muito bons para as estimativas relacionais das características das secas: Severidade, Duração e Intensidade. Já a sub-região 3 não apresentou resultados satisfatórios. Basicamente, essa proporção de dois terços de resultados positivo e um terço negativo pode ser estendida para toda região Semiárida brasileira. A proporção de resultados negativos ocorre quando as interações entre as características da seca (Severidade, Duração e Intensidade) são muito heterogêneas.

Palavras – Chave: Severidade, Duração, Intensidade, Função Distribuição de Probabilidade e Equação Linear Multivariada.

ANALYSIS OF DRY FREQUENCIES IN THE HYDROGRAPHIC BASIN OF EPITÁCIO PESSOA – PB

ABSTRACT

The Brazilian semi-arid region (SAB) is frequently reach by drought events. Drought, although recurrent, affects a large number of people and; the economic activities in SAB is a climatic event that still needs to be better studied. The objective of this work was to adjust the characteristics of the drought: Severity, Duration and Intensity in the SAB. As a planning unit, the water catchment area of the Epitácio Pessoa dam was chosen, a watershed representative of the SAB. This basin is located in the Paraíba state, in the SAB. The precipitated monthly totals were collected, collected in the 30 rain stations with sample size of 40 years. The adjustments of the probability distribution functions to the values of the drought characteristics: Severity, Duration and Intensity for each of the subregions were considered satisfactory. The adherence of the curves in each subregion showed that each of them has particular characteristics, mainly in relation to rainfall data quality in the rainy season and the size of the sample space. The three homogeneous sub-regions, according to the characteristics of the drought (Severity, Duration and Intensity) were precisely delimited by the multivariate statistics denominated Cluster Analysis, sub-regionalizing the characteristics of drought and providing the subsamples for their modeling by the use of the equations of regression for each sub-region. The results of the adjustments of the multiple linear regression equations for the entire Brazilian semi-arid region follow the standards presented for the locations within the Epitácio Pessoa basin. In this basin subregions 1 and 2 presented very good results for the relational estimates of drought characteristics: Severity, Duration and Intensity. The subregion three did not present satisfactory results. Basically, this proportion of two-thirds of positive results and one-third negative can be extended to the entire semi-arid region of Brazil. The proportion of negative results occurs when the interactions between the characteristics of the drought (Severity, Duration and intensity) are very heterogeneous.

KEYWORDS: Severity, Duration, Intensity, Probability Distribution Function and Multivariate Linear Equation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Nordeste do Brasil, destacando o estado da Paraíba.

Figura 2 – Bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa – PB.

Figura 3 – Distribuição espacial dos postos pluviométricos da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa.

Figura 4 – Área da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa e distribuição espacial dos postos pluviométricos.

Figura 5 – Variáveis utilizadas para analisar seca. Adaptado de Dracup *et al.*, 1980.

Figura 6 – Valores máximo (A) e mínimo (B) observados no mês de março.

Figura 7 – Municípios com as contribuições mensais mais expressivas para o mês de abril.

Figura 8 – Dispersão da Severidade da seca versus Duração da seca dos municípios com os menores valores de coeficientes de determinação.

Figura 9 – Delimitação de três sub-regiões da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa.

Figura 10 – Distribuição da precipitação pluvial média mensal da sub-região 1.

Figura 11 – Distribuição da precipitação pluvial média mensal da sub-região 2.

Figura 12 – Distribuição da precipitação pluvial média mensal da sub-região 3.

Figura 13 – Variabilidade espacial da Severidade de seca. Fonte: Autor (2018).

Figura 14 – Variabilidade espacial da Duração de seca. Fonte: Autor (2018).

Figura 15 – Variabilidade espacial de Intensidade de seca. Fonte: Autor (2018).

Figura 16 – Ajustes da função distribuição de probabilidades Exponencial aos dados de Severidade de seca da sub-região 1 (A) e sub-região 2 (B); e ajuste da Log-Normal aos

dados de Severidade de seca da sub-região 3 (C) - (Linha vermelha curva teórica e linha azul curva empírica).

Figura 17 – Ajustes da função distribuição de probabilidades Normal aos dados de Intensidade de seca da sub-região 1 (A) e sub-região 2 (B); e ajuste da função distribuição de probabilidades Exponencial aos dados de Intensidade de seca da sub-região 3 (C) –(Linha vermelha curva teórica e linha azul curva empírica).

Figura 18 – Ajuste da função distribuição de probabilidades Exponencial aos dados de Duração de seca para a sub-região 1 (A), função distribuição de probabilidades Normal para sub-região 2 (B) e função distribuição de probabilidades Log-Normal para a sub-região 3 (C) - (Linha vermelha curva teórica e linha azul curva empírica).

Figura 19 – Regressão linear múltipla para (A) Severidade em função da Duração e Intensidade, (B) Duração em função Intensidade e Severidade e (C) Intensidade em função da Severidade e Duração para sub-região 1. Fonte: Autor (2018).

Figura 20 – Regressão linear múltipla para (A) Severidade em função da Duração e Intensidade, (B) Duração em função Intensidade e Severidade e (C) Intensidade em função da Severidade e Duração para sub-região 2. Fonte: Autor (2018).

Figura 21 – Regressão linear múltipla para (A) Severidade em função da Duração e Intensidade, (B) Duração em função Intensidade e Severidade e (C) Intensidade em função da Severidade e Duração para sub-região 3. Fonte: Autor (2018).

SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas

ANA – Agência Nacional das Águas

ATWS – *Terrestrial Water Storage Anomaly*

FOE – Função Ortogonal Empírica

FUNDAJ – Fundação Joaquim Nabuco

IAC – Índice de Anomalia de Chuva

IAM – Índice de Aridez de Martone

IAT – Índice de Aridez de Thornthwaite

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICL – Índice de Chuva de Lang

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPN – Índice de Porcentagem Normal

KS – Teste de Kolmogorov-Smirnov

MIDI – Índice de Seca de Microondas Integradas

NCDC – *National Climatic Data Center*

NEB – Nordeste do Brasil

NNE – Norte do Nordeste

PDSI – Palmer Drought Severity Index

PIB – Produto Interno Bruto

RDI – *Reconnaissance Drought Index*

SCCA – *Sparse Canonical Correlation Analysis*

SMA – *Soil Moisture Anomaly*

SMDS – *Microwave Integrated Drought Index*

SPI – *Standardized Precipitation Index*

SPIM – *Standardized Index of Modified Precipitation*

SVI – *Standardized Vegetation Index*

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

UNCCD – *United Nations Convention to Combat Drought and Desertification*

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

USDA – *United States Department of Agriculture*

VCAN – Vórtices Ciclônicos do Atlântico Norte

WMO – *World Meteorological Organization*

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

1. INTRODUÇÃO

O primeiro relato de seca no Nordeste do Brasil (NEB) foi em 1583, feito pelo Padre Fernão Cardin, embora esse fenômeno seja tão antigo quanto o surgimento do homem na Terra. A seca (ausência ou deficiência de chuvas) é um fenômeno natural que se diferencia nitidamente de outros fenômenos, tais como: furacões, terremotos, tsunamis e erupções vulcânicas. Enquanto esses últimos iniciam e terminam repentinamente, além de se restringirem, normalmente, a uma pequena área, a seca, por outro lado, quase sempre inicia lentamente, apresenta longa duração e afeta, na maioria das vezes, uma extensa área (Freitas, 2005).

A seca é uma característica normal do clima e sua recorrência é inevitável. No entanto, há ainda muita confusão no meio da comunidade científica e na política de tomada de decisão sobre suas características. Pesquisas têm demonstrado que a falta de uma definição precisa e objetiva, em situações específicas, tem sido um obstáculo à compreensão da seca, que já levou a indecisão e a inação de gestores, tomadores de decisão dentre outros (Wilhite e Glantz, 1985; Wilhite *et al.*, 2007). Em casos graves, a seca pode durar anos, ter efeitos devastadores na agricultura, na pecuária e no abastecimento de água.

Por causa de impactos diretos e indiretos da seca, 1,3 milhões de vidas humanas foram perdidas (Obasi, 1994). Segundo a USDA (*United States Department of Agriculture*) (1994) quase 50% das áreas mais populosas do mundo são altamente vulneráveis à seca e as grandes áreas agrícolas estão localizadas em regiões suscetíveis à seca. Uma seca pode se caracterizar pelo baixo índice de precipitação anual e pela má distribuição espaço-temporal das chuvas no período chuvoso (Moura *et al.*, 2007). Em geral, e especificamente na região semiárida do Nordeste Brasileiro (NEB), a distribuição temporal das chuvas varia de três a quatro meses.

As incertezas na análise de frequência pontual de seca ainda são problemáticas porque secas extremas são raras por definição, conseqüentemente suas amostras, muitas vezes, são pequenas para estimativas confiáveis de valores extremos. O principal objetivo deste estudo é estabelecer uma forma de superar as limitações da análise de frequência pontual de seca, aumentando o tamanho amostral dos dados na área de estudo. Uma forma importante para aumentar o tamanho das amostras é agrupar postos

pluviométricos que têm propriedades semelhantes de secas. Essa abordagem melhora a precisão da análise de seca, por meio da análise de frequência regional, haja vista que reduz os erros de amostragem das propriedades de seca.

A seca apesar de recorrente, afeta um grande número de pessoas e as atividades econômicas na região semiárida do NEB é um evento climático que ainda precisa ser mais bem estudado (Melo, 2016). A base sólida do conhecimento acerca do fenômeno seca é importante para apoiar à tomada de decisões técnicas a fim de atenuar seus efeitos. Essas são as principais justificativas para propor o estudo das secas na região semiárida do Nordeste.

Há na literatura especializada várias propostas metodológicas para estudar o fenômeno da seca, as mais comuns são as que utilizam índices. Segundo Salas *et al.* (2005) esses métodos são limitados porque não têm capacidade para identificar as características espaciais das secas. Essa identificação é cada vez mais importante haja vista que os efeitos acumulados das secas ao longo de um período de tempo migram lentamente para locais adjacentes.

Apesar do pressuposto de que a severidade da seca e sua duração sejam independentes, na prática essa suposição apenas simplifica o problema de análise das secas. Estudos climáticos mais recentes demonstram que as secas vêm se amplificando em frequência e em espaço e tornam-se fenômeno que necessitam de um tratamento multidimensional (Carvalho, 2013). As características multidimensionais da seca dificultam sua análise univariada, visto que essa forma de análise não revela as relações entre as propriedades da seca (Kim *et al.*, 2003).

1.1. Justificativa

A região semiárida do Nordeste do Brasil é frequentemente assolada por eventos de secas. A seca apesar de recorrente, complexa, afetar um grande número de pessoas e as atividades econômicas na região semiárida do NEB é um evento climático que ainda precisa ser melhor estudado. A base sólida do conhecimento acerca do fenômeno seca é importante para apoiar à tomada de decisões técnicas a fim de atenuar seus efeitos. Essas são as principais justificativas para propor o estudo das secas na região semiárida do Nordeste Brasileiro.

1.2. Objetivo geral

O objetivo deste estudo é propor uma metodologia baseada em probabilidade multivariada para estudar e modelar os eventos de seca.

1.3. Objetivos específicos

- I. Análise de consistência e atualização das séries de totais mensais precipitados até o ano de 2016;
- II. Utilizar o método “RUN” para o período chuvoso e obter as anomalias de precipitação mensal;
- III. Regionalizar os postos pluviométricos, segundo o critério “período chuvoso” e as características de seca: Severidade, Duração e Intensidade secas utilizando Análise de Agrupamento;
- IV. Identificar o percentual mensal precipitado em relação ao total anual precipitado;
- V. Ajustar os dados de Severidade, Duração e Intensidade de secas de cada uma das sub-regiões homogêneas do item III a uma Função Distribuição de Probabilidade;
- VI. Correlacionar as características de seca: Severidade, Duração e Intensidade secas de cada uma das sub-regiões homogêneas do item III a uma Equação de Regressão Linear Multivariada;
- VII. Associar as ocorrências de secas, nas sub-regiões obtidas no item III, aos sistemas meteorológicos de grande e média escalas e aos efeitos locais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Sistemas precipitantes do Nordeste do Brasil

O Nordeste Brasileiro (NEB) é uma região com alta variabilidade espacial e temporal da precipitação, esse fato, impulsiona a ocorrência de déficit hídrico durante o período de estiagem e condiciona as características climáticas e as variáveis meteorológicas (Molion e Bernardo, 2002). Segundo os autores essa variabilidade é influenciada pela temperatura da superfície do mar (TSM) dos oceanos Atlântico Tropical e Pacífico Equatorial. A TSM modula o posicionamento da zona de convergência intertropical (ZCIT), um dos principais sistemas causadores de chuvas na região.

Estudos realizados por Nobre e Molion (1988) indicaram a relação entre a ZCIT e as anomalias de chuva sobre o norte do Nordeste (NNE). Em anos de seca no NNE, a ZCIT fica bloqueada mais ao norte de sua posição normal. Essa região fica sob uma área de subsidência que inibe a precipitação. Em anos chuvosos ocorre o contrário, a ZCIT move-se até cerca de 5° S e torna-se intensa com o aumento da convergência.

Um mecanismo importante de produção de chuva para o Sul e Leste do Nordeste é a penetração de frentes frias do Hemisfério Sul, entre as latitudes 5° S e 18° S, conforme foi descrito por Kousky (1979). Oliveira (1986) usando imagens de satélites geoestacionários estudou a climatologia entre 1979-1984 e verificou que as frentes frias frequentemente se associam e interagem com a convecção tropical.

De acordo com Silva *et al.* (2001) a atuação dos Vórtices Ciclônicos do Atlântico Norte (VCAN) é um sistema que contribui para o aumento ou redução das chuvas de verão no NEB.

As Ondas de Leste se formam no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos Ventos Alísios e se deslocam da costa da África até o litoral Leste do Brasil. Quando as condições oceânicas e atmosféricas estão favoráveis, as Ondas de Leste também provocam chuvas na região semiárida do NEB (Ferreira e Mello, 2005).

Em anos de El Niño, quando as águas superficiais da bacia do Pacífico estão mais aquecidas, toda a convecção equatorial também se desloca para o Leste, alterando

assim o posicionamento da célula de Walker. Devido à circulação atmosférica, o ar quente sobre essa região é empurrado, originando uma célula descendente sobre o Oceano Atlântico, próximo à região NEB e a Amazônia Oriental. Dependendo da intensidade dessa célula e de sua fase de ocorrência, pode haver inibição na formação de nuvens e na descida da ZCIT, conseqüentemente pode haver redução das chuvas na região do NEB (Ferreira e Mello, 2005). A região semiárida do Nordeste, Norte, Leste da Amazônia e Sul do Brasil são frequentemente afetadas por secas devido às mudanças na circulação atmosférica durante os episódios de El Niño. Com fenômeno La Niña ocorre exatamente ao contrário, as águas do Pacífico estão mais frias em virtude do aumento dos ventos de alísios, na região Norte aumenta a intensidade da estação chuvosa na Amazônia, ocasionando cheias em alguns rios da região e na região Nordeste ocorre chuvas a cima da média na região, justificando enchentes no litoral nordestino.

2.2 - Secas no Nordeste do Brasil e no mundo

A seca é um fenômeno natural presente em todas as regiões do mundo. De todos os desastres naturais ocorridos, a seca é responsável por 22% dos gastos, 33% do número de pessoas afetadas e 3% do número de mortes. A Organização Meteorológica Mundial (em inglês WMO, 1986) define seca como deficiência de chuva. Já a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e à Seca (em inglês UNCCD, 1994) define seca como um fenômeno que ocorre naturalmente, quando a precipitação for significativamente abaixo do valor médio climatológico esperado. Segundo Wilhite e Glantz (1985) as secas são classificadas em quatro categorias:

1) seca meteorológica, definida como um déficit de precipitação pluvial sobre uma região durante um período de tempo,

2) seca agrícola, se refere à baixa disponibilidade de umidade no solo, baixa oferta de água às culturas e ao processo de perdas por evapotranspiração. Segundo Nandintsetseg e Shinoda (2013) diversas pesquisas com base nas variáveis de precipitação, temperatura e umidade do solo foram realizadas para estudar as secas agrícolas,

3) seca hidrológica, relaciona com a deficiência na oferta de água disponível (incluindo lençol freático, reservatórios e rios). Dados de vazão têm sido utilizados para estudar a seca hidrológica (Clause e Pearson, 1995),

4) seca socioeconômica, relacionada a um bem econômico com a seca meteorológica, hidrológica ou agrícola. Por exemplo, a oferta de um bem econômico (água, alimentação animal, energia hidrelétrica) depende do clima.

De todos os fenômenos naturais durante o século XX, a seca foi o que causou maior impacto negativo (Bruce, 1994). Secas severas têm sido observadas em todos os continentes, afetando grandes áreas na Europa, na África, na Ásia e na América Latina (Le Comte, 1995).

Nas últimas décadas, a Europa foi afetada por uma série de grandes eventos de seca, principalmente em 1976, 1989, 1991. Mais recentemente, em 2003, ocorreu uma seca prolongada em grande parte da Europa. (Feyen e Dankers, 2009). O impacto econômico da seca de 2003 foi cerca de 8,7 bilhões de euros (European Communities, 2007).

A região do Sahel, África Ocidental, desde o final da década de 1960 vem passando por uma seca de severidade, sem precedentes na história. Por ter impacto devastador sobre essa região ecologicamente vulnerável, esse evento no Sahel deu grande impulso para a criação da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e a Seca (Zeng, 2003).

Com relação ao continente Asiático, a Índia está entre os países mais vulneráveis à seca. Na Índia a seca tem sido relatada, pelo menos, uma vez a cada três anos nas últimas seis décadas. Desde meados da década de noventa, secas prolongadas e generalizadas vêm ocorrendo em anos consecutivos e com aumento das frequências (FAO, 2002). Na China, as secas severas de 1997, 1999 e 2002 causaram grandes perdas econômicas e sociais (Zhang, 2003). A seca de 1997, por exemplo, resultou em 226 dias sem vazão no rio Amarelo, o período mais longo em registro do rio (Zou *et al.*, 2005). No Paquistão, as secas são fenômenos recorrentes. A mais grave ocorreu em 1998 e prolongou-se até 2002 e afetou seriamente as produções agrícola e pecuária, com graves consequências para a segurança alimentar e a subsistência de grande parte da população (Ashraf e Routray, 2013).

Os impactos das secas nos EUA têm aumentado significativamente e pode ser verificados pela frequência e severidade delas (Changnon *et al.*, 2000). Com base nos dados do National Climatic Data Center (NCDC, 2002) cerca de 10% da área total dos EUA foi atingida por secas moderada e severa durante o século XX. O custo médio anual em perdas agrícolas devido à seca nos EUA é estimado entre 6 e 8 bilhões de dólares (Agrawala *et al.*, 2001). Em termos econômicos, a seca é o desastre natural mais caro para os EUA (Cook *et al.*, 2007).

Desde o século XVI vem sendo registrado ocorrências de secas, especialmente na região semiárida. O número de secas aumenta a partir de 1700, sendo registrados aproximadamente 20 eventos de seca no NEB até o final do século XVIII. Desde que se iniciou a contabilização dos eventos de seca até o presente momento foram registrados 79 eventos principais de secas na região (Carmo, 2018).

Tabela 1: Impactos de algumas secas no Nordeste brasileiro.

SECA	IMPACTO
1777 – 1780	Morte de quase 85% do gado. Morte de metade da população por fome.
1877 – 1879	Morte de quase 200.000 pessoas por fome e doenças.
1907	Afetou principalmente os estados do Ceará e do Rio Grande do Norte.
1915	Morte de mais de 278.000 pessoas e emigração de cerca de 75.000 no estado do Ceará.
1958	Emigração de cerca de 10 milhões de pessoas.
1979 – 1981	Redução maior de 70% na produção de arroz, feijão e algodão. Aumento em cerca de 100% do preço dessas culturas.
1982 – 1983	Perda de 80% do gado.
1998	Perda de 57% da produção agrícola. Perdas econômicas de 5% do Produto Interno Bruto (PIB) da região. Afetou 10 estados.

Fonte: Adaptado de Carmo (2018).

As secas no Nordeste causam vários impactos ambientais, sociopolíticos e econômicos (tabela 1). Dentre os impactos ambientais, podem-se citar prejuízos às

plantas, aos animais e aos peixes, alteração na qualidade da água e do ar, aumentando a quantidade de poeira e de poluentes, perda do solo (por erosão, salinização, alcalinização), além de alterações na paisagem (CGEE e ANA, 2012).

De acordo com Marengo *et al.* (2013) e Marengo e Bernasconi (2015), a seca de 2012-2013, que se estende até 2017 (Gondim *et al.*, 2017), está sendo a mais severa das últimas décadas, afetando, até 2014, cerca de 38% da população da região semiárida (aproximadamente 9 milhões de pessoas). No período 2012 – 2013 (anos extremamente secos) ocorreram grande queda na produção de lavouras temporárias, em todos os estados da região, 2013 apresentou uma redução da ordem de, aproximadamente, 13% na produção de lavouras do tipo temporárias (grãos, tubérculos, frutas, hortaliças etc.) em comparação com 2011 (ano com precipitação dentro da média). No período de 2012 – 2015 ocorreu a seca hidrológica mais severa desde 1988. Em setembro de 2015 se observou precipitação inferior a 50 mm em todo o NEB (os estados mais afetados foram Sergipe e Rio Grande do Norte), provocando um desabastecimento na região. Dos 54 reservatórios, no Ceará, 21 estavam secos e 33 no volume morto. Ainda no estado do Ceará 34 centros urbanos encontravam se em situação crítica, alguns com disponibilidade hídrica restrita apenas até meados de 2016 (Martins e Magalhães, 2015).

De acordo com Godim *et al.* (2017) dos 533 reservatórios acompanhados nos estados do NEB, entre 2012 e 2017, observou-se, em maio de 2017, que 312 se encontravam com volume abaixo de 30% e somente 19 encontravam se com volume acima de 90%. Tal redução acentuada no volume de água armazenado nos reservatórios entre 2012 e 2017 é mais evidente nos estados do Ceará, da Paraíba, de Pernambuco e do Rio Grande do Norte, principalmente no Ceará que em fevereiro de 2017 apresentava um volume de água armazenada em seus reservatórios de apenas 6,1%, vale salientar que em maio esse percentual atingiu 12,1% devido à contribuição das chuvas (ANA, 2017). No final de 2016 se constatou que o sistema de abastecimento de 79 cidades estava em colapso e outras 220 cidades estavam em situação crítica em relação ao abastecimento afetando diretamente 3,25 milhões de habitantes. Esse desabastecimento, agravado pela seca prolongada, promoveu a adoção de medidas de restrição no uso da água para irrigação em diversas escalas a exemplo dos seguintes sistemas hídricos: açude Epitácio Pessoa, em Boqueirão (PB); rios Piancó e Piranhas, no trecho compreendido entre os reservatórios Curema e Mãe D'Água, em Coremas (PB); e o

reservatório Armando Ribeiro Gonçalves, em Jucurutu (RN), onde ocorreu a interrupção total da irrigação.

Merece destaque a gestão da crise realizada pela ANA e a AESA no açude Epitácio Pessoa, em Boqueirão (PB). Esse açude, responsável pelo abastecimento de Campina Grande e região (520 mil habitantes), apresentou os menores volumes acumulados em todo o histórico, chegando a aproximadamente 12 hm³ (2,9%) em 18 de abril de 2017 e, desde então, vem aumentando progressivamente em razão da pré- operação do Programa de Integração do Rio São Francisco (Godim *et al.*, 2017)

A seca de 1877/1879 foi uma das mais graves que atingiu todo o Nordeste. O estado do Ceará, na época, com uma população de 800 mil habitantes foi fortemente atingido. Em consequência 120 mil pessoas migraram para a Amazônia e 68 mil se mudaram para outros estados.

Segundo Villa (2002) a seca de 1877-1879 foi uma das mais terríveis e dizimou cerca de 4% da população nordestina. A seca de 1979/1984 foi uma das mais prolongadas da história do Nordeste. Atingiu toda a região. Uma pesquisa da UNESCO apontou que 62% das crianças nordestinas da zona rural, de 0 a 5 anos, viviam em estado de desnutrição aguda (Silva *et al.*, 2013).

A seca de 1987 atingiu de forma intensa o norte do Nordeste. Neste episódio a perda da produção de grãos no Ceará foi da ordem de 75% (Marengo *et al.*, 2011). Em 1988, uma seca intensa atingiu o Nordeste. Com exceção do Maranhão, todos os outros estados do Nordeste foram atingidos, totalizando cerca de cinco milhões de pessoas afetadas (Silva *et al.*, 2013).

Já a seca de 1997-1998 reduziu em 72% a produção de feijão, milho, arroz, algodão, e mandioca, segundo a Fundação Joaquim Nabuco (FUNDAJ), em uma pesquisa que envolveu 15 municípios de cinco estados afetados (NAE, 2005). As perdas na pecuária do Nordeste entre 1997 e 1998 foram de 42,2% de bovinos, 37,2% de caprinos, 40,9% de ovinos e 45,7% de suínos (Duarte, 2002).

Segundo a CONAB (2012) a seca registrada no semiárido nordestino em 2012 causou perdas expressivas na pecuária e na agricultura. As perdas na produção de feijão e o milho no estado da Paraíba foram de 93,5% e 95,7%; no Rio Grande do Norte 89,6% e 90,1% e no Ceará 87,3% e 92,2%, respectivamente.

2.3 - Estudos de secas

Rossi *et al.* (1992) estudou os aspectos espaciais da seca, examinando todas suas propriedades. Os autores quantificaram as secas em diferentes locais usando vários tipos de dados hidrológicos (por exemplo, a precipitação, a vazão e os níveis de reservatórios) de cada uma das estações de observação no âmbito da área de estudo. Levando-se em conta a melhor compreensão de padrões espaciais, um modelo de previsão foi desenvolvido e aplicado. Clause e Pearson (1995) apresentaram a relação entre a duração e severidade das maiores secas anuais em vários locais através da análise de regressão linear. Subsequentemente, o estudo utilizou a análise regional de frequência de secas para produzir resultados mais confiáveis para áreas de estudo com dados limitados ou insuficientes.

Estudos de secas com base em análise de frequência bivariada foram realizados para avaliar situações de seca e fornecer critérios para projetos hidrológicos. Yue *et al.* (1999), Yue (2000), e Yue e Rasmussen (2002) esclarecem os conceitos básicos para a análise de frequência bivariada e ilustram o uso prático das distribuições bivariadas aplicadas à análise de frequências de cheias.

Zhang e Singh (2006) empregaram a função de cópula para derivar as distribuições bivariadas de pico de cheia e volume, e volume de cheia e duração. Kao e Govindaraju (2007) introduziram a função de cópula para analisar as frequências das chuvas e descrever a dependência estrutural das características das chuvas (por exemplo, altura total, duração e intensidade), e derivar a distribuição conjunta de chuvas extremas. Kim *et al.* (2003) sugeriram uma forma para obter períodos de retorno conjuntos com base em um método não paramétrico, utilizando uma função densidade bivariada. Através de comparação rigorosa com análises de frequências univariadas, Kim *et al.* (2006) concluíram que a análise de frequência bivariada de Kernel fornece estimativas mais confiáveis para quantis associados à duração e severidade das secas.

Yoo e Kim (2004) caracterizaram os padrões espaço-temporais da seca utilizando a função ortogonal empírica (FOE). Nesse estudo foi possível identificar os principais tipos de variabilidade espacial. Kim *et al.* (2011) também avaliou a vulnerabilidade da seca agrícola usando a FOE.

2.4 - Índices de secas

Vários índices de seca foram desenvolvidos para avaliar o efeito e definir diversos parâmetros, como duração, intensidade e severidade (Mishra e Singh, 2010). Dentre eles estão o índice de severidade de seca de Palmer (Palmer, 1968); o índice de anomalia de chuva (Rooy, 1965); o índice de umidade da cultura (Palmer, 1968); o índice de oferta de água à superfície (Shafer e Dezman, 1982); o índice padronizado de precipitação (McKee *et al.*, 1993) ou *Standardized Precipitation Index* – SPI, em inglês; o índice de seca para a agricultura Gelcera, *et al.* (2013); o índice padronizado de secas multivariáveis ou *Multivariate Standardized Drought Index* (MSDI) Hao *et al.* (2013); o índice de seca de microondas integradas (MIDI) Zhang e Jia (2013); o índice integrado de seca de microondas ou *Microwave Integrated Drought Index* (SMDS) Qin, *et al.* (2014); e o índice de seca de reconhecimento ou *Reconnaissance Drought Index* (RDI) Zarch, *et al.* (2014). Uma análise abrangente sobre índice de seca pode ser obtida em Mishra e Singh (2010).

Sanainejad *et al.* (2003) utilizaram o SPI e mostraram que no Nordeste do Irã, no período de 1968-1999, a cada 10 anos há um período de seca longa e severa. Tonkaz (2006) usou o SPI para estudar o comportamento das secas no Sudeste da Turquia.

Blain e Brunini (2007) realizaram uma análise comparativa entre o SPI, o índice de severidade de seca de Palmer PDSI e o PDSI adap (desenvolvido especificamente para as condições climáticas do estado de São Paulo), entre 1961 a 2000, para as localidades de Campinas, Jaú, Mococa, Piracicaba, Ribeirão Preto e Tatuí. A comparação entre os três índices permitiu detectar que o PDSI adap possui escala temporal de análise constante (mensal) não sendo, tal característica, observada no PDSI.

Assunção e Faria (2009) testaram o desempenho de três índices de seca em função da variação anual da produtividade agrícola, com os dados anuais do rendimento do milho e soja, das safras de 1990 a 2006, do município de Jataí – GO. Para isso utilizaram a série climatológica de precipitação e evapotranspiração para calcular o índice padronizado de precipitação (SPI), o índice Z de anomalia hídrica e o índice de severidade de seca de Palmer (PDSI). Os resultados mostraram que todos os índices têm correlação positiva com o rendimento e índice SPI e o índice Z de anomalia hídrica são os melhores indicadores quanto à variação no rendimento da soja e do milho, ano após

ano. Apesar da correlação positiva, o índice de severidade de seca de Palmer (PDSI) não teve tendência significativa.

Macedo *et al.* (2010) utilizaram o SPI de 12 e 24 meses para monitorar as secas severas e extremas nas sub-regiões pluviometricamente homogêneas do estado da Paraíba entre 1965 e 2000. Guedes *et al.* (2012) também usando o SPI no estado do Piauí entre (1962-2000) observaram que esse estado apresenta maior frequência de secas meteorológicas nas escalas temporais de 3 e 6 meses.

Farias (2014) estudou o regime hídrico da microrregião de Petrolina, PE, e Juazeiro, BA, utilizando os índices de seca meteorológica da Porcentagem Normal (IPN), de aridez de Martone (IAM), de Anomalia de Chuva (IAC), de chuva de Lang (ICL), o padronizado de precipitação modificado (SPIM) e o de Aridez de Thornthwaite (IAT), por causa das irregularidades na distribuição da chuva. Foram utilizados dados mensais de precipitação pluvial, no período de 1975 a 2013. Os principais resultados mostram que os modelos de distribuição de chuvas, para ambas as localidades, são irregulares, assimétricos e a estação chuvosa dura cerca de quatro meses (dez-mar), além de ser variável em quantidade, distribuição e duração. Os índices de secas mostraram ser uma ferramenta importante para monitorar a variabilidade da chuva e/ou da intensidade da seca.

Paulo *et al.* (2015) analisaram a variabilidade temporal e espacial das secas em Portugal usando o índice de seca SPI para as escalas temporais de 3, 6, 12 e 24 meses calculado a partir de duas fontes de dados: um conjunto de dados observados de 192 estações meteorológicas ou hidrométricas e um conjunto de dados em malha, PT02, para o período comum de 1950 a 2003. Os resultados permitiram identificar duas sub-regiões com padrões de variabilidade de seca distintos, uma no noroeste de Portugal, correspondendo à região na qual se verifica maior precipitação média anual, e uma sub-região no sul de Portugal, incluindo o Algarve e o Alentejo, com precipitações médias anuais mais baixas.

Silva (2016) avaliou a relação entre o Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) e a produtividade de café, no Espírito Santo (ES), e soja, nos estados do Mato Grosso (MT), Paraná (PR) e Rio Grande do Sul (RS), no período de 1990 a 2013. Segundo o autor para realização dos cálculos do PDSI foi utilizado o código adaptado de Jacobi *et al.* (2013), em que são necessários evapotranspiração, precipitação e

capacidade de campo. Após foi analisado a relação da produtividade com o índice de Palmer. No ES o PDSI foi avaliado com a produtividade de café, no PR, MT e RS o PDSI foi avaliado com a produtividade de soja. De acordo com a regressão linear simples conclui-se que o PDSI não foi significativo na correlação com a produtividade de café no ES, para a cultura da soja o PDSI foi significativo para o estado do RS e MT.

Uliana *et al.* (2017) aplicaram e avaliaram o SPI para caracterização do déficit e do excesso de precipitação na escala mensal e trimestral para a região norte do estado do Espírito Santo, num período de outubro de 2009 a março de 2010. O SPI mostrou-se eficaz para caracterização e monitoramento da seca e da umidade na região noroeste do estado do Espírito Santo. A distribuição espacial do SPI permitiu identificar as localidades da região noroeste com situação crítica em relação à seca ou a umidade, o que possibilita o direcionamento de ações de gestão dos recursos hídricos.

Ribeiro Neto e Paiva (2017) utilizaram SPI, SMA (Anomalia da Umidade do Solo), SVI (Índice Padronizado da Vegetação) e ATWS (Anomalia do Armazenamento Terrestre de Água) para identificação e monitoramento das secas ocorridas na América do Sul, no período de 1900 até 2016. Os resultados mostraram que existe uma boa relação entre os índices e estes conseguiriam identificar a maioria dos eventos de seca registrados para as regiões analisadas.

Carmo (2018) caracterizou os padrões espaço-temporais das secas meteorológicas no NEB a partir da análise do SPI e desenvolveu um modelo de previsão sazonal, utilizando as informações climáticas da TSM como preditores e usando a técnica Análise de Correlação Canônica Esparsa (SCCA, sparse Canonical Correlation Analysis). O SPI foi calculado numa escala temporal de 3 meses num período de 1980 a 2013 numa escala mensal sobre a região. Os resultados do modelo de previsão ilustraram a dificuldade que em prever secas em diferentes tempos de antecedência. Observa-se também que a variável TSM não contribuiu tanto para a melhora das previsões, indicando a necessidade de se estudar outros mecanismos associados à formação de uma seca.

3. METODOLOGIA

3.1 - Região e dados

A região Nordeste do Brasil – NEB, exibida na Figura 1, está localizada entre os paralelos de 1° S e 19° S e os meridianos de 34° W e 49° W, com área de 1.644.039 Km², com características climáticas predominantemente semiáridas.

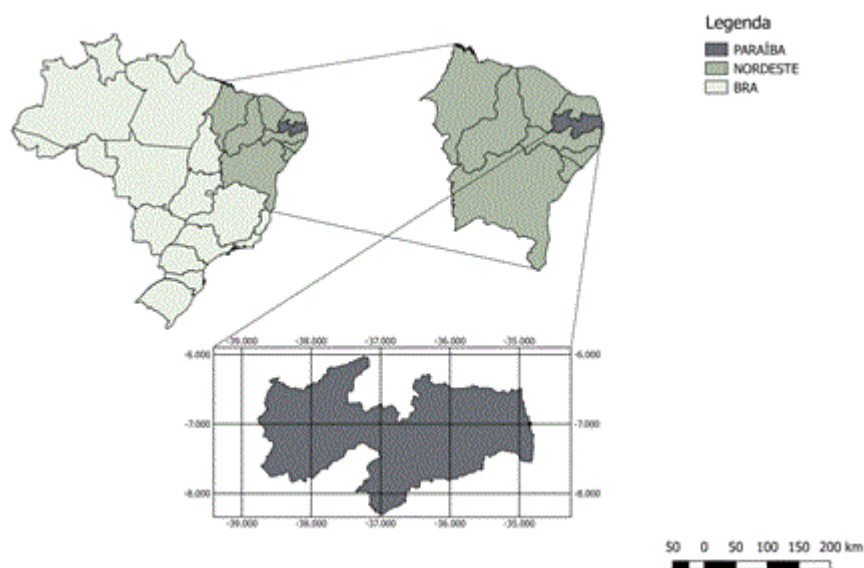


Figura 1 – Nordeste do Brasil, destacando o estado da Paraíba.

Os sistemas meteorológicos iniciam sua atuação em dezembro, com a presença de Sistemas Frontais que penetram pela parte sul do NEB. Em março é característico à presença da Zona de Convergência Intertropical, que atua na parte norte do NEB e em maio, onde os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) atuam na costa leste da região. Assim, a atuação desses três principais sistemas determina o início de três regimes de chuvas anuais nas áreas de suas influências, (Strang 1972 e Monte 1986). Além desses sistemas característicos ao clima da região, a presença de Vórtices Ciclônicos em Ar Superior atua de forma representativa entre os meses de dezembro e março, atingindo várias áreas do NEB.

A bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa está localizada na região Nordeste do Brasil, precisamente no estado da Paraíba, Figura 2, com coordenadas geográficas situadas entre os paralelos de 6,861° e 8,303° S e os meridianos de 36,021° e

37,356° W. A bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa é composta pela sub-bacia do rio Taperoá e pelo Alto Curso do rio Paraíba, estendendo-se pela mesorregião geográfica da Borborema, e possui uma área de aproximadamente 12.345 km² (SILVA *et al.*, 2017). A área de estudo, representativa do semiárido brasileiro, possui clima semiárido, caracterizado por apresentar temperaturas médias elevadas em torno de 26°C, evaporação anual de aproximadamente 2000 mm/ano e precipitação anual média de 400 mm/ano, concentradas entre os meses de fevereiro e abril (NASCIMENTO e ALVES, 2008). Com relação à vegetação, a área de estudo está localizada integralmente no bioma Caatinga. Esse bioma possui espécies caducifólias e presença de plantas espinhosas e com boa adaptação às condições climáticas (BEUCHLE *et al.*, 2015).

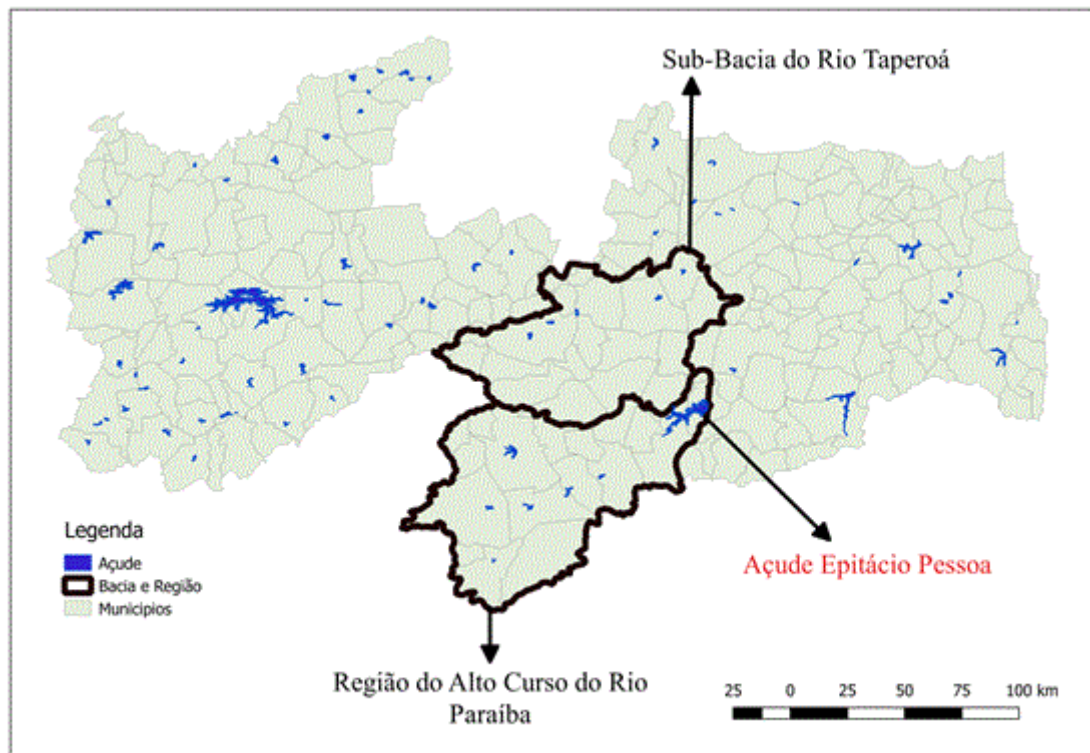


Figura 2 – Bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa – PB.

A metodologia descrita a partir do subcapítulo 3.2., será aplicada aos valores dos totais mensais precipitados de 30 postos pluviométricos, com tamanho amostral variável, localizados no âmbito da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa, listados na Tabela 2. Os dados utilizados aqui foram cedidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs).

Tabela 2 – Postos pluviométricos da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa.

Ordem	Longitude (°)	Latitude (°)	Município
1	-36,318	-7,752	Barra de São Miguel
2	-36,237	-7,257	Boa Vista
3	-36,136	-7,491	Boqueirão
4	-36,490	-7,725	Caraúbas
5	-36,606	-7,629	Coxixola
6	-36,713	-6,995	Junco do Seridó
7	-36,949	-7,376	Livramento
8	-36,847	-8,080	São João do Tigre
9	-36,362	-7,061	Soledade
10	-36,489	-7,248	Gurjão
11	-36,244	-6,989	Olivedos
12	-37,010	-8,152	São Sebastião de Umbuzeiro
13	-36,659	-7,802	Congo
14	-36,66	-7,482	Serra Branca
15	-37,088	-7,290	Desterro
16	-36,287	-7,492	Cabaceiras
17	-36,896	-7,674	Sumé
18	-36,826	-7,890	Camalaú
19	-37,084	-7,695	Prata
20	-36,059	-7,078	Pocinhos
21	-36,806	-7,391	São José dos Cordeiros
22	-36,411	-6,855	Seridó
23	-36,529	-7,383	São João do Cariri
24	-37,127	-7,885	Monteiro
25	-36,580	-7,068	Juazeirinho
26	-37,048	-7,136	Passagem
27	-36,845	-7,102	Salgadinho
28	-36,828	-7,216	Taperoá
29	-36,639	-7,213	Santo André
30	-37,163	-7,557	Ouro Velho

3.2 - Climatologia da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa

No âmbito da bacia hidrográfica estudada, utilizaram-se dados de precipitação mensal do período chuvoso de cada um dos 30 postos pluviométricos, com séries temporais de 40 anos de observações. Na Figura 3 pode ser vista a distribuição espacial dos postos pluviométricos na área de estudo. Para se obter as estatísticas básicas para cada posto esses dados foram organizados e tratados. A área de estudo está localizada na mesorregião da Borborema, no centro da Paraíba, o clima é o semiárido quente com chuvas de verão, segundo a classificação de Koppen (Atlas geográfico do Estado da Paraíba – IBGE, 2018). Em razão da altitude (entre 400 – 700 m, em relação ao nível

médio do mar), as temperaturas tendem a ser mais baixas, mas a falta de chuva impede uma maior redução da temperatura do ar (Francisco, 2010).

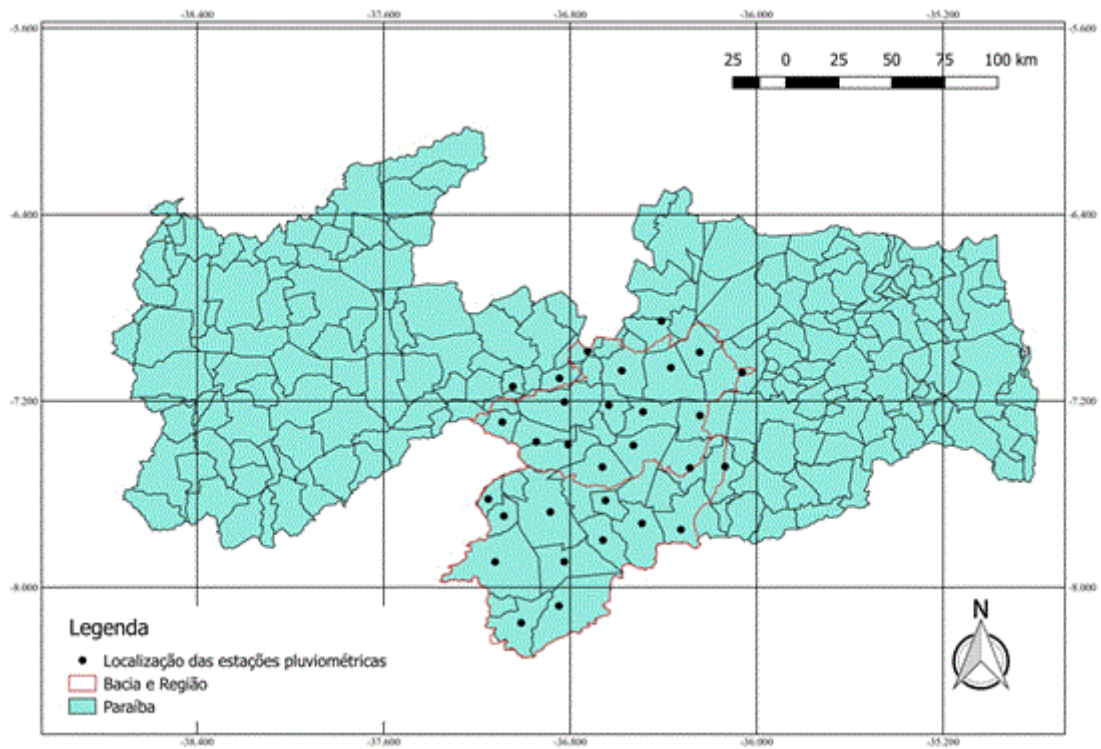


Figura 3 – Distribuição espacial dos postos pluviométricos da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa.

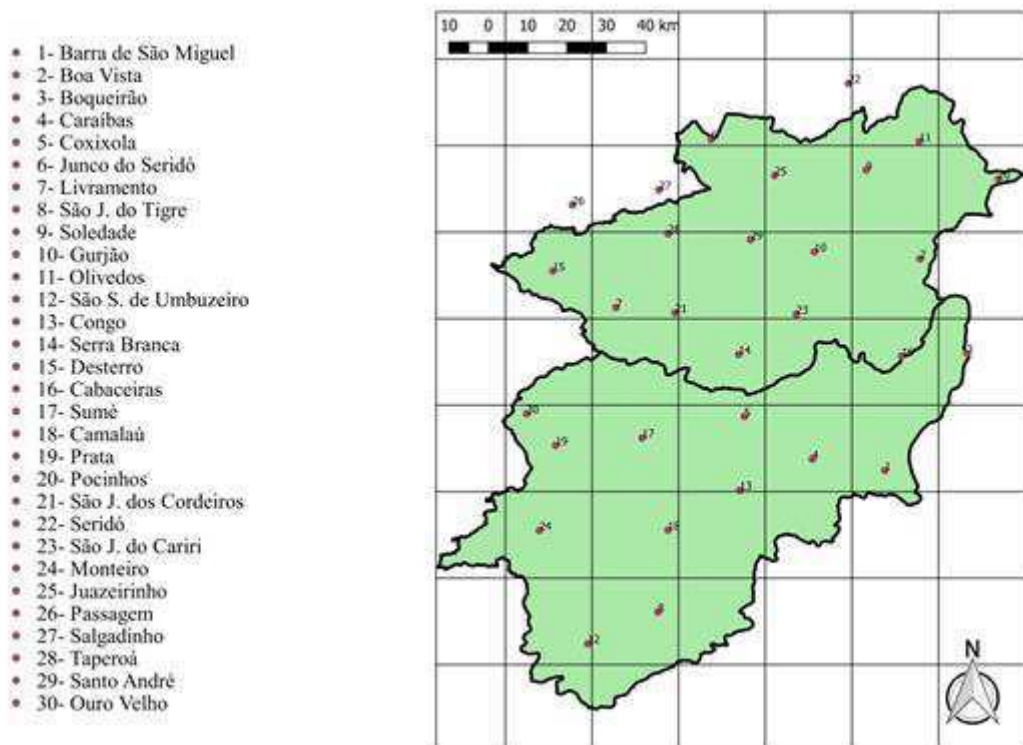


Figura 4 – Área da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa e distribuição espacial dos postos pluviométricos.

Na Figura 4 pode ser visto que os postos pluviométricos: Seridó, Passagem e Salgadinho não pertencem à bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa, mas podem fornecer informações importantes acerca dos sistemas precipitantes que atuam ao norte da área de estudo.

As estatísticas descritivas da precipitação na bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa, durante o período estudado, foram fundamentadas nos totais mensais precipitados das 30 estações pluviométricas. No Quadro 1 verifica-se, pelos valores da precipitação média mensal da área de estudo, que os meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril e maio constituem os seis meses mais chuvoso na bacia hidrográfica, a variação anual da precipitação está associada à influência da temperatura da superfície do mar (TSM) segundo (Molion e Bernardo, 2002).

Quadro 1 - Estatística descritiva da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa.

MESES	MÉDIA	VALOR MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA DA AMOSTRA	CURTOSE	ASSIMETRIA
Janeiro	48,33	633,4	71,99	5182,5	13,5	3,0
Fevereiro	76,45	616,8	75,45	5692,8	6,6	2,0
Março	197,79	550,3	92,82	8615,6	1,8	1,2
Abril	91,90	501,4	87,75	7700,1	2,6	1,5
Maiο	53,66	443,3	57,72	3331,8	6,4	2,1
Junho	35,31	205,9	35,23	1241,5	3,0	1,6
Julho	27,84	226,9	28,18	794,3	4,5	1,6
Agosto	11,76	99,4	15,73	247,5	4,0	1,8
Setembro	5,13	76,2	10,22	104,4	12,4	3,2
Outubro	6,01	166,7	18,85	335,4	33,3	5,3
Novembro	5,78	190,8	14,84	220,3	37,9	5,1
Dezembro	19,66	235,6	32,21	1038,0	8,0	2,5

3.3 - Definição dos parâmetros de seca e método RUN

Um índice de seca é uma variável que avalia o efeito e define diversos parâmetros da seca, nele estão incluídas duração, intensidade e severidade. A Figura 5 exibe de forma detalhada as propriedades da seca. A duração é o período de tempo entre o início e o fim de uma seca (período de tempo em que sucessivas chuvas são menores do que a média climatológica), pode ser expressa em semanas, meses ou anos. A severidade de seca é a soma do déficit para a duração de seca. A intensidade de seca é dada pela razão entre a severidade e a duração. Um índice de seca deve ser capaz de identificar uma seca em diferentes escalas de tempo.

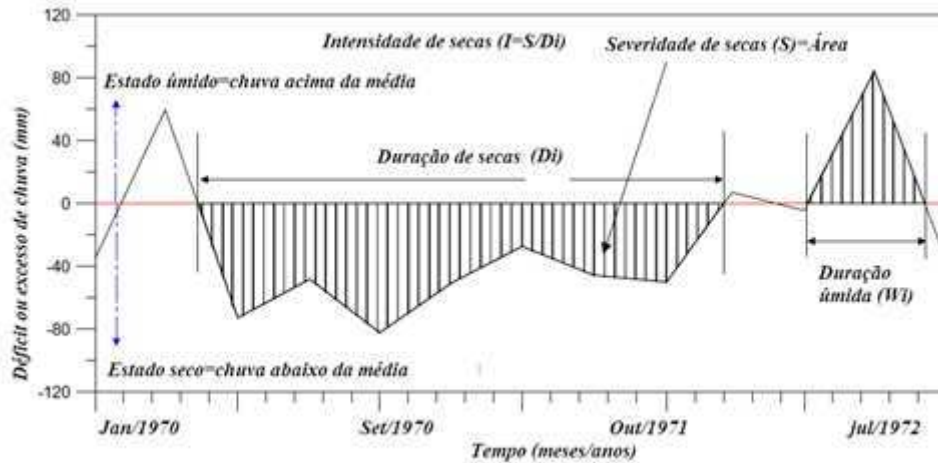


Figura 5 – Variáveis utilizadas para analisar seca. Adaptado de Dracup *et al.*, 1980.

O método RUN foi utilizado para se obter as características de secas: severidade, duração e intensidade. Inicialmente foram selecionados os postos pluviométricos com ao menos 40 anos de dados mensais no âmbito da área de estudo. Os dados de precipitação dos 30 postos selecionados foram processados de modo a se obter médias mensais com objetivo de se identificar o semestre mais chuvoso para cada um dos postos.

A partir dos meses que compõem o semestre mais chuvoso foram calculadas as anomalias de precipitação mensal, positivas e negativas. O somatório de anomalias negativas consecutivas (déficit de precipitação) representa a severidade da seca. A duração é caracterizada pelo período entre o início e o fim da anomalia negativa consecutivas de uma seca. A intensidade foi calculada pela razão entre a severidade e a duração.

Neste estudo, severidade, duração e intensidade de secas foram obtidas das anomalias das séries temporais dos totais mensais precipitados de cada um dos postos pluviométricos. Também foram calculadas várias estatísticas descritivas básicas para as propriedades, duração e severidade (por exemplo, média, valor máximo, valor mínimo, variância e coeficiente de assimetria). As propriedades severidade, duração e intensidade foram ajustadas a uma função distribuição de probabilidades específica. Como os valores dos coeficientes de correlação entre a duração e a severidade da seca não foram significativos, não foi possível ajustar essas variáveis à modelos de probabilidade bivariados.

3.4 - Delimitações das sub-regiões por Análise de Agrupamento

A Análise de Agrupamento é uma técnica exploratória multivariada de dados que permite classificar um grupo de categorias em subgrupos homogêneos, considerando apenas as similaridades ou não entre elas. Aqui será utilizado o método não hierárquico k-médias, que aloca um indivíduo em um grupo cujo centroide se encontra a menor distância.

O agrupamento não hierárquico é uma técnica usada quando se deseja formar k grupos de itens ou objetos. O método das k-médias é composto por três etapas:

1^a) Partição arbitrária dos itens em k grupos iniciais;

2^a) realocar cada item no grupo cuja média (centroide) esteja mais próximo. Em geral é usada a distância Euclidiana. O centroide é recalculado para o grupo que recebeu novo item e para o grupo que perdeu algum item;

3^a) repete-se a 2^a etapa até que não restem mais realocações a serem feitas.

Especificamente, a Análise de Agrupamento utiliza como variáveis as propriedades de seca e foi aplicada na bacia em estudo para se delimitar sub-regiões mutuamente exclusivas, a fim de que cada um dos postos pluviométricos da região possa ser atribuído às sub-regiões. O objetivo do método não hierárquico K - médias é agregar pontos (postos pluviométricos) em grupos, de tal modo que a soma dos quadrados desses pontos (postos pluviométricos) para os centros dos grupos designados seja minimizado.

3.5 - Teste de heterogeneidade das sub-regiões

Hosking e Wallis (1997) apresenta uma formulação para medir heterogeneidade (H). O método compara a dispersão dos L-momentos da amostra de indivíduos com os L-momentos de cada uma das possíveis sub-regiões, de modo que H é usada para avaliar se as sub-regiões podem ser tratadas como sub-regiões homogêneas.

A estatística para avaliar a heterogeneidade (H) é dada por:

$$H = \frac{V - \mu_V}{\sigma_V} \quad (1)$$

e,

$$V = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N n_i (\tau^i - \tau^R)}{\sum_{i=1}^N n_i}} \right) \quad (2)$$

Em que μ_v , σ_v é a média e o desvio-padrão dos valores simulados de V, respectivamente, n_i é o tamanho da amostra do local i, τ^i é o L-momento amostral do local i, e τ^R é a média regional amostral dos L-momentos. O L-coeficiente de variação, o L-coeficiente de assimetria, e o L-coeficiente de curtose são utilizados como os L-momentos na Eq. (1) para calcular H(1), H(2) e H(3), respectivamente. Uma sub-região é considerada aceitavelmente homogêneas quando $H < 1,0$, possivelmente heterogênea se $1,0 < H < 2,0$, e definitivamente heterogênea se $H > 2,0$.

3.6 - Distribuições de probabilidades

Um conjunto de dados climatológicos necessita ser previamente analisado com base em alguns indicadores estatísticos básicos para que se possa, efetivamente, desenvolver a teoria das probabilidades à situação prática desejada. Primeiramente, esse conjunto de dados é conhecido amostra histórica e consiste, basicamente, de uma amostra extraída de uma população.

Com base nessa amostra, podemos calcular alguns indicadores e medidas estatísticas importantes, como média, desvio padrão (variância), assimetria, curtose e distribuição de frequência dos dados observados na amostra. Logo em seguida analisar as funções que melhor se ajustam aos postos de cada sub-região.

As funções distribuição de probabilidades a seguir foram usadas para o ajustamento dos dados dos postos das sub-regiões. O melhor ajuste regional foi escolhido para cada uma das sub-regiões. No cálculo foi usado um software computacional adequado para o ajuste e a verificação da bondade do ajustamento.

3.7 – Função distribuição de probabilidades Normal

A distribuição de probabilidade contínua mais utilizada é a distribuição normal (Hastings e Peacock, 1975), geralmente citada como curva normal ou curva de Gauss. Sua importância em análise matemática resulta do fato de que muitas técnicas estatísticas, como análise de variância, de regressão e alguns testes de hipótese, assumem ou exigem a normalidade dos dados.

A distribuição normal é uma distribuição de dois parâmetros. Sua função densidade de probabilidade tem a seguinte forma:

$$f_x(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]; & \text{para } x \geq 0 \\ 0; & \text{para } x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

em que μ é a média e σ o desvio-padrão populacional.

A probabilidade de que um x assumira valores menores ou iguais quando ele tem $N(\mu, \sigma^2)$, distribuição normal com média μ e variância σ^2 é estimada por:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad (4)$$

Mas essa equação não pode ser resolvida analiticamente sem o uso de métodos de integração aproximada. Por esse motivo usa-se a transformação de $Z = \frac{x-\mu}{\sigma}$ a variável Z tem $N(0,1)$, isto é, distribuição normal com média zero e variância um. A variável Z é chamada variável reduzida, e a Equação (5) toma a seguinte forma:

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \quad (5)$$

Pacitti (1974) argumenta que para evitar excesso de trabalho de computação no cálculo da função da distribuição Normal padrão, usa-se um polinômio que aproxima a função com boa precisão. Este polinômio é o apresentado a seguir:

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) (a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5) \quad (6)$$

3.8 – Função distribuição de probabilidades Exponencial

A função distribuição Exponencial é geralmente aplicada a dados com forte assimetria, ou seja, apresentando uma forma de "J" invertido. Sua função densidade de probabilidade é assim descrita (Kite, 1978).

$$f_x(x) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right); & \text{para } x > 0 \\ 0; & \text{para } x < 0 \end{cases} \quad (7)$$

sua função de distribuição acumulada é do tipo:

$$F_x(x) = \int_0^{\infty} f(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{\bar{x}}\right) \quad (8)$$

O único parâmetro da distribuição é a média amostral.

3.9 – Função distribuição de probabilidades Log-normal

Outra distribuição, testada por Huf e Neil (1959), num trabalho de comparação entre vários métodos para analisar frequência de dados, é a distribuição log-normal. Essa função assume que os logaritmos das variáveis aleatórias são normalmente distribuídos. Conforme Mirshawka (1971) a função densidade de distribuição de probabilidades e a função distribuição de probabilidades acumulada Log-normal com dois parâmetros são representadas pelas equações (9) e (10), respectivamente.

$$f_x(x) = \frac{1}{(x-a)\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[\ln(x-a)-\mu]^2}{2\sigma^2}\right) \quad (9)$$

em que

$f(x)$ = probabilidade da variável ser menor ou igual a x ;

e = base do logaritmo neperiano;

x = valor da variável aleatória;

μ = média dos logaritmos da variável x ;

σ = desvio-padrão dos logaritmos da variável x ;

a = limite inferior da amostra.

Para encontrar a probabilidade de que uma variável aleatória x , tendo distribuição log-normal, assumindo valores entre a e b ($a \leq x \leq b$), tem-se:

$$F(a \leq x \leq b) = \int_a^b \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[\ln(x-a)-\mu]^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad (10)$$

O valor de “ a ” pode ser zero, quando se considera a distribuição log-normal com dois parâmetros, ou um valor mínimo da série, quando se considera log-normal com três parâmetros. O valor de “ b ” pode ser o da variável aleatória, quando se considera a probabilidade acumulada de ocorrência daquele valor (Hastings e Peacock, 1975).

3.10 - Teste de Kolmogorov-Smirnov

O teste Kolmogorov-Smirnov (KS) é realizado com base na diferença máxima entre os valores da distribuição de probabilidades acumuladas teórica e empírica, para um dado nível de significância alfa. Assim, se for verificado a desigualdade:

$$|\Delta F|_{\text{calmáximo}} \leq |\Delta F|_{\text{tabelado}} \quad (11)$$

Aceita-se o ajuste da função densidade de probabilidades para um dado nível de significância alfa.

Se na equação (11) ocorrer uma desigualdade contrária, a função distribuição de probabilidades não será adequada aos dados, dessa forma deve-se buscar o ajuste de outra função.

3.11 - Análise de regressão linear múltipla

A partir dos dados médios estimados de Severidade, Duração e Intensidade de seca, foram construídos modelos de regressão linear múltipla bivariado e implementado em um software computacional adequado para estimar a variabilidade dos valores dessas variáveis sempre em função de outras duas.

Com base nas equações de regressão foram gerados os gráficos para análise. O objetivo da regressão linear múltipla é o de determinar as relações entre a variável dependente e o conjunto de variáveis independentes. Para tanto foi utilizado o conjunto de equações de regressão linear múltipla:

$$\begin{aligned} \text{Severidade} &= \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Duração} + \beta_2 \cdot \text{Intensidade} \\ \text{Duração} &= \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Severidade} + \beta_2 \cdot \text{Intensidade} \\ \text{Intensidade} &= \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Duração} + \beta_2 \cdot \text{Severidade} \end{aligned} \quad (12)$$

Em que os $\beta_{i,s}$ são os coeficientes de regressão das equações a serem estimados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Caracterização da precipitação dos postos pluviométricos

Os dados de precipitação de cada posto foram tratados, com o objetivo de obter médias mensais. Alguns anos foram retirados por falta de dados e alguns valores mensais foram preenchidos. O preenchimento aqui utilizado foi feito de modo a não produzir erro nas futuras análises. As amostras de dados de chuvas mensais, tem tamanho, em média, de 40 anos.

Após a obtenção dos valores médios mensais de chuvas foram obtidos os seis meses mais chuvosos de cada posto. Em geral, os meses mais chuvosos estão entre os meses de dezembro a maio, com predominância para o período de janeiro a junho, em 20 localidades. Foi observado que o mês de março tem uma média superior a 100 mm na maioria dos municípios analisados, com máximo de 148,7 mm observado no município de Passagem – PB (Figura 6a), o menor valor observado ocorreu no município de Boa Vista com 54,3 mm (Figura 6b). Apenas 4 postos pluviométricos apresentaram o mês de abril como o mês mais chuvoso, foram eles: Barra de São Miguel, com 79,9 mm, Boqueirão, com 78,5 mm (Anexo I, Figura 1.I), Gurjão, com 103,6 mm e Olivedos, com 96,2 mm (Anexo I - Figura 3.I).

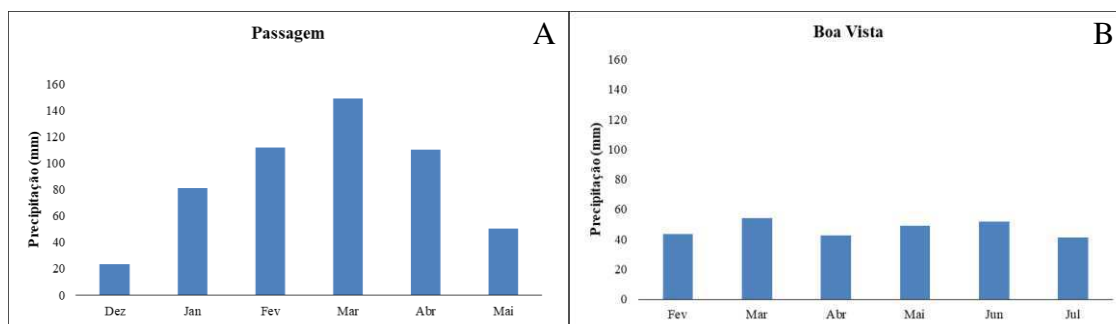


Figura 6 – Valores máximo (A) e mínimo (B) observados no mês de março.

A obtenção desses valores extremos, superiores e inferiores, são importantes para a realização da análise do comportamento geral das variáveis características da seca: Intensidade, Duração e Severidade. Adicionalmente, a partir dos seis meses mais chuvosos, foram obtidas as contribuições mensais de precipitação para cada um desses meses. No Anexo I (Figuras 9. I a 16. I) pode se observar que a contribuição mensal de

precipitação é mais expressiva para o mês de março, com exceção dos municípios de Barra de São Miguel, Boqueirão, Gurjão e Olivedos. (Figuras 7).

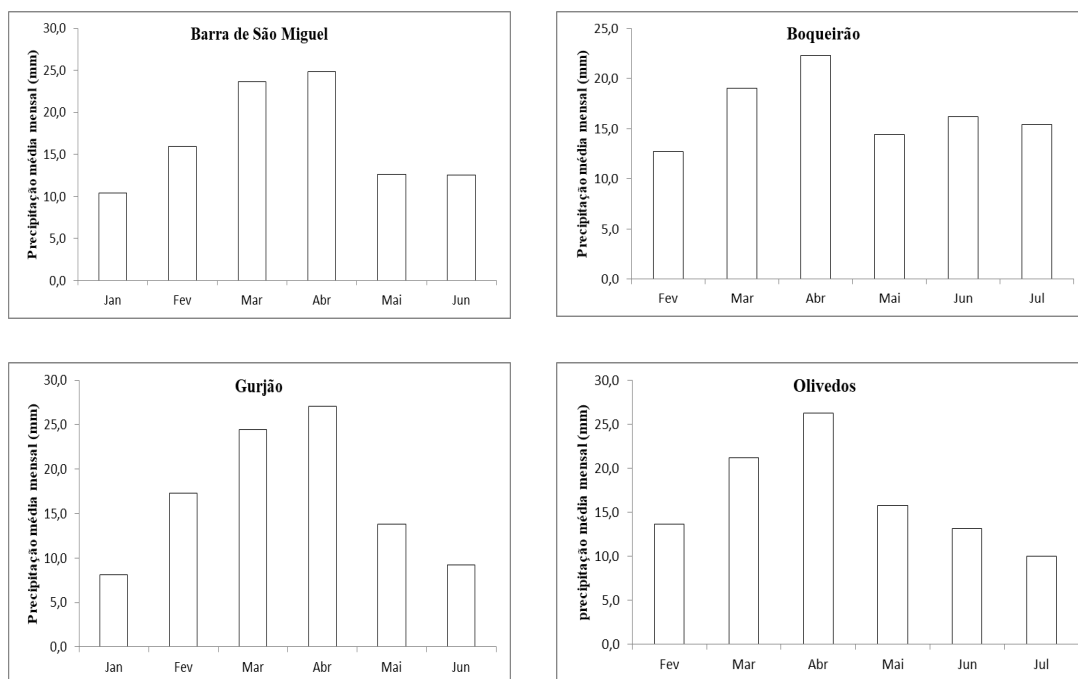


Figura 7 – Municípios com as contribuições mensais mais expressivas para o mês de abril.

Para se obter as anomalias de precipitação mensal, utilizaram-se os seis meses mais chuvosos de cada um dos municípios e o método RUN. Em seguida, foram calculadas as variáveis Severidade, Duração e Intensidade das secas. O Anexo I (Figuras 17.I a 24.I) exibe a dispersão dessas variáveis em torno de uma reta média. Pode ser notado também nessas figuras supracitadas que os coeficientes de determinação entre as variáveis Severidade, Duração e Intensidade das secas, apresentam um valor médio de 68,7%. A Figura 8 destaca os três municípios: Seridó, Juazeirinho e Santo André que apresentaram valores dos coeficientes de determinação bem abaixo da média, cujos valores são: 38,9%, 44,2% e 41,9%, respectivamente. A condição para que houvesse ajustes de funções densidade de probabilidades bivariadas aos dados amostrais de Severidade, Duração e Intensidade das secas é a de que esses coeficientes de determinação, em cada caso, explicasse cerca de 85 a 90% da variação total do sistema. Como esses valores não ocorreram os ajustes não puderam ser realizados, haja vista que os resultados teriam pouco ou nenhum significado, visto que

não seria possível estimar as probabilidades de uma variável (Severidade da seca) em função de outras duas variáveis (Intensidade e Duração da seca).

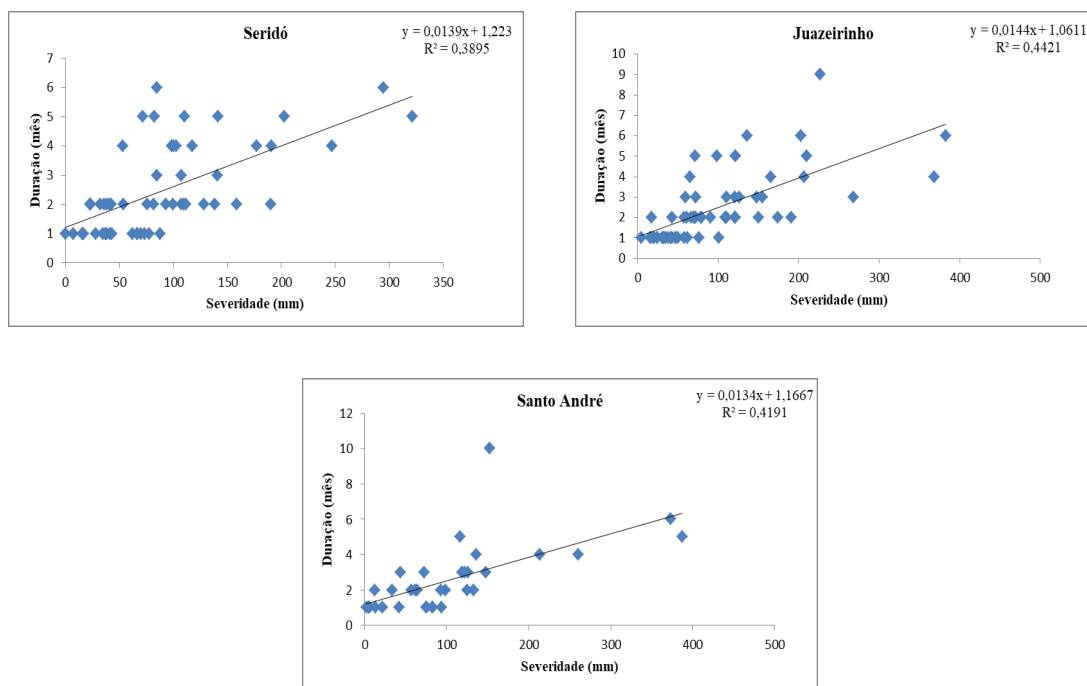


Figura 8 – Dispersão da Severidade da seca versus Duração da seca dos municípios com os menores valores de coeficientes de determinação.

4.2 – Delimitações das sub-regiões por Análise de Agrupamento

Após a análise climática da precipitação da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa, utilizou-se o método de Análise de Agrupamento para realizar as delimitações de três sub-regiões homogêneas, segundo o período estudado. O Quadro 2 resume o resultado dessa delimitação. As sub-regiões 1 e 3 são compostas por nove postos pluviométricos e a sub-região 2 por 12 postos pluviométricos. A Figura 9 exhibe a delimitação das três sub-regiões da área de estudo.

Quadro 2 - Sub-regiões e seus postos pluviométricos.

SUB-REGIÃO 1	SUB-REGIÃO 2	SUB-REGIÃO 3
Barra de São Miguel	Boa Vista	Junco do Seridó
Gurjão	Boqueirão	Livramento
São Sebastião de Umbuzeiro	Caraúbas	Desterro
Congo	Coxixola	Sumé
Serra Branca	São José do Tigre	Camalaú
Prata	Soledade	São João do Cariri
São José dos Cordeiros	Olivedos	Monteiro
Passagem	Cabaceiras	Santo André
Taperoá	Pocinhos	Ouro Velho
	Seridó	
	Juazeirinho	
	Salgadinho	

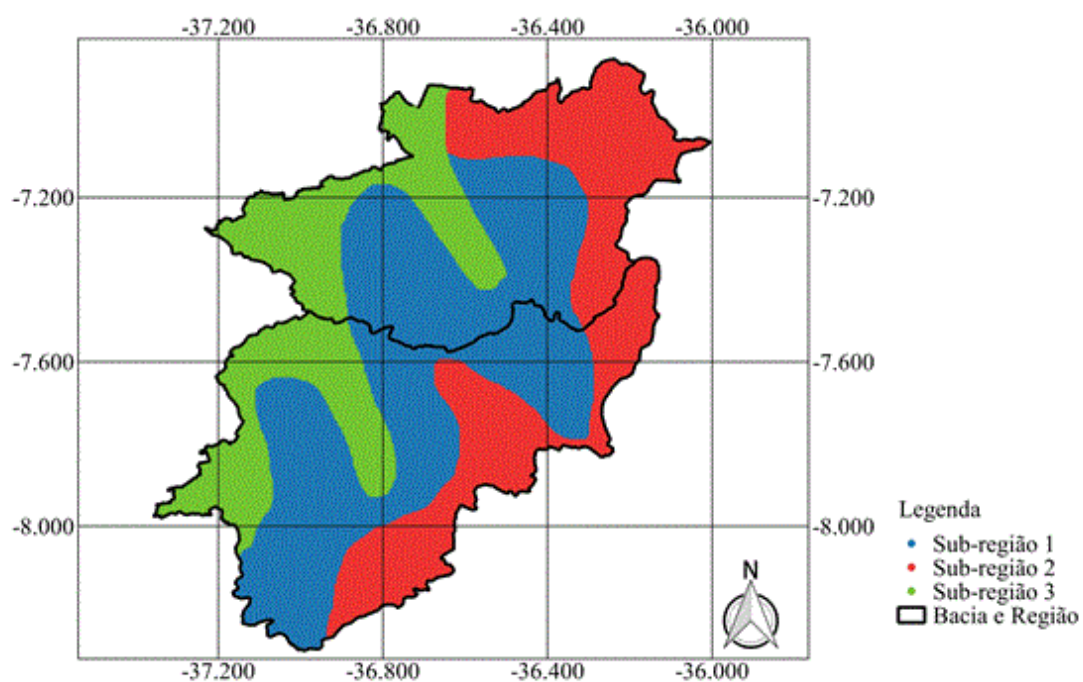


Figura 9 – Delimitação de três sub-regiões da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa.

Na sub-região 1, com nove postos pluviométricos, a chuva média anual acumulada no período estudado foi de 515,2 mm. A Figura 10 exhibe o trimestre mais chuvoso dessa sub-região 1, são os meses de fevereiro a abril. Essas chuvas variam de 120,4 a 78,7 mm no período estudado, com o máximo no mês de março. Os meses de agosto a novembro são os mais secos dessa sub-região 1, variando de 4,5 a 9,9 mm, com valor mínimo em setembro.

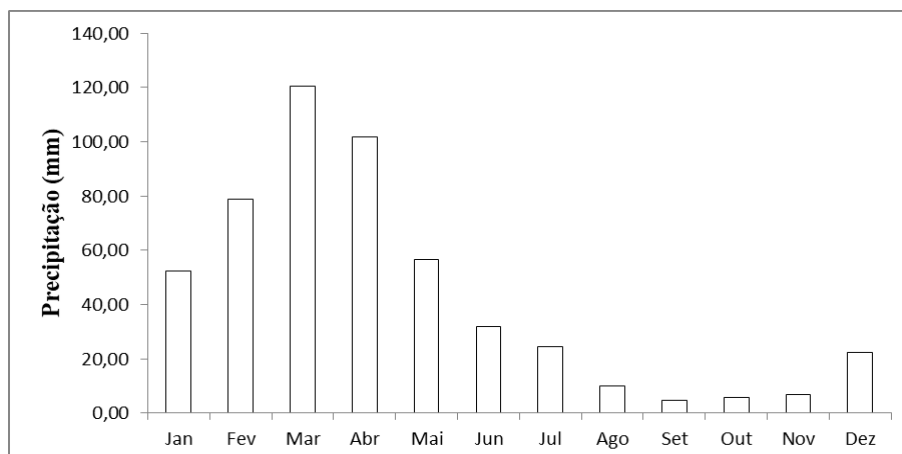


Figura 10 – Distribuição da precipitação pluvial média mensal da sub-região 1.

A sub-região 2 apresenta precipitação média anual acumulada de 440,8 mm. A Figura 11 exibe a distribuição média mensal dessa sub-região 2. Nessa sub-região 2 o trimestre mais chuvoso está entre os meses de fevereiro e abril, variando de 57,0 a 91,6 mm, com valor máximo no mês de março. Por outro lado, os meses de setembro a novembro representam o trimestre mais seco, com chuvas abaixo de 10,0 mm. O valor mínimo de 4,6 mm ocorre no mês de novembro.

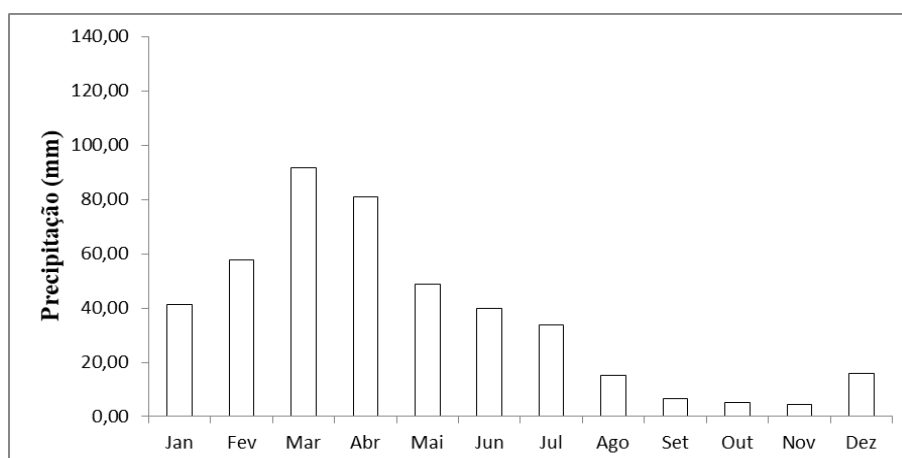


Figura 11 – Distribuição da precipitação pluvial média mensal da sub-região 2.

A sub-região 3 tem a mesma quantidade de postos pluviométricos da sub-região 2, apresentando precipitação anual média acumulada de 525,1 mm. A Figura 12 exibe a distribuição média mensal da chuva nessa sub-região 3. Nela o trimestre mais chuvoso está entre os meses de fevereiro e abril, com chuva máxima em março, com 106,6 mm. Nessa sub-região os meses mais secos estão entre setembro a novembro, com valor mínimo em setembro.

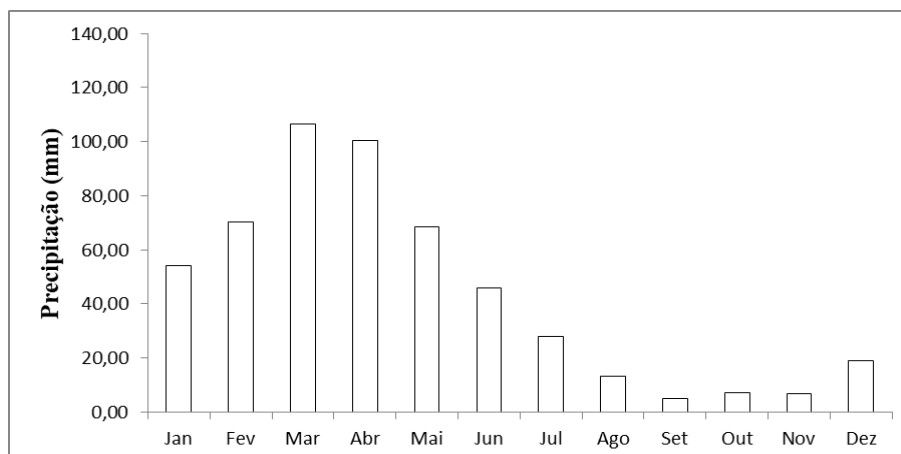


Figura 12 – Distribuição da precipitação pluvial média mensal da sub-região 3.

Após caracterizar o comportamento de precipitação média mensal das sub-regiões na área de estudo, pode-se notar que as sub-regiões 1 e 3 apresentam máximo acima de 100,00 mm, nos meses de março e abril. A sub-região 1 é influenciada pelo sistema precipitante ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), enquanto a sub-região 2 é influenciada pelo sistema Ondas de Leste. Nessa delimitação nota-se ainda que a sub-região 2, entre a sub-região 1 e 3, é a mais seca de todas. Em geral, a precipitação média anual nas três sub-regiões é de aproximadamente 500,0 mm, caracterizando a semiaridez da área de estudo.

4.3 – Delimitação da bacia hidrográfica do açude Epitácio pessoa com base nas variáveis Severidade, Duração e Intensidade da seca

A Tabela 3 classifica os tipos de severidade de seca na área de estudo de acordo com o somatório dos índices negativos de chuva (valores de chuva abaixo da média climatológica, de acordo com a metodologia RUN).

Tabela 3 – Classificação dos tipos de severidade de seca

Tipos de severidade	Severidade de seca (mm)
Moderada	50 – 80
Alta	81 – 110
Extrema	111 – 140

Fonte: Autor (2018)

A Figura 13 apresenta as sub-regiões e seus tipos de Severidade de seca na bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. É possível notar que a magnitude da Severidade

aumenta à medida que se adentra ao continente, em direção ao oeste, exceto o núcleo correspondente ao município de Livramento (ponto 7 da Figura 4), indicando um efeito de continentalidade - distância relativa de uma determinada área em relação ao litoral - (Costa, 2012).

Pode ser notado nessa Figura 13 que a sub-região 2 (leste da bacia) apresenta Severidade Moderada, enquanto nas sub-regiões 1 e 3 ocorrem Severidades Alta e Extrema, respectivamente, exceto o núcleo correspondente ao município de Livramento (ponto 7 da Figura 4). Essa sub-região 2 é menos afetada em termos de Severidade de seca, haja vista que os valores máximos e mínimos são os menores. A explicação para a Severidade de seca Moderada dessa sub-região 2 é que é um vale e o açude Epitácio Pessoa está localizado nele. A altitude nessa sub-região 2 varia entre 300 e 500 metros.

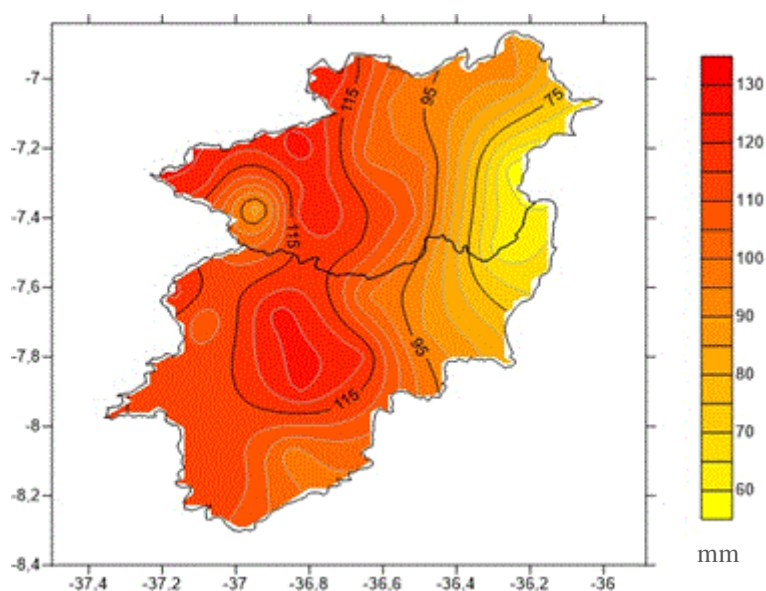


Figura 13 – Variabilidade espacial da Severidade de seca. Fonte: Autor (2018).

A Figura 14 apresenta a variabilidade espacial da Duração de seca para a bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. De acordo com a teoria RUN, a Duração é dada pelo número de eventos sucessivos de mesmo sinal (neste caso negativo). Esse número de eventos define o comprimento do RUN associado com a duração da seca. (Eid, 1976).

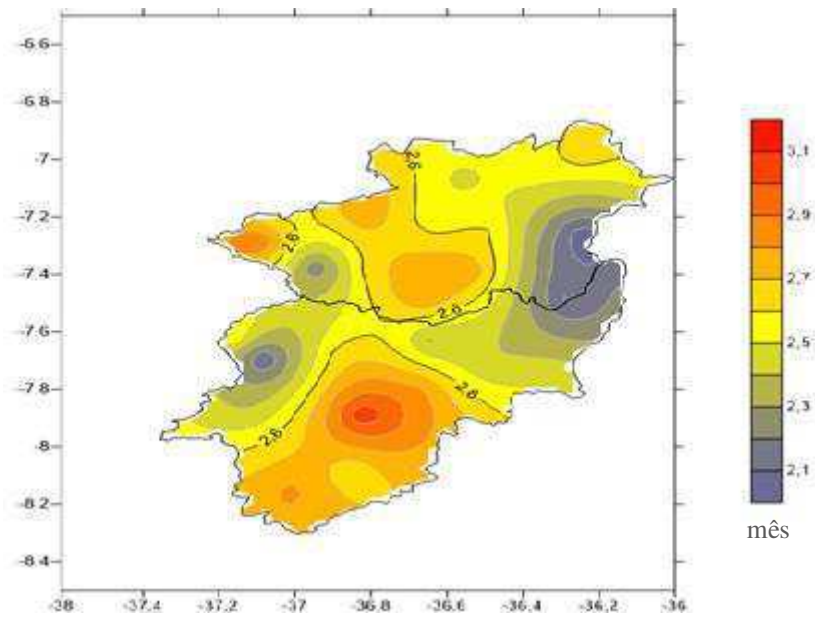


Figura 14 – Variabilidade espacial da Duração de seca. Fonte: Autor (2018).

É possível notar na Figura 14 que a área sul-sudeste da bacia apresenta as maiores Durações de seca, também classificada com Alta Severidade de seca. Na porção leste da área de estudo (localização do açude Epitácio Pessoa) se observam as menores magnitudes de Duração de seca. Como no caso da Severidade, a Duração de seca também apresenta o efeito de continentalidade, e aumenta à medida que se adentra no continente.

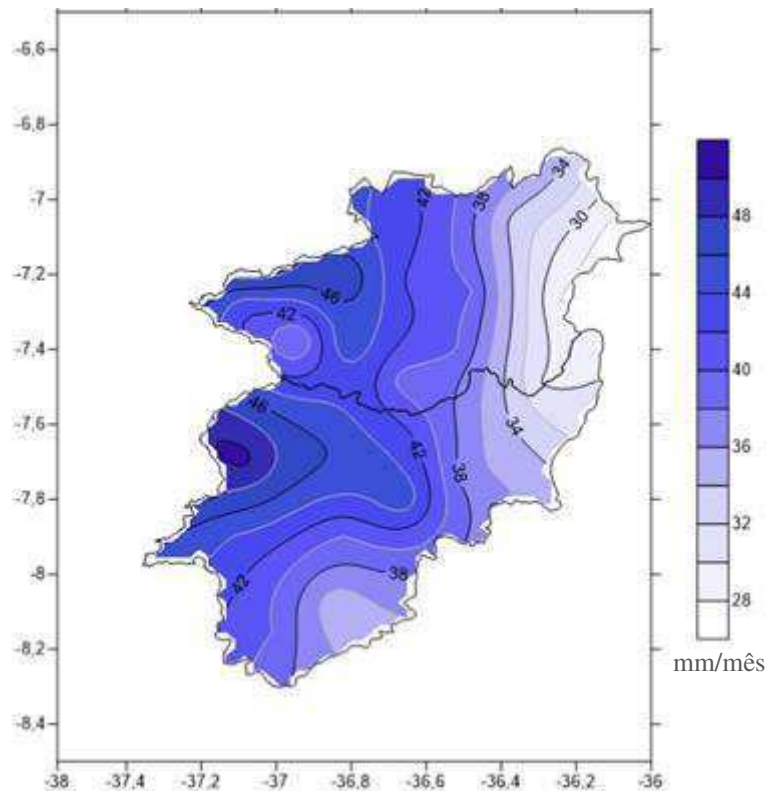


Figura 15 – Variabilidade espacial de Intensidade de seca. Fonte: Autor (2018).

Pode ser notado na Figura 15 que a sub-região 2 (leste da bacia) encontram-se os menores valores de Intensidade de seca. As sub-regiões 1 e 3 apresentam os maiores valores de Intensidade de seca. É possível notar (Figura 15) que o município de Ouro Velho (ponto 30 , Figura 4) tem maior Intensidade de seca. A estrutura da Intensidade de seca é similar às distribuições espaciais das variáveis Severidade e Duração de seca.

4.4 - Ajustes de funções densidade de probabilidade das variáveis: Severidade, Duração e Intensidade de seca

Após testar o ajuste de várias funções densidade de probabilidades para cada uma das sub-regiões, as variáveis Severidade, Duração e Intensidade de seca apresentaram os melhores ajustes à três distribuições distintas: Função Distribuição de Probabilidade Normal, Função Distribuição de Probabilidade Exponencial e Função Distribuição de Probabilidade Log-Normal. As Figuras 16.A, 16.B e 16.C exibem os ajustes das funções distribuição de probabilidades para as variáveis Severidade, Duração e Intensidade de seca.

A função distribuição de probabilidades que melhor se ajustou aos dados de Severidade de seca para sub-região 1 e 2 foi a Exponencial (Figura 16 A, B), enquanto para sub-região 3 a curva que melhor se ajustou aos dados foi a Log-Normal (Figura 16 C). O teste de Kolmogorov-Smirnov (K.S) foi utilizado para verificar a aderência dos dados de Severidade de secas às funções de probabilidades.

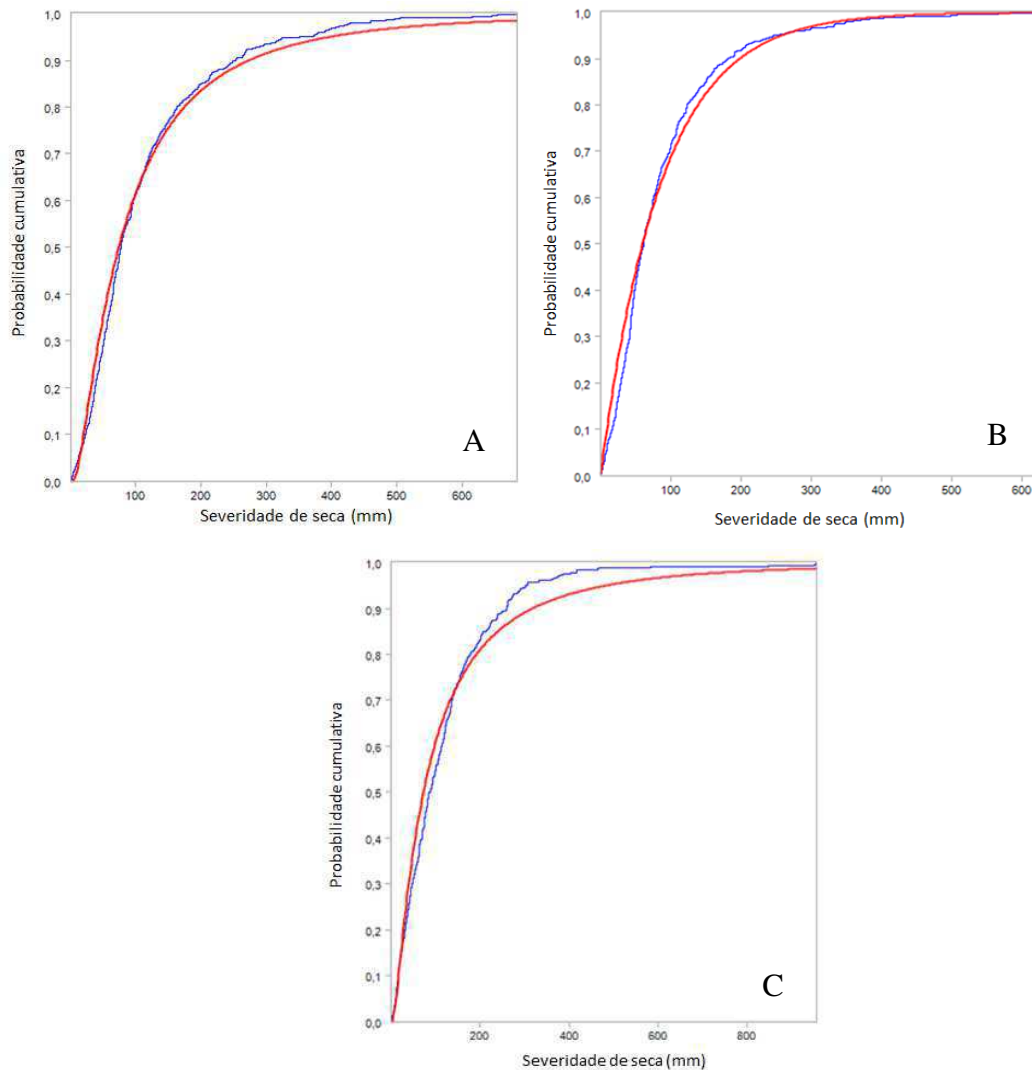


Figura 16 – Ajustes da função distribuição de probabilidades Exponencial aos dados de Severidade de seca da sub-região 1 (A) e sub-região 2 (B); e ajuste da Log-Normal aos dados de Severidade de seca da sub-região 3 (C) - (Linha vermelha curva teórica e linha azul curva empírica).

As Figuras 17.A, 17.B e 17.C exibem os ajustes das funções distribuição de probabilidades para a variável Intensidade de seca. A função distribuição de probabilidade Normal ajustou-se adequadamente aos dados de Intensidade de seca da

sub-regiões 1 e 2 (Figuras 17.A e 17.B). Já os dados da sub-região 3 ajustaram-se à função distribuição de probabilidades Exponencial (Figura 17.C). Também, os testes de Kolmogorov-Smirnov (K.S) apresentaram adequações satisfatórias.

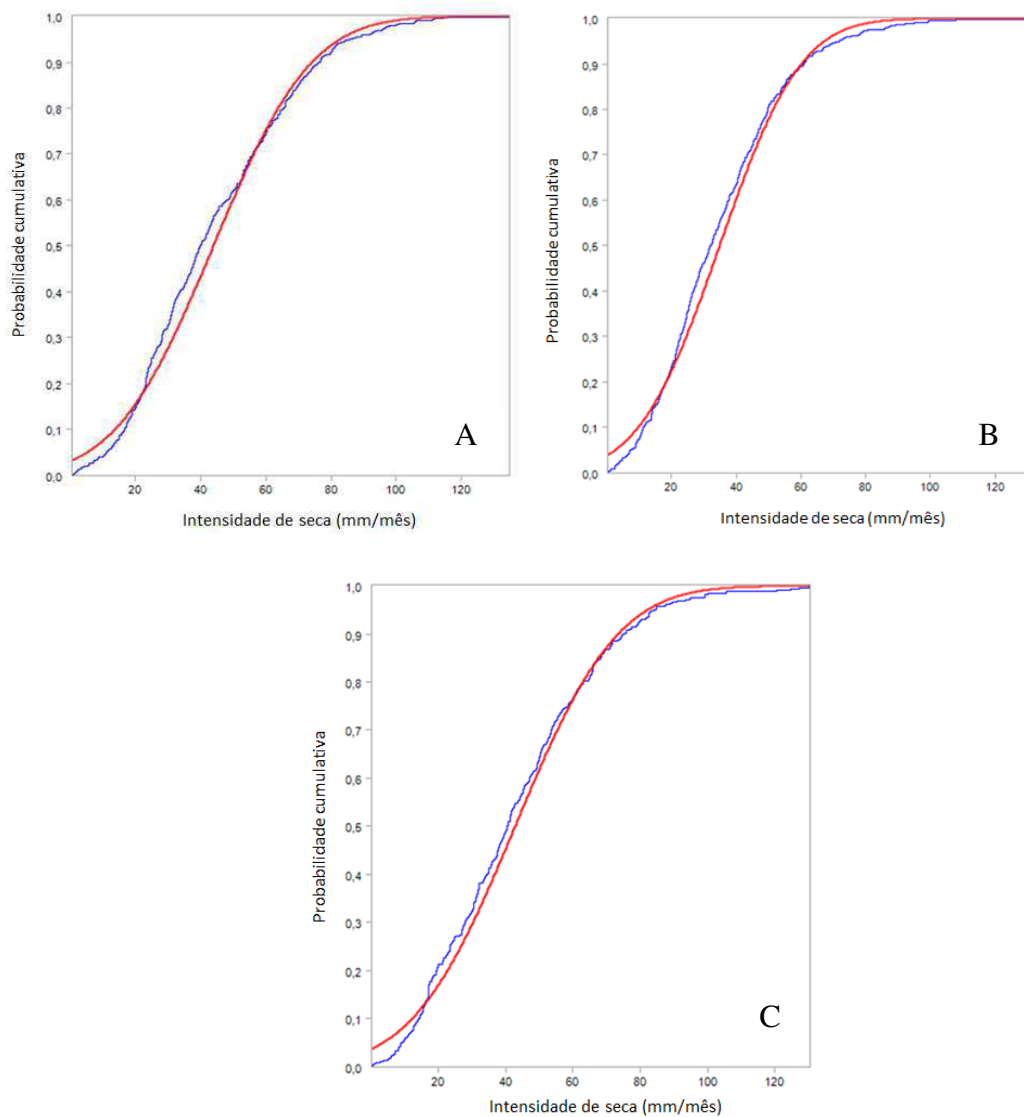


Figura 17 – Ajustes da função distribuição de probabilidades Normal aos dados de Intensidade de seca da sub-região 1 (A) e sub-região 2 (B); e ajuste da função distribuição de probabilidades Exponencial aos dados de Intensidade de seca da sub-região 3 (C) – (Linha vermelha curva teórica e linha azul curva empírica).

A função distribuição de probabilidades Exponencial foi a que melhor se ajustou aos dados de Duração de secas na sub-região 1 (Figura 18.A), diferente das demais variáveis Severidade de seca e Intensidade de seca. Para as sub-regiões 2 e 3 os melhores ajustes dos dados de Duração de seca foram obtidos com as funções

distribuição de probabilidades Normal e Log-Normal, respectivamente (Figuras 18.B e 18.C). O teste de Kolmogorov-Smirnov (K.S) apresentou adequação satisfatória para as três sub-regiões.

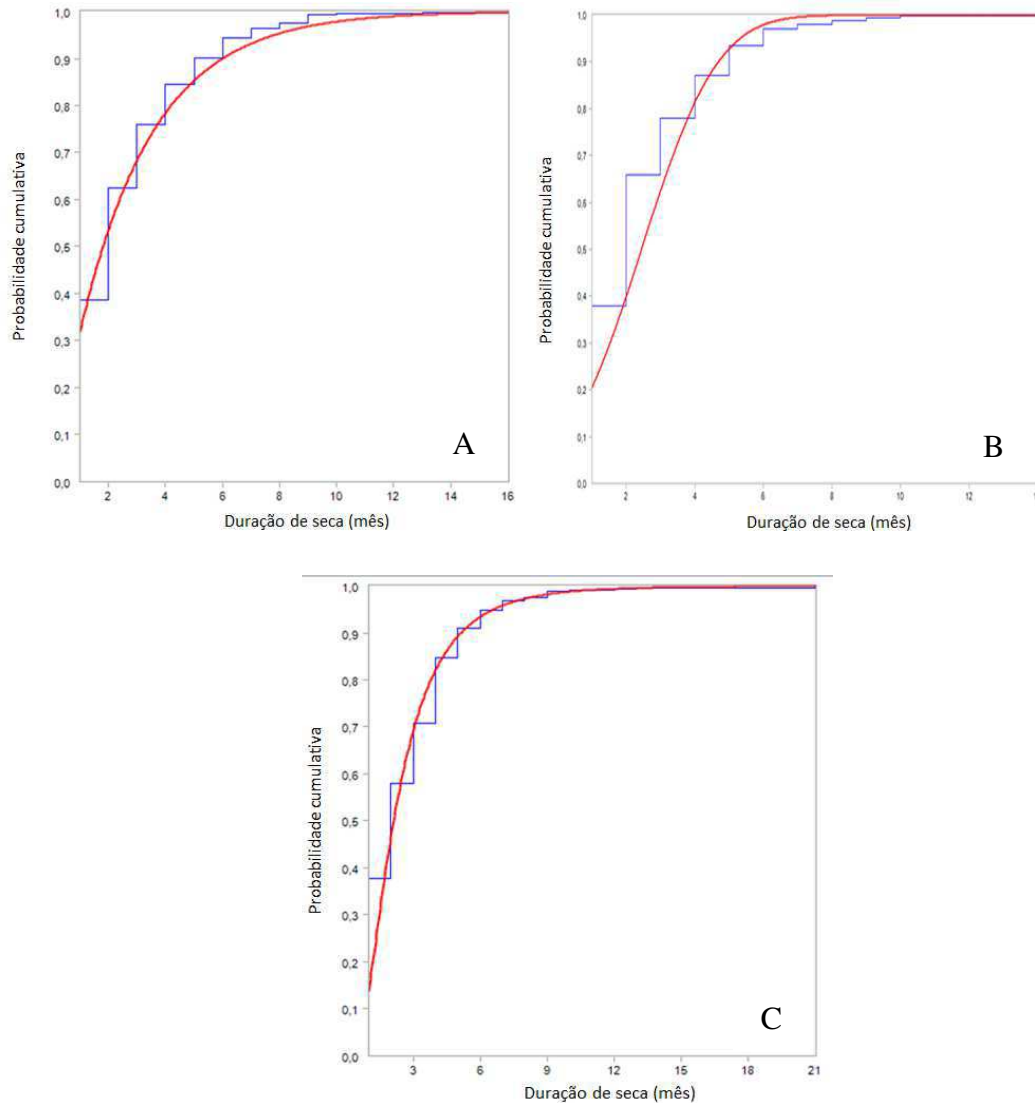


Figura 18 – Ajuste da função distribuição de probabilidades Exponencial aos dados de Duração de seca para a sub-região 1 (A), função distribuição de probabilidades Normal para sub-região 2 (B) e função distribuição de probabilidades Log-Normal para a sub-região 3 (C) - (Linha vermelha curva teórica e linha azul curva empírica).

4.5 – Ajuste das equações de regressão linear múltipla

De acordo com a metodologia proposta, subcapítulo 3.11, foram utilizados os dados de Severidade, Duração e Intensidade de seca para propor equações de regressão linear múltipla que explique uma variável dependente em função de outras duas independentes. A Tabela 4 resume os valores estimados dos coeficientes de regressão dos modelos propostos para a sub-região 1.

Tabela 4 - Coeficientes do modelo de regressão linear múltipla para a variável dependente Severidade de seca em função da Duração e Intensidade de seca para sub-região 1.

Variável dependente: Severidade
Variáveis independentes: Intensidade e Duração

Coeficientes do modelo	Ajuste do modelo (R^2) em (%)	Nível de significância
$\beta_0 = -117,23$	93	0,05
$\beta_1 = 47,50$ (duração)		0,01
$\beta_2 = 24,41$ (intensidade)		0,00

Tabela 5 - Coeficientes do modelo de regressão linear múltipla para a variável dependente Duração de seca em função da Intensidade e Severidade de seca para sub-região 1.

Variável dependente: Duração
Variáveis independentes: Intensidade e Severidade

Coeficientes do modelo	Ajuste do modelo (R^2) em (%)	Nível de significância
$\beta_0 = 2,57$	89	0,00
$\beta_1 = 0,018$ (severidade)		0,01
$\beta_2 = -0,47$ (intensidade)		0,01

Tabela 6 - Coeficientes do modelo de regressão linear múltipla para a variável dependente Intensidade de seca em função da Duração e Severidade de seca para sub-região 1.

Variável dependente: Intensidade
Variáveis independentes: Duração e Severidade

Coeficientes do modelo	Ajuste do modelo (R^2) em (%)	Nível de significância
$\beta_0 = 50,4$	93	0,00
$\beta_1 = 0,38$ (severidade)		0,00
$\beta_2 = -18,94$ (duração)		0,01

Pode ser notado nas Tabelas 4, 5 e 6 que os ajustes dos modelos para a sub-região 1, com base nos coeficientes de determinação (R^2), são superiores a 89%.

Tabela 7 - Coeficientes do modelo de regressão linear múltipla para a variável dependente Severidade de seca em função da Intensidade e Duração de seca para sub-região 2.

Variável dependente: Severidade
Variáveis independentes: Intensidade e Duração

Coeficientes do modelo	Ajuste do modelo (R^2) em (%)	Nível de significância
$\beta_0 = -86,68$	97	0,00
$\beta_1 = 40,68$ (duração)		0,00
$\beta_2 = 2,10$ (intensidade)		0,00

Tabela 8 - Coeficientes do modelo de regressão linear múltipla para a variável dependente Duração de seca em função da Intensidade e Severidade de seca para sub-região 2.

Variável dependente: Duração
Variáveis independentes: Intensidade e Severidade

Coeficientes do modelo	Ajuste do modelo (R^2) em (%)	Nível de significância
$\beta_0 = 2,07$	89	0,00
$\beta_1 = -0,041$ (severidade)		0,02
$\beta_2 = 0,021$ (intensidade)		0,01

Tabela 9 - Coeficientes do modelo de regressão linear múltipla para a variável dependente Intensidade de seca em função da Duração e Severidade de seca para sub-região 2.

Variável dependente: Intensidade
Variáveis independentes: Duração e Severidade

Coeficientes do modelo	Ajuste do modelo (R^2) em (%)	Nível de significância
$\beta_0 = 37,91$	93	0,00
$\beta_1 = 0,435$ (severidade)		0,00
$\beta_2 = -16,576$ (duração)		0,02

Mais uma vez pode ser notado nas Tabelas 7, 8 e 9 que os ajustes dos modelos para a sub-região 2, com base nos coeficientes de determinação (R^2), variam entre 89 e 97%.

Tabela 10 - Coeficientes do modelo de regressão linear múltipla para a variável dependente Severidade de seca em função da Intensidade e Duração de seca para sub-região 3.

Variável dependente: Severidade
Variáveis independentes: Intensidade e Duração

Coeficientes do modelo	Ajuste do modelo (R^2) em (%)	Nível de significância
$\beta_0 = -84,216$	88	0,07
$\beta_1 = 39,27$ (duração)		0,00
$\beta_2 = 2,21$ (intensidade)		0,01

Tabela 11 - Coeficientes do modelo de regressão linear múltipla para a variável dependente Duração de seca em função da Intensidade e Severidade de seca para sub-região 3.

Variável dependente: Duração
Variáveis independentes: Intensidade e Severidade

Coeficientes do modelo	Ajuste do modelo (R^2) em (%)	Nível de significância
$\beta_0 = 2,23$	76	0,01
$\beta_1 = 0,021$ (severidade)		0,04
$\beta_2 = -0,046$ (intensidade)		0,00

Tabela 12 - Coeficientes do modelo de regressão linear múltipla para a variável dependente Intensidade de seca em função da Duração e Severidade de seca para sub-região 3.

Variável dependente: Intensidade
Variáveis independentes: Duração e Severidade

Coeficientes do modelo	Ajuste do modelo (R^2) em (%)	Nível de significância
$\beta_0 = 39,21$	67	0,00
$\beta_1 = 0,341$ (severidade)		0,01
$\beta_2 = -13,34$ (duração)		0,04

Por último, pode ser notado nas Tabelas 10, 11 e 12 que os ajustes dos modelos para a sub-região 3, com base nos coeficientes de determinação (R^2), variam entre 67 e 88%.

Com base nas equações de regressão linear múltipla foram estimados os valores das variáveis dependentes em função das outras duas independentes. Essas estimativas são resumidas pelas Figuras 19, 20 e 21 para as sub-regiões 1, 2 e 3, respectivamente. Nessas Figuras são plotados os valores estimados das variáveis: Severidade de seca, Duração de seca e Intensidade de seca contra seus valores observados. Note nas Figuras

19.A, 19.B e 19.C, para a sub-região 1, que as qualidades dos ajustes são superiores a 70%. O menor valor do coeficiente de determinação foi para a estimativa da Duração de seca em função da Intensidade e Severidade de seca (Figura 19.B).

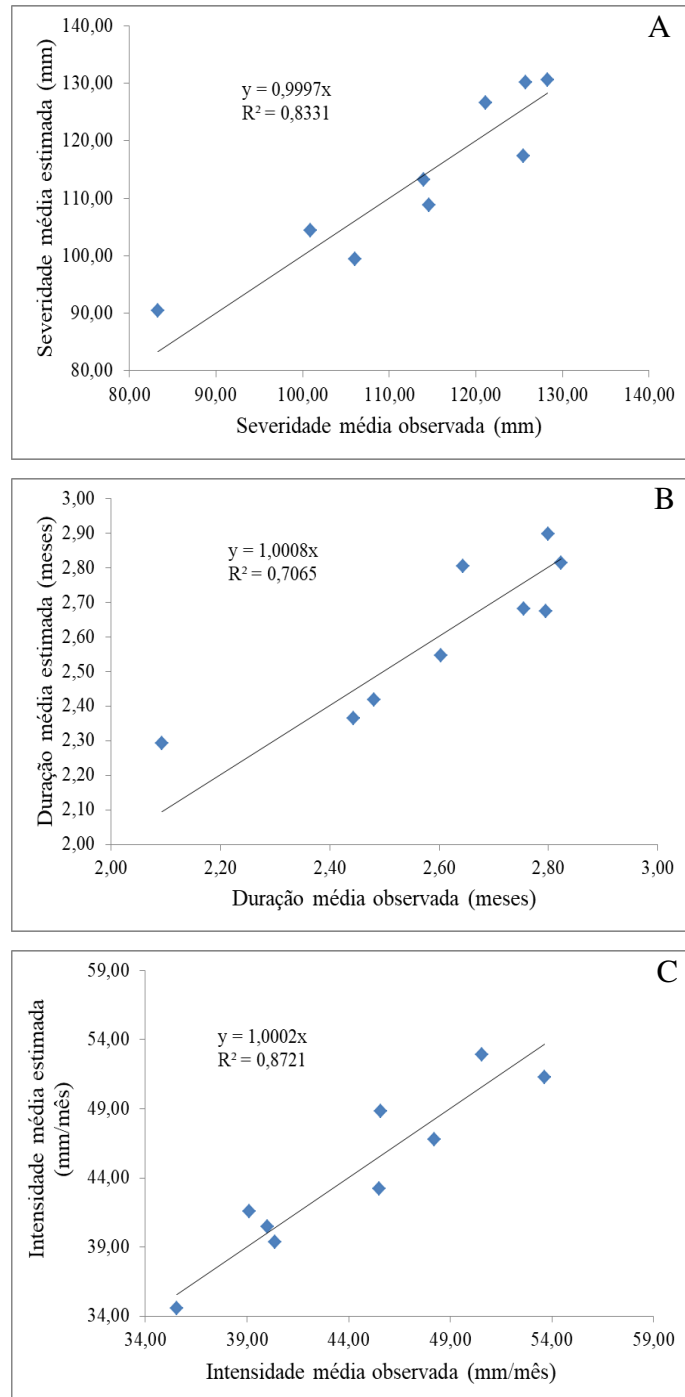


Figura 19 – Regressão linear múltipla para (A) Severidade em função da Duração e Intensidade, (B) Duração em função Intensidade e Severidade e (C) Intensidade em função da Severidade e Duração para sub-região 1. Fonte: Autor (2018).

Nas Figuras 20.A, 20.B e 20.C, para a sub-região 2, pode ser notado que as qualidades dos ajustes são superiores a 77%. Mais uma vez, o menor valor do coeficiente de determinação foi para a estimativa da Duração de seca em função da Intensidade e Severidade de seca (Figura 20.B).

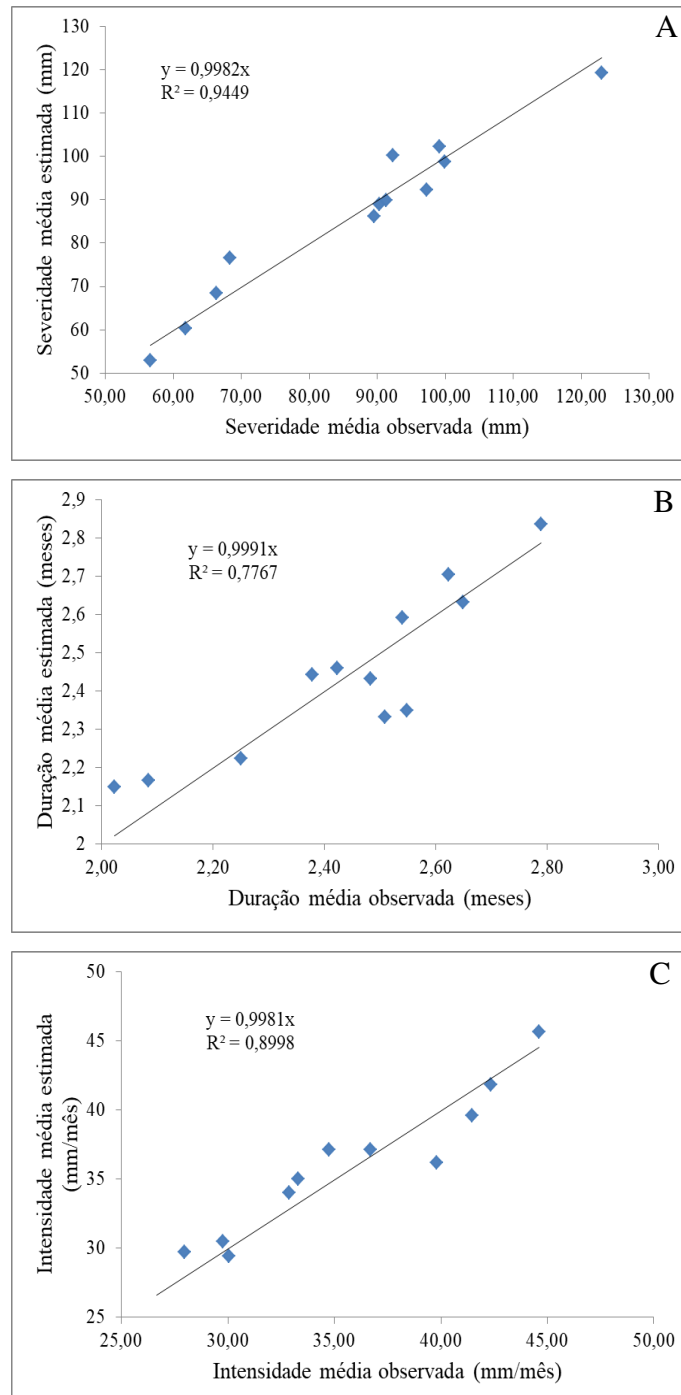


Figura 20 – Regressão linear múltipla para (A) Severidade em função da Duração e Intensidade, (B) Duração em função Intensidade e Severidade e (C) Intensidade em função da Severidade e Duração para sub-região 2. Fonte: Autor (2018).

Nas Figuras 21.A, 21.B e 21.C, para a sub-região 3, pode ser notado que as qualidades dos ajustes não foram muito boas. O maior valor do coeficiente de determinação foi o da estimativa da Severidade de seca em função da Intensidade e Duração de seca (Figura 21.A). Já a qualidade do ajuste da Intensidade de seca em função da Duração e Severidade de seca pode ser considerada desprezível (Figura 21.C).

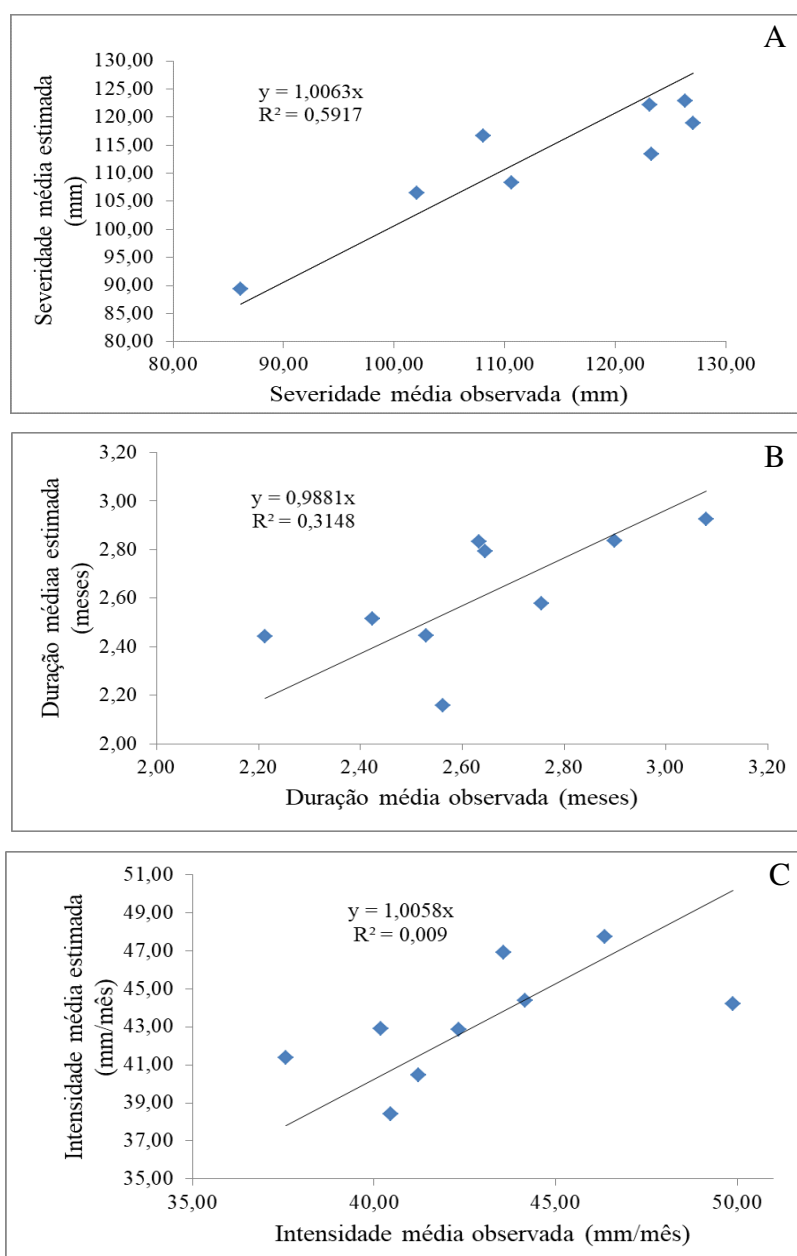


Figura 21 – Regressão linear múltipla para (A) Severidade em função da Duração e Intensidade, (B) Duração em função Intensidade e Severidade e (C) Intensidade em função da Severidade e Duração para sub-região 3. Fonte: Autor (2018).

5. CONCLUSÃO

A aplicação do método RUN mostrou-se eficiente para determinação dos índices de secas: Severidade de seca, Duração de seca e Intensidade de seca. A espacialização desses índices que caracterizam a seca, principalmente no período em que se espera chuvas, denominado estação chuvosa do Semiárido, foi importante para identificar as complexas relações das características da seca como Severidade, Duração e Intensidade e associar essas características a sistemas meteorológicos precipitantes nas respectivas áreas da região Semiárida brasileira. Os resultados dos ajustes das equações de regressão linear múltipla para todo o Semiárido brasileiro seguem os padrões dos apresentados para as localidades situadas no âmbito da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. Nessa bacia (subprojeto do projeto PQ) as sub-regiões 1 e 2 apresentaram resultados muito bons para as estimativas relacionais das características das secas: Severidade, Duração e Intensidade. Já a sub-região 3 não apresentou resultados satisfatórios. Basicamente, essa proporção de dois terços de resultados positivos e um terço negativo pode ser estendida para toda região Semiárida brasileira. A proporção de resultados negativos ocorre quando as interações entre as características da seca (Severidade, Duração e intensidade) são muito heterogêneas.

Na região Semiárida brasileira os principais sistemas precipitantes na estação chuvosa são: a influencia da temperatura da superfície do mar (TSM), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Ondas de Leste (O.L).

As três sub-regiões homogêneas, segundo as características da seca (Severidade, Duração e Intensidade) foram precisamente delimitadas pela estatística multivariada denominada Análise de Agrupamento, sub-regionalizando as características de seca e fornecendo as subamostras para suas modelagens pelo o uso das equações de regressão linear múltipla para cada sub-região.

Os ajustes das funções distribuição de probabilidades aos valores das características de seca: Severidade, Duração e Intensidade para cada uma das sub-regiões foram considerados satisfatórios. A aderência das curvas em cada sub-região mostrou que cada uma delas possui características particulares, principalmente em relação à qualidade dos dados de chuva no período chuvoso e ao tamanho do espaço amostral.

6. BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DAS AGUAS – ANA. SAR – Sistema de acompanhamento de reservatórios. Disponível em: <http://sar.ana.gov.br/>. Acessado em 21/02/2019.

AGRAWALA, S.; BROAD, K.; GUSTON, D. H. Integrating climate forecasts and societal decision making: Challenges to an emergent boundary organization. *Science Technology Human Values*, v. 26, p.454 – 477, 2001.

ASHRAF, M.; ROUSTRAY, J. K. Perception and understanding of drought and coping strategies of farming households in north-west Balochistan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, p.14 - 30, 2013.

ASSUNÇÃO, H. F. e FARIA, S. M. Desempenho de três índices de seca em função da variação anual da produtividade de milho e soja no município de Jataí – GO. *Anais XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, Belo Horizonte – MG, 2009.

BEUCHLE, R.; GRECCHI, R. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; SELIGER, R.; EVA, H. D.; SANO, E.; ACHARD, F.; Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Applied Geography*, v. 58, p. 116–127, 2015.

BLAIN, G. C. e BRUNINI, O. Análise comparativa dos índices de seca de Palmer, Palmer adaptado e índice padronizado de precipitação no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 22, n. 1, p. 105 – 111, 2007.

BRUCE, J. P. Natural disaster reduction and global change. *Bulletin of the American Meteorological Society*, n.75, p.1831–1835. 1994.

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

CARMO, M. V. N. S., Análise e previsão estatística do Índice de Precipitação Padronizada (SPI) para o Nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, p. 111, 2018.

CHANGNON, S. A.; PIELKE JR, R. A.; CHANGNON, D.; SYLVES, R. T.; PULWARTY, R. Human factors explain the increased losses from weather and climate

extremes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 81, n. 3, p. 437 – 442, 2000.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company, New York, 1998.

CLAUSE, B.; PEARSON, C. P. Regional frequency analysis of annual maximum streamflow drought. *Journal of Hydrology*, v. 173, p. 111 – 130, 1995.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Boletim de Grãos, Setembro de 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_06_09_18_33_boletim_graos_-_setembro_2012.pdf>. Acesso em 20 março de 2015.

COOK, E. R.; SEAGER, R.; CANE, M. A.; STAHL, D. W. North American drought: reconstructions, causes, and consequences. *Earth Science Reviews*, v. 81, p. 93 – 134. 2007.

COSTA, J. A. O fenômeno el niño e as secas no nordeste do Brasil. *Revista Científica do IFAL*, v. 1, n. 4, p. 71 – 82, 2012.

DRACUP, J. A.; LEE, K. S.; PAULSON, E. G. On the statistical characteristics of drought events. *Water Resources*, 16 (2), p.289–296, 1980.

DUARTE, R. S. Do desastre natural à calamidade pública: a seca de 1998-1999. Fortaleza: Banco do Nordeste. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, p. 144, 2002.

EID, N. J. Probabilidade de duração de seca empregando a teoria de runs. Dissertação de mestrado programa de pós-graduação em engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, p. 157, 1976.

EUROPEAN COMMUNITIES. Addressing the Challenge of Water Scarcity and Droughts in the European Union. Commun. Com. 414 Final, Brussels. 2007.

FAO. Report of FAO-CRIDA. Expert Group Consultation on Farming System and Best Practices for Drought-prone Areas of Asia and the Pacific Region. Food and Agricultural Organization of United Nations. Published by Central Research Institute for Dryland Agriculture, Hyderabad, India. 2002.

FARIAS, M. P. Índices de seca meteorológica para a microrregião de Petrolina, PE, e Juazeiro, BA. Monografia (Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

FAVRE, A-C, EL ADLOUNI S; PERREAULT L; THIÉMONGE N; BOBÉE B. Multivariate hydrological frequency analysis using copulas. *Water Resources Research*, v.40: W01101. DOI: 10.1029/2003WR002456, 2004.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.1, n.1. p. 15 - 28. 2005.

FEYEN, L.; DANKERS, R. Impact of global warming on streamflow drought in Europe. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. v.114, D1716, p.78 – 92, 2009.

FRANCISCO, Paulo R. M. Classificação e Mapeamento das Terras para Mecanização Agrícola do Estado da Paraíba utilizando Sistema de Informações Geográficas. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solos e Água), Universidade Federal da Paraíba, 2010. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/arquivos_publicacoes/CLASSIFICACAO%20E%20MAPEAMENTO%20DAS%20TERRAS.pdf>. Acesso em: 14 de novembro de 2018.

FREITAS, M. A. S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas. *Revista Tecnologia, Fortaleza*, v. Suplemento, p.84 - 95, 2005.

GELCERA, E.; FRAISSE, C.; DZOTSI, K.; HU, Z.; MENDES, R.; ZOTARELLI, L. Effects of El Niño Southern Oscillation on the space–time variability of Agricultural Reference Index for Drought in midlatitudes. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 174 – 175, p. 110 – 128, 2013.

GONDIM, J., FIOREZE, A. P., ALVES, R. F. F., SOUZA, W. G. Seção 4 – A seca atual no Semiárido nordestino – Impactos sobre os recursos hídricos. *Parcerias Estratégicas*. Brasília – DF, v. 22, n. 44, p. 277 – 300, 2017.

GUEDES, R. V. S.; MACEDO, M. J. H.; SOUSA, F. A. S. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*. n. 23, p. 55 - 65. 2012.

HAO, Z.; AGHAKOUCHAK, A. Multivariate Standardized Drought Index: A parametric multi-index model. *Advances in Water Resources*, v. 57, p. 12 – 18, 2013.

HASTINGS, N .A. J.; PEACOCK, J. B. *Statistical distributions: a handbook for students and practitioners*. New York: J. Wiley, 1975.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments*. Cambridge University Press, New York, 1997.

HUF, F. A. e NEIL, J. C. Comparison of several methods for rainfall frequency analysis. *Illinois State Water Survey Urbana, Illinois. Journal of Geophysical Research*, v. 64, n. 5, p. 541-547, 1959.

JACOBI, J. et al. A tool for calculating the Palmer drought indices. *Water Resources Research*, v. 49, p. 6086–6089, 2013.

KAO, S.; GOVINDARAJU, R.S.; A bivariate frequency analysis of extreme rainfall with implications for design. *Journal of Geophysical Research*, n.112, D13110. doi:10.1029/2007JD008522. 2007.

KIM, D. H.; YOO, C.; KIM, T.-W. Application of spatial EOF and multivariate time series model for evaluating agricultural drought vulnerability in Korea. *Advanced Water Resources*, v. 34, n, 3, p.340 – 350, 2011.

KIM, T. W.; VALDÉS, J. B.; YOO, C. Nonparametric approach for estimating return periods of droughts in arid regions. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 8, n. 5, p .237–246. 2003.

KIM, T. W.; VALDÉS, J. B.; YOO, C. Nonparametric approach for bivariate drought characterization using Palmer drought index. *Journal Hydrologic Engineering*, v. 11, n.2, 134–143, 2006.

KITE, G. W *Frequency and risk analisys in hidrology*. Fort Colins, Water Resources Publications, v3, p. 395, 1978.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, v.107, n. 9, p.1140 - 1153, 1979.

LE COMTE, D. Weather highlights around the world. *Weatherwise*. v.48, p.20 – 22, 1995.

MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. S.; SOUSA, F. A. S.; DANTAS, F. R. C. Análise do índice padronizado de precipitação para o estado da Paraíba, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, v. 5, n. 1, p. 204-214, 2010.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. (orgs). *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, p. 440, 2011.

MARENGO, J. A.; ALVES L. M.; SOARES W. R.; RODRIGUEZ D. A.; CAMARGO H.; RIVEROS M. P.; PABLÓ A. D. Two Contrasting Severe Seasonal Extremes in Tropical South America in 2012: Flood in Amazonia and Drought in Northeast Brazil. In: *Journal of Climate*, v. 26, p. 9137-9154, 2013.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. In: *Climatic Change*, v. 129, p. 103-115, 2015.

MARTINS, E. S. P. R., MAGALHÃES, A. R. Seção 1 – A seca de 2012 – 2015 no Nordeste e seus impactos. *Parcerias Estratégicas*. Edição Especial. Brasília – DF , v. 20, n. 41, p. 107 – 128, 2015.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration of time scales. *Eighth Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society. p.179-186, 1993.

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, v. 391. p. 202–216. 2010.

MIRSHAWKA, V. *Estatística*. Vol II, São Paulo, Liv. Novel, p. 367, 1971.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.17, n.1, p.1-10, 2002.

MONTE, E. M. Estudos de periodicidades: Séries temporais de chuva no Nordeste do Brasil. 107 f. Tese (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, 1986.

NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Mudança de Clima: Negociações internacionais sobre a mudança de clima; vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança de clima. *Cadernos NAE, NAE-SECOM*, Brasília, p. 250, 2005.

NANDINTSETSEG, B.; SHINODA, M. Assessment of drought frequency, duration, and severity and its impact on pasture production in Mongolia. *Natural Hazards*, v. 66, p. 995 – 1008. 2013.

NASCIMENTO, S. S.; ALVES, J. J. A.; *Ecoclimatologia do Cariri Paraibano/Ecoclimatology of the Cariri Paraibano*. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 2, n. 3, p. 28–41, 2008.

NCDC (National Climatic Data Center) 2002. US National Percent Area Severely to Extremely Dry and Severely to Extremely Wet. Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2002/may/uspctarea-wetdry.txt>>. Acesso em: 30/07/2013.

NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B. The climatology of droughts and drought prediction, the effect of climatic variation on agriculture. In: PARRY, M. P.; CARTER, T. R.; KONIJN, N. T. (Ed.). *Assessments in semiarid regions*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishing, v.2, 1988.

OBASI, G. O. P. WMO's Role in the International Decade for Natural Disaster Reduction. *Bulletin American Meteorological Society*, n.75, p.1655 – 1661, 1994.

OLIVEIRA, A. S. de. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia. 1986. 115f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE, 1986.

PACITTI, T. Fortran. Rio de Janeiro, Livro Técnico e Científico Editora, p. 377, 1974.

PALMER, W. C. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new crop moisture index. *Weatherwise*, v. 21, p. 156–161. 1968.

PAULO, A. A.; MARTINS, D. S.; MOREIRA, E.; RAZIEI, T. e PEREIRA, L. S. Análise espacial, temporal e de tendências das secas em Portugal usando o índice SPI aplicado a dados observados, PT02 e séries longas. *Predictabilidade Sazonal de Secas: Avaliação ao nível regional e agrícola*, ISA Press, p. 19 – 39, 2015.

QIN, Y.; YANG, D.; LEI, H.; XU, K.; XU, X. Comparative analysis of drought based on precipitation and soil moisture indices in Haihe basin of North China during the period of 1960 – 2010. Accepted in *Journal of Hydrology*, 2014.

RIBEIRO NETO, G. G. e PAIVA, R. C. D. Monitoramento de secas da América do Sul utilizando produtos de sensoriamento remoto. *Anais XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Florianópolis – SC, 2017.

ROOY, M. P. VAN. A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, Pretoria, v. 14, p. 43-48, 1965.

ROSSI, G.; BENEDINI, M.; TSAKIRIS, G.; GIAKOUMAKIS, S. On regional drought estimation and analysis. *Water Resources Managements*, v. 6, p. 249 – 277, 1992.

SALAS, J. D.; FU, C.; CANCELLIERE, A.; DUSTIN, D.; BODE, D.; PINEDA, A.; VINCENT, E. Characterizing the severity and risk of drought in the Poudre River, Colorado. *J. Water Resources Planning Management - ASCE* v. 131, n. 5, p.383 – 393, 2005.

SANAINEJAD, S. H.; ANSARI, H.; DAVARI, K.; MORID, S. Monitoring and assessment of drought severity in Mashhad at different time scales using Standardized Precipitation Index (SPI). *Journal Water Soil* 17(2): p. 201–209. 2003.

SHAFER, B. A.; DEZMAN, L. E.; Development of a surface water supply index (SWSI) to Assess the Severity of drought conditions in snowpack runoff areas. *Preprints, Western Snow Conference, Reno, NV, Colorado State University*, p. 164–175. 1982.

SILVA A. M.; SILVA J. F. C. B. C.; HENRIQUES I. G. N.; da SILVA R. M. Estimativa da produção de sedimentos na bacia do reservatório Epitácio Pessoa – PB. Revista OKARA: Geografia em debate, v.11, n.2, p. 225-236, 2017.

SILVA, M. A. V. Meteorologia e Climatologia. PAX Gráfica e Editora Ltda, 2ª Edição, p. 532, 2001.

SILVA, V. H., Relação do índice de seca de Palmer com a produtividade do café no estado do Espírito Santo e da soja nos estados de Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 2016.

SILVA, V. M. A.; PATRÍCIO, M. C. M.; RBEIRO, V. H. A.; MEDEIROS, R. M. O desastre da seca no Nordeste brasileiro. Polêmica, v.12, n.2, p.284-293, 2013.

STRANG, D. M. G. D. Análise climatológica das normais pluviométricas do Nordeste do Brasil. São José dos Campos, CTA – (IAC – M – 02/72), p. 29, 1972.

TONKAZ, T. Spatio-temporal assessment of historical droughts using SPI with GIS in GAP Region, Turkey. Journal of Applied Sciences, v.12, n.6, p. 2565-2571, 2006.

ULIANA, E. M., MENDES, M. A. S. A., ALMEIDA, F. T., REIS, E. F., XAVIER, A. C. e SILVA, J. G. F. Índice de precipitação padronizado: estudo de caso para região noroeste do Estado do Espírito Santo, Brasil. Pesquisas Agrárias e Ambientais, Nativa, Sinop, v. 5, n. 5, p. 330 – 336, 2017.

UNCCD (United Nations Convention to Combat Drought and Desertification). United Nations Convention to Combat Drought and Desertification in Countries Experiencing Serious Droughts and/or Desertification. Particularly in Africa. Paris, 1994.

USDA (United States Department of Agriculture). Major world crop areas and climatic profiles. World Agricultural Outlook Board, US department of Agriculture, Agricultural Handbook. n. 664, p.157 – 170, 1994.

VILLA, M. A. Vida e morte no sertão: história das secas no Nordeste nos séculos XIX e XX. Revista Brasileira de História. São Paulo, v. 22, n. 43, p. 251-254, 2002.

- WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, v. 10, p.111 – 120. 1985.
- WILHITE, D. A.; SVOBODA, M. D.; HAYES, M. J. Understanding the complex impacts of drought: A key to improving drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management*, v. 21 n. 5, p. 763-774, 2007.
- WMO (World Meteorological Organization). Report on Drought and Countries Affected by Drought During 1974–1985. WMO, Geneva, 1986. 118p.
- YOO, C.; KIM, S. EOF analysis of surface soil moisture field variability. *Advanced Water Resources*, n.27, p.831 – 842, 2004.
- YUE, S. The Gumbel mixed model applied to storm frequency analysis. *Water Resources Managements*, v. 14, p.377 – 389, 2000.
- YUE, S., RASMUSSEN, P. Bivariate frequency analysis: discussion of some useful concepts in hydrological application. *Hydrological Process*, n.16, p.2881–2898, 2002.
- YUE, S.; OUARDA, T. B. M. J.; BOBÉE, B.; LEGENDRE, P.; BRUNEAU, P. The Gumbel mixed model for flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, n.226, p.88 – 100, 1999.
- ZARCH, M. A. A.; SIVAKUMAR, B.; SHARMA, A. Droughts in a warming climate: A global assessment of Standardized Precipitation Index (SPI) and Reconnaissance Drought Index (RDI). Accepted in *Journal of Hydrology*, 2014.
- ZENG, N. Drought in the Sahel. *Science*, n. 302, p. 999–1000, 2003.
- ZHANG, A.; JIA, G. Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, v. 134, p.12 – 23, 2013.
- ZHANG, L.; SINGH, V. P. Bivariate flood frequency analysis using the copula method. *Journal Hydrologic Engineering (ASCE)*. n.11 v. 2, p.50 – 164, 2006.
- ZHANG, Q. Drought and its impacts. In: Chen, H. (Ed.), *China Climate Impact Assessment*. China Meteorological Press, Beijing. 2003.

ZOU, X.; PANMAO, Z.; QIANG, Z. Variations in droughts over China: 1951–2003. Geophysical Research Letters, v.32, I. 4. p.45 - 67, 2005.

ANEXO I

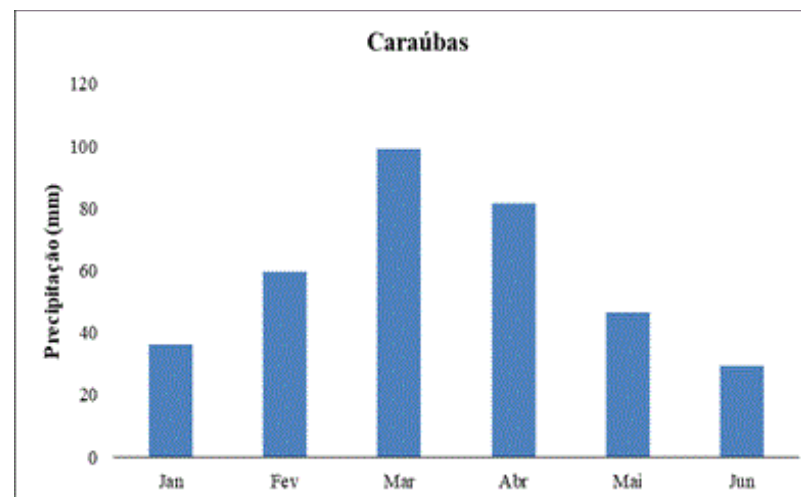
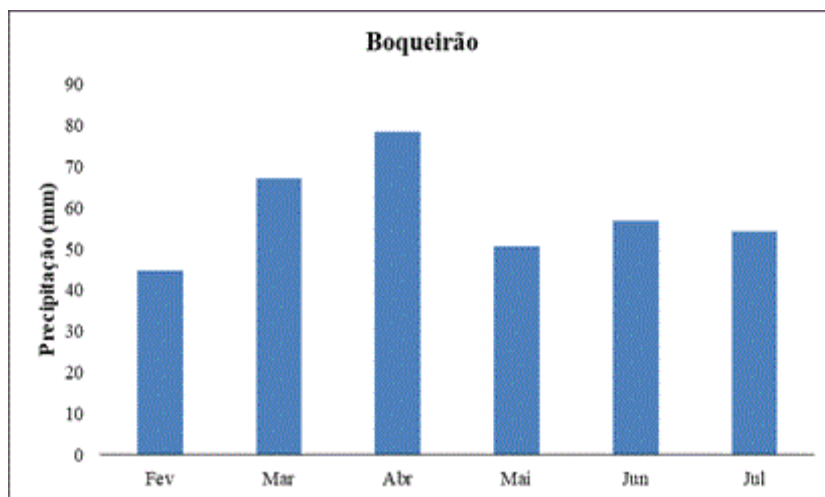
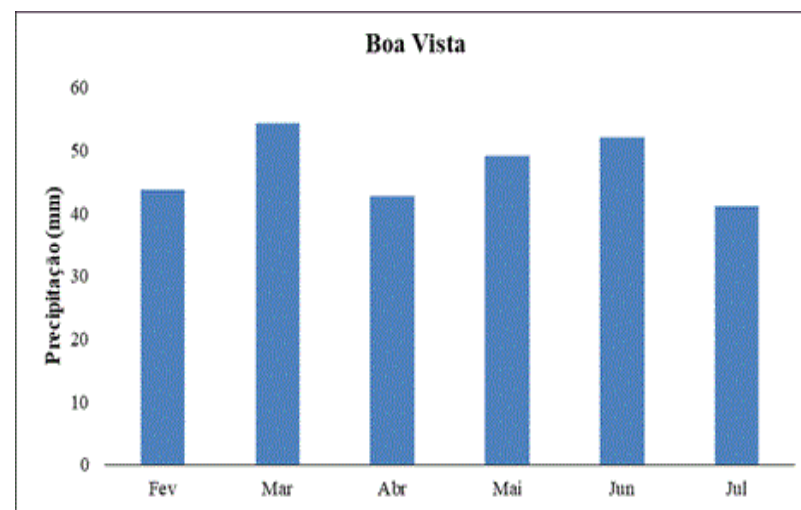
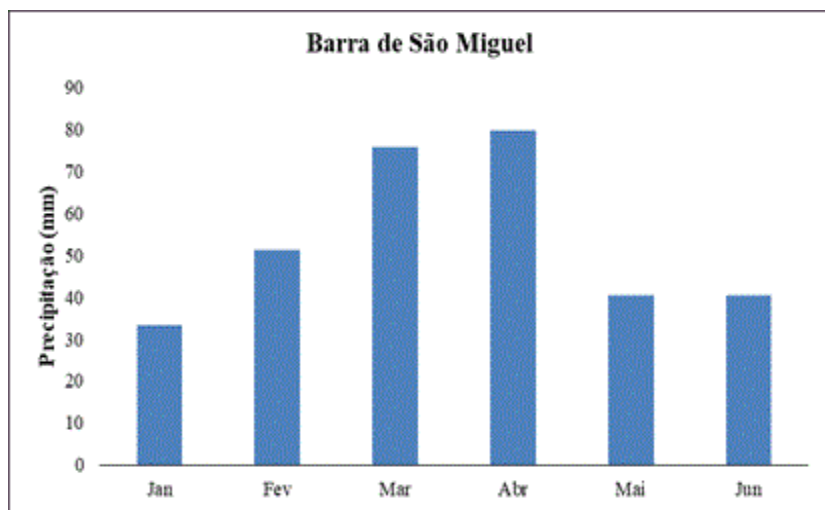


Figura 1. I: Gráficos de precipitação mensal das cidades: Barra de São de Miguel, Boa Vista, Boqueirão e Caraúbas

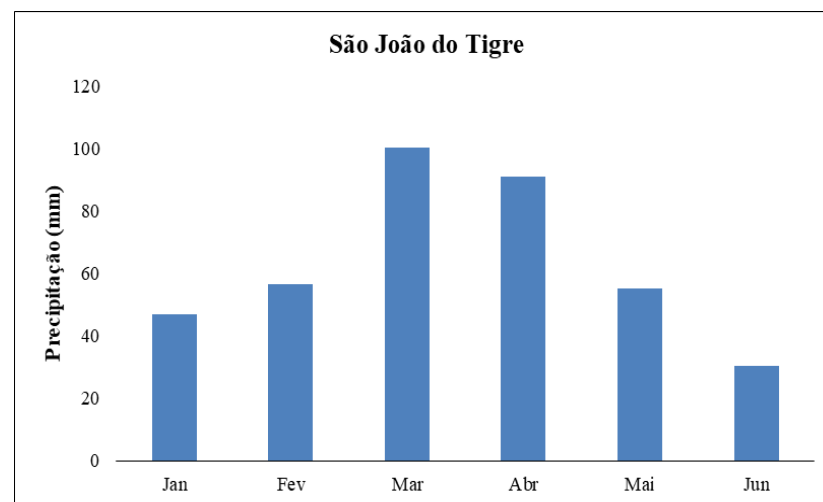
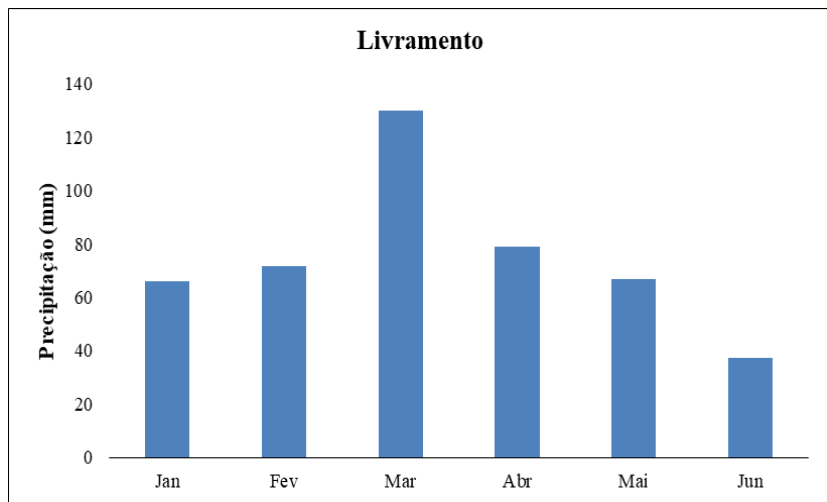
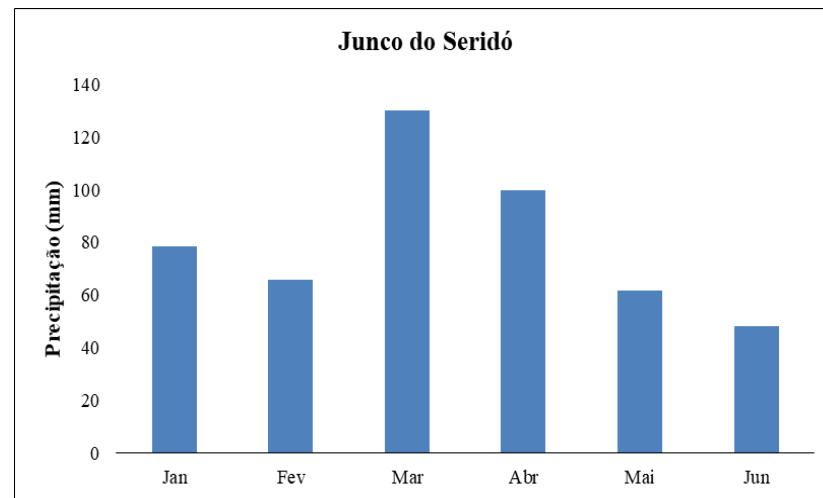
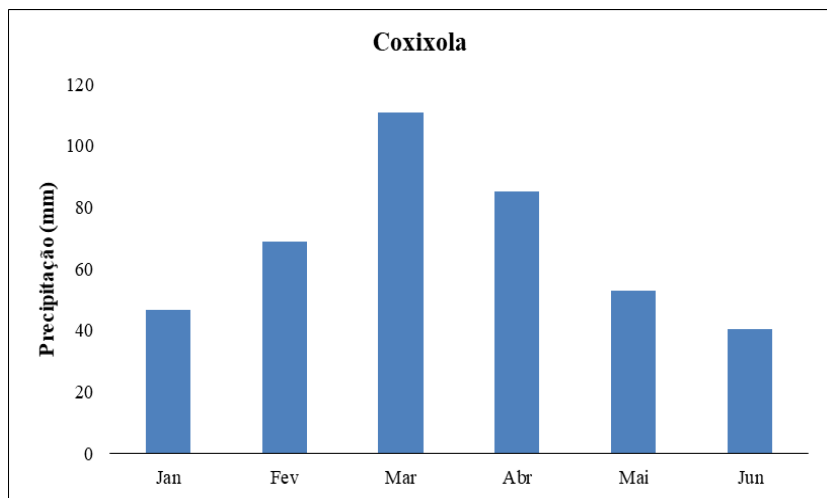


Figura 2. I: Gráficos de precipitação mensal das cidades: Coixola, Junco do Seridó, Livramento e São João do Tigre

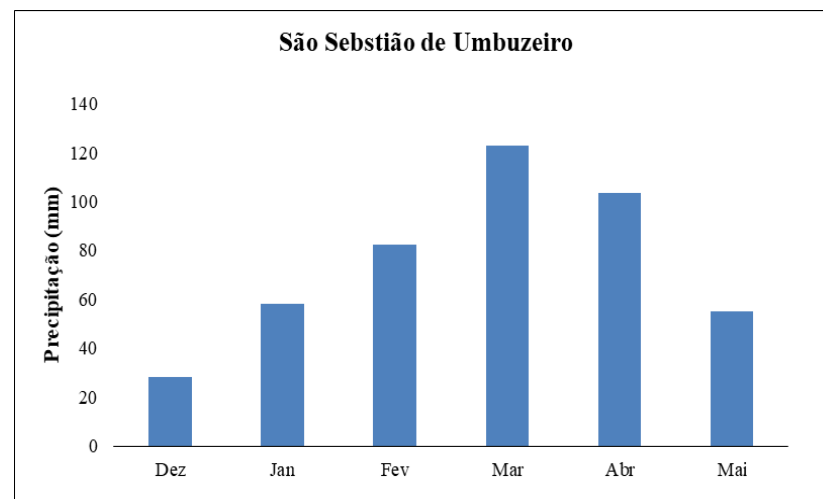
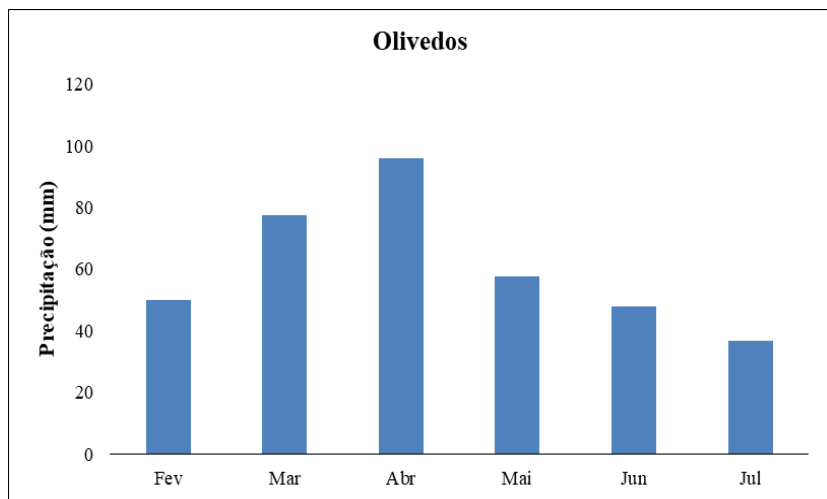
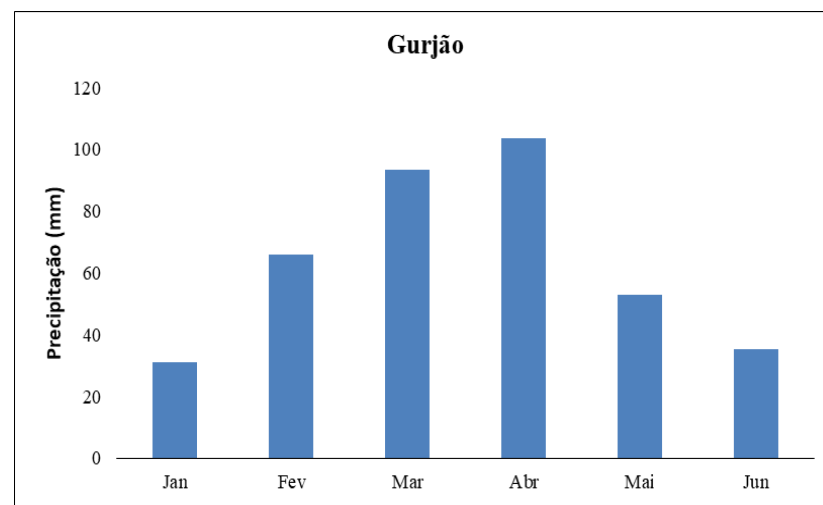
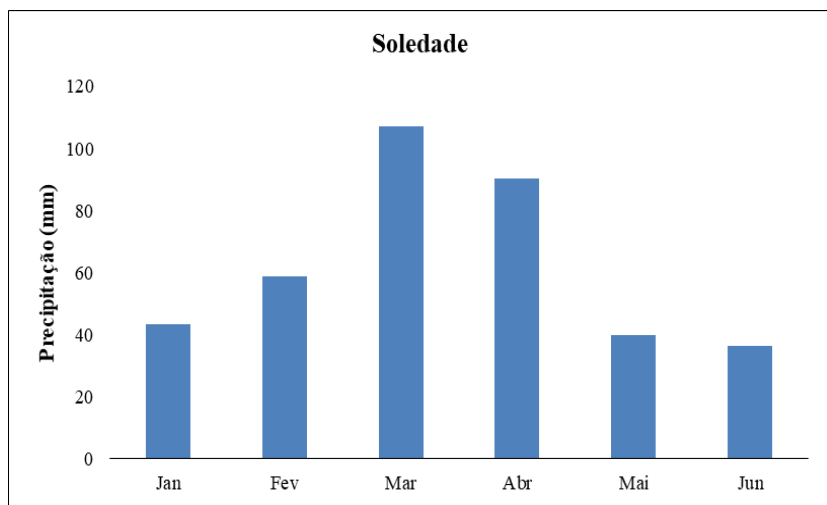


Figura 3. I: Gráficos de precipitação mensal das cidades: Soledade, Gurjão, Olivedos e São Sebastião de Umbuzeiro

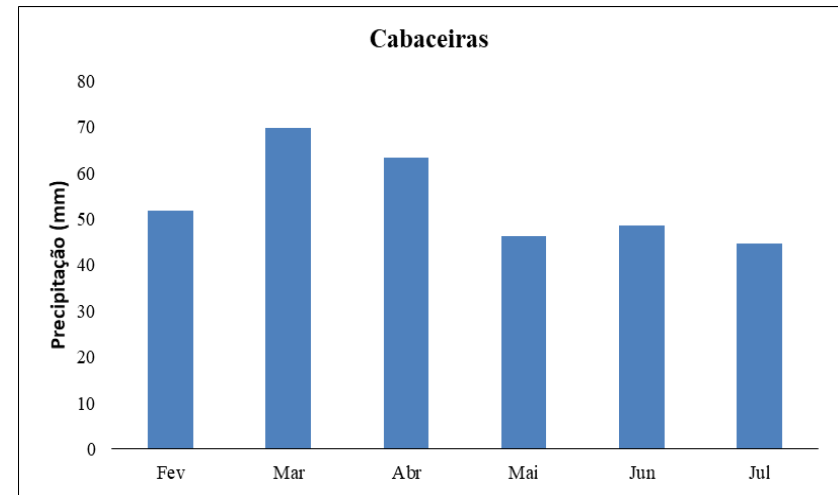
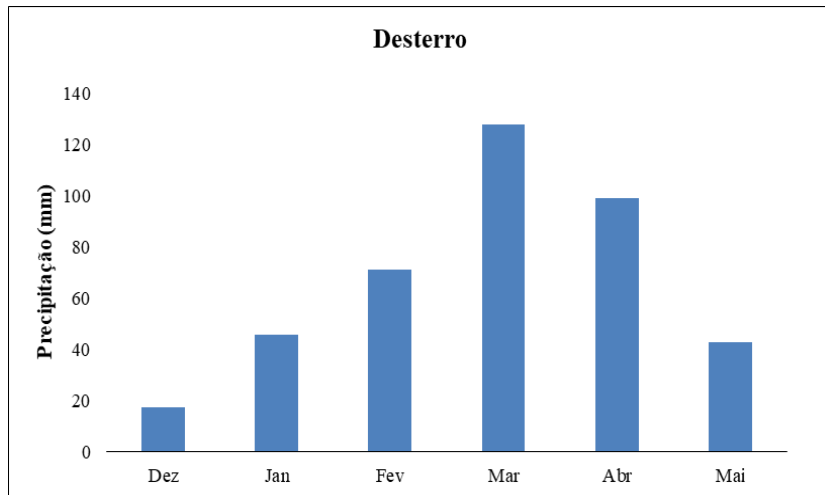
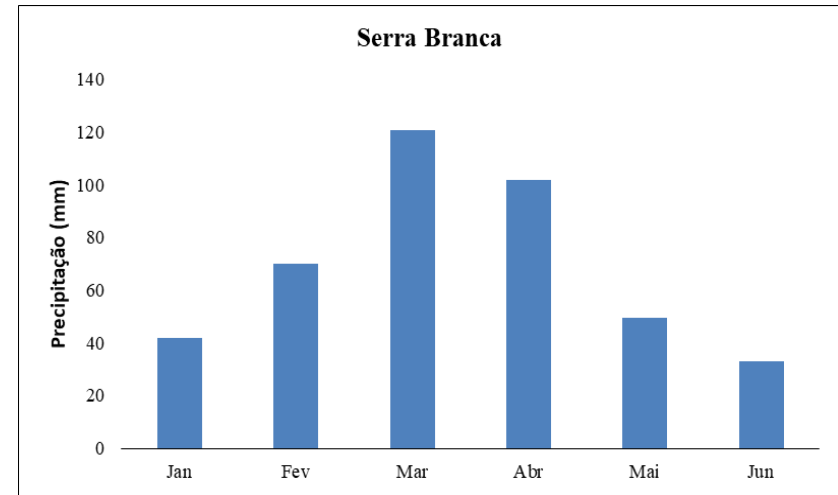
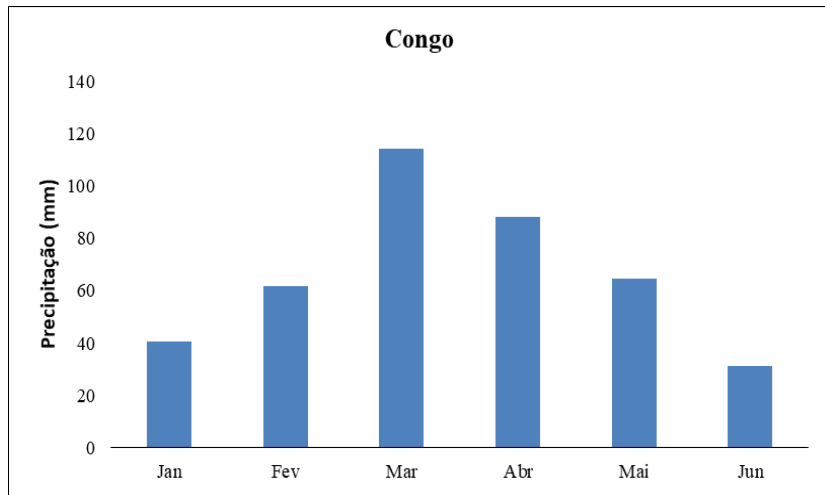


Figura 4. I: Gráficos de precipitação mensal das cidades: Congo, Serra Branca, Desterro e Cabaceiras

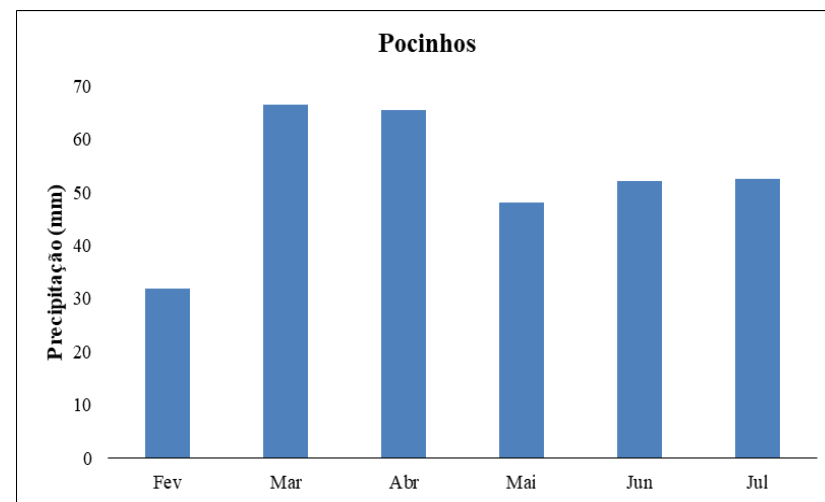
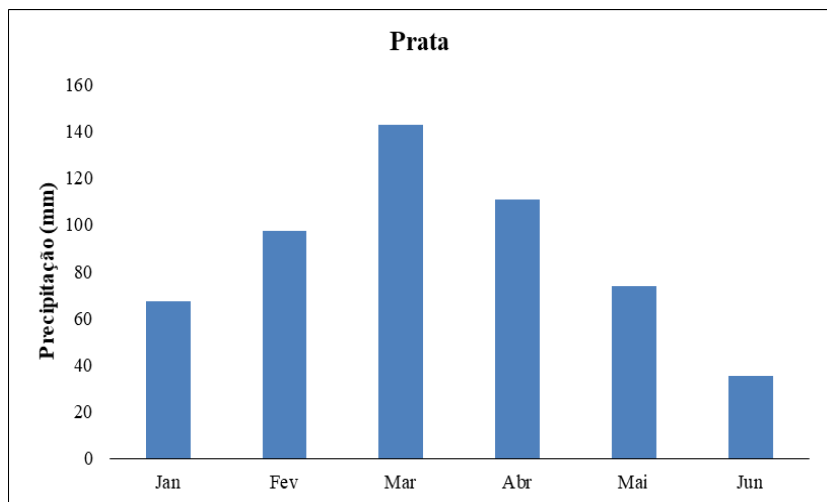
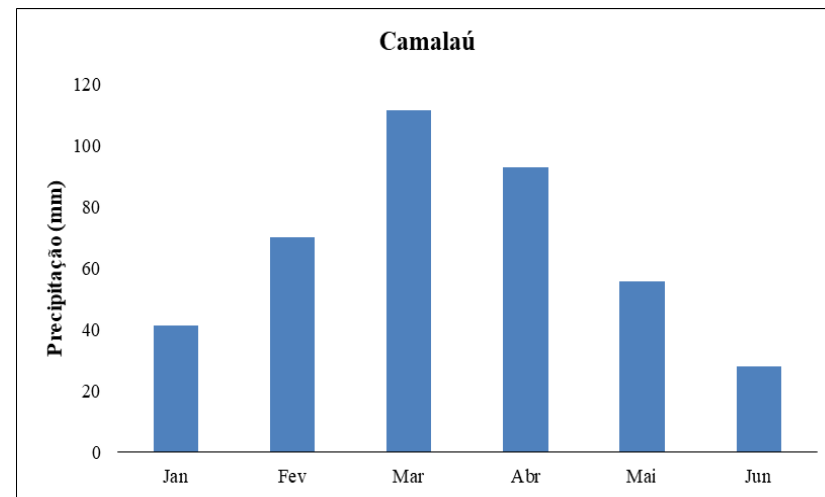
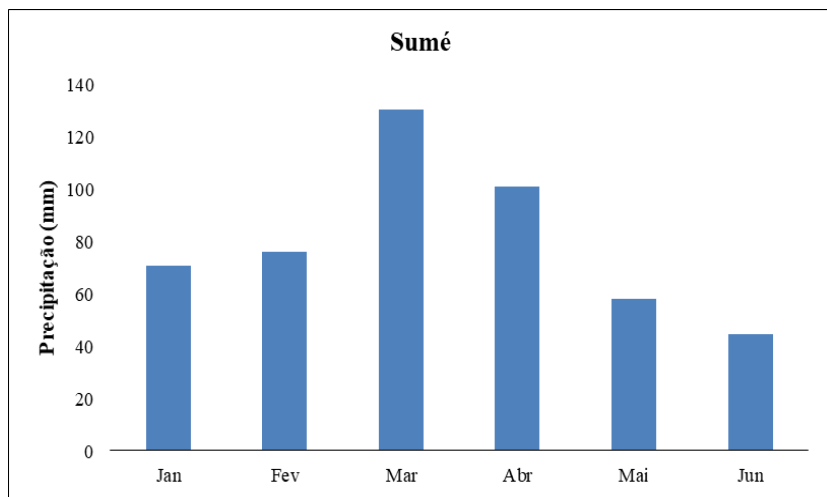


Figura 5. I: Gráficos de precipitação mensal das cidades: Sumé, Camalaú, Prata e Pocinhos

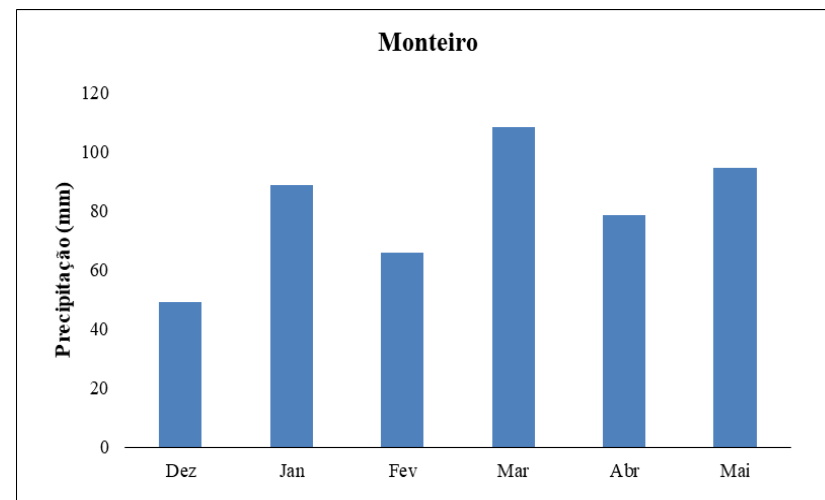
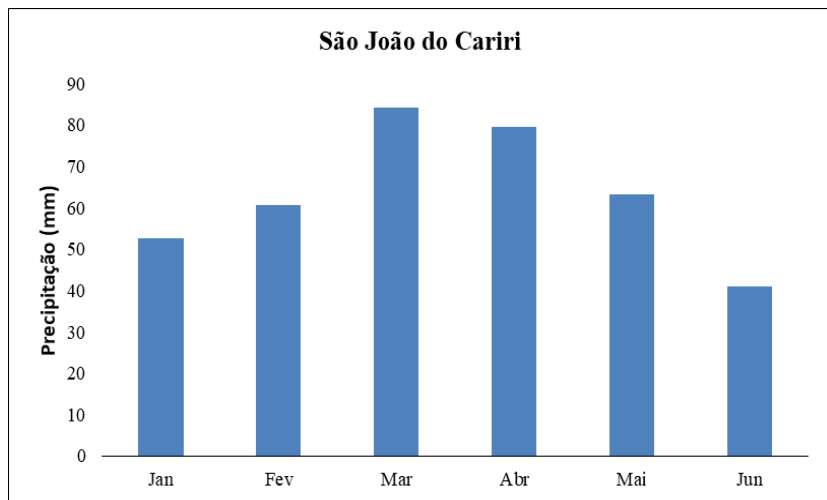
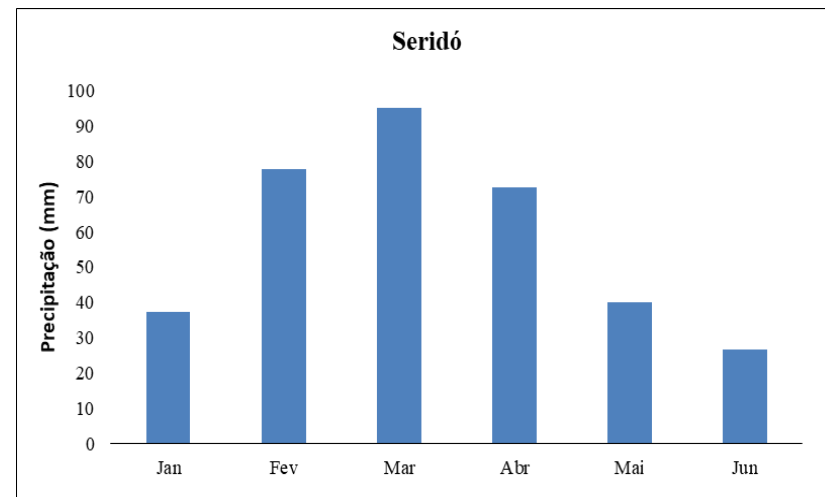
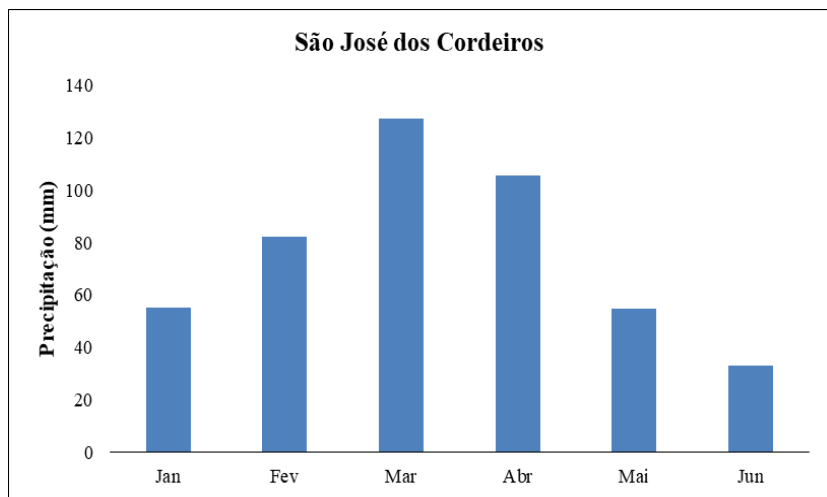


Figura 6. I: Gráficos de precipitação mensal das cidades: São José dos Cordeiros, Seridó, São João do Cariri e Monteiro

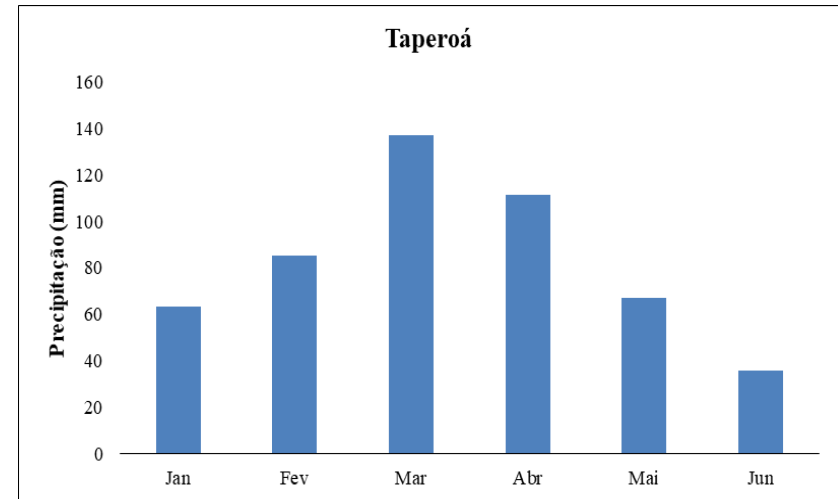
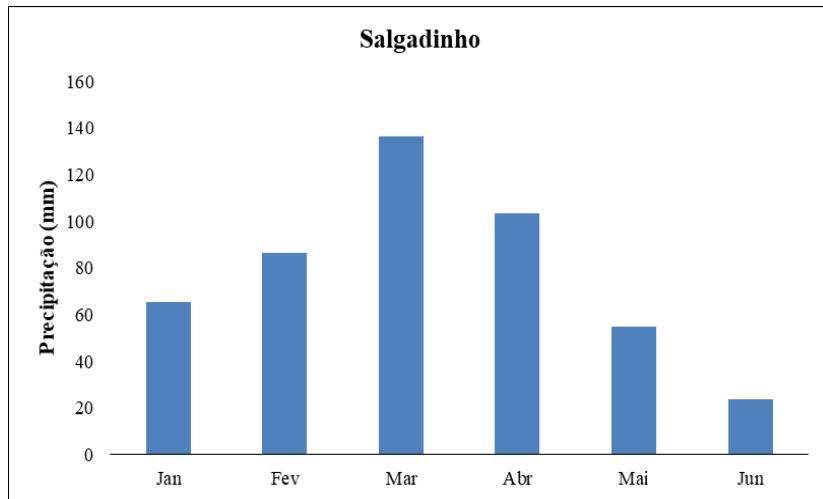
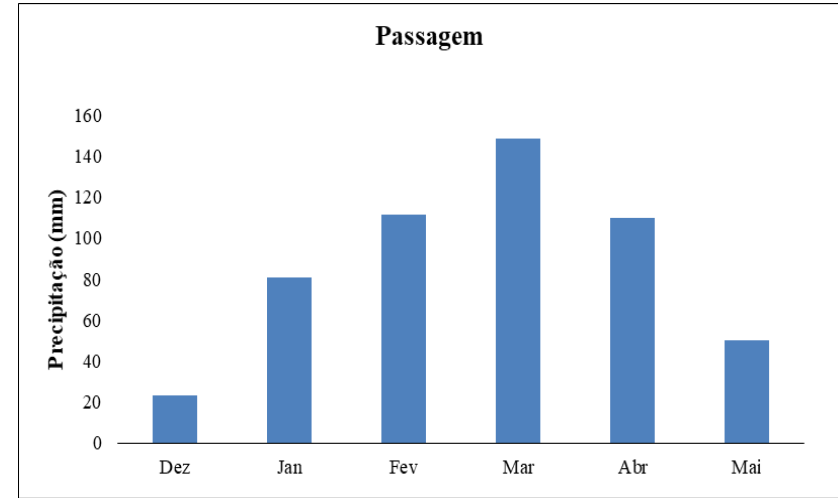
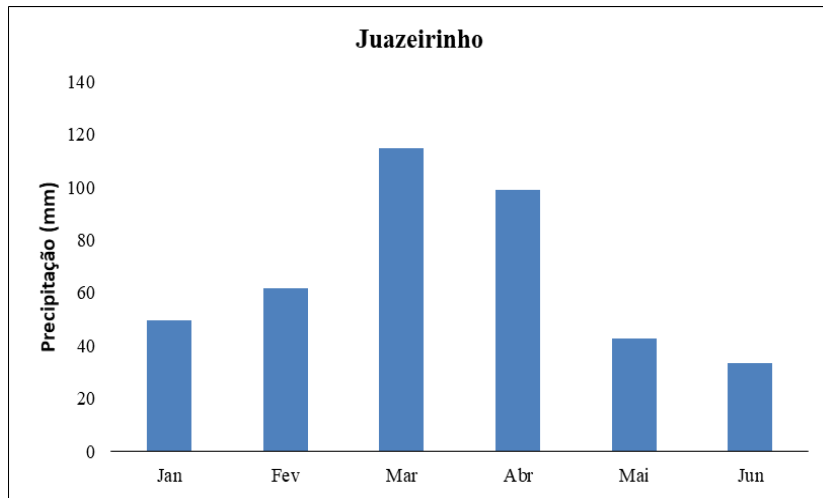


Figura 7. I: Gráficos de precipitação mensal das cidades: Juazeirinho, Passagem, Salgado e Taperoá

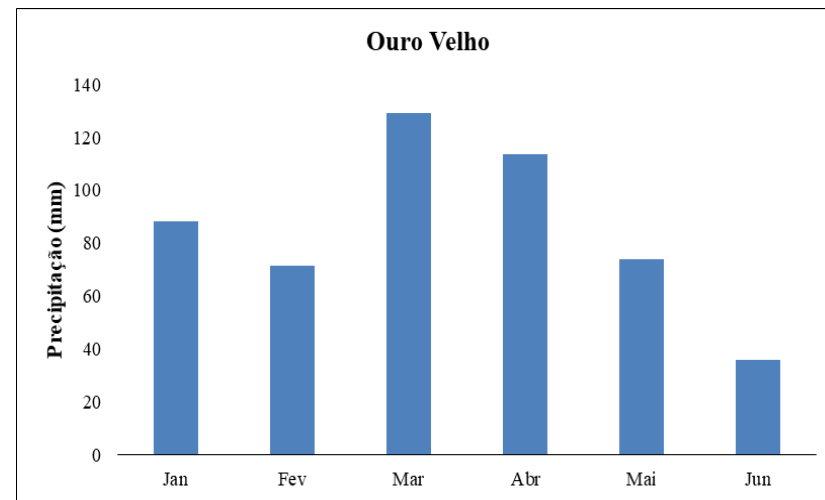
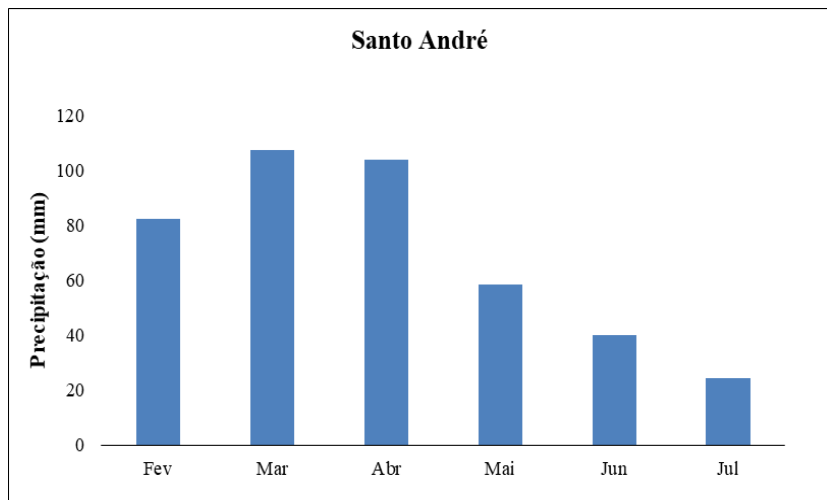


Figura 8. I: Gráficos de precipitação mensal das cidades de Santo André e Ouro Velho

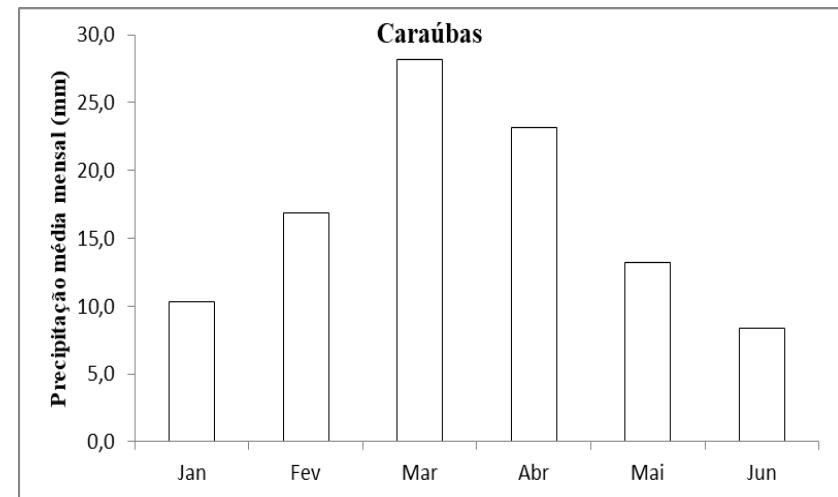
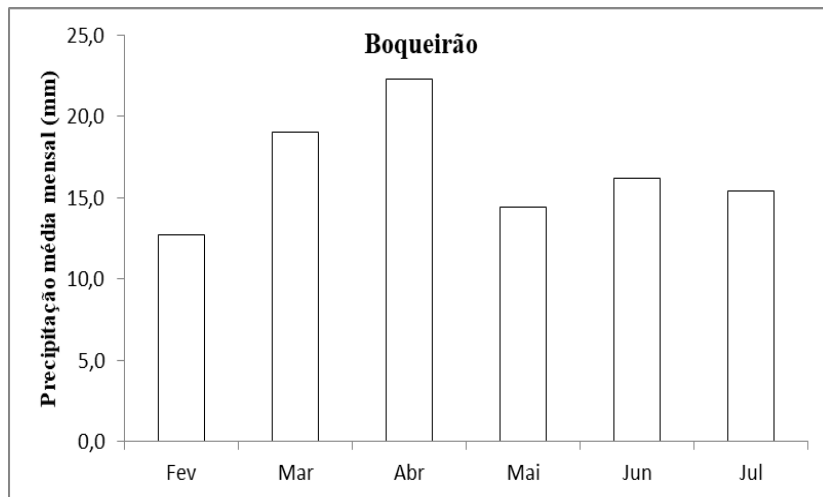
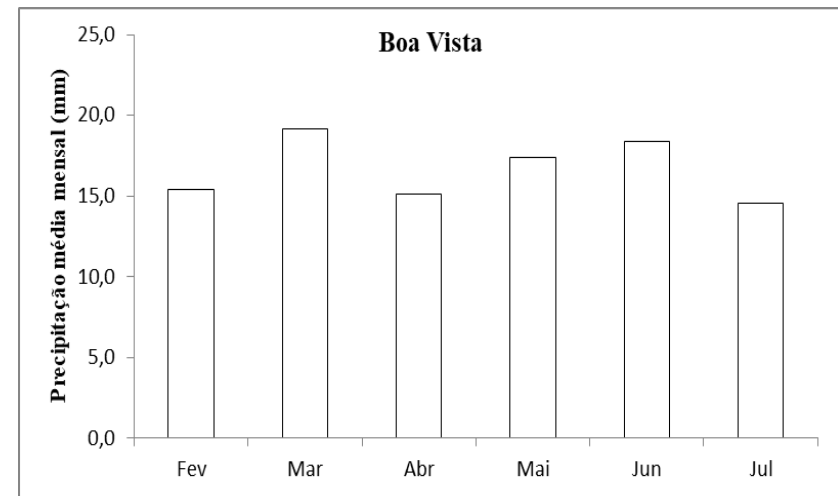
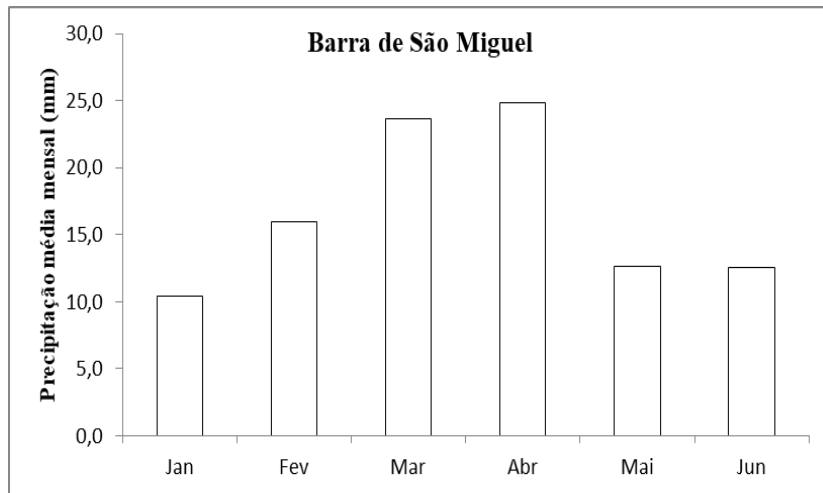


Figura 9. I: Contribuição média mensal do período chuvoso das cidades: Barra de São Miguel, Boa Vista, Boqueirão e Caraúbas

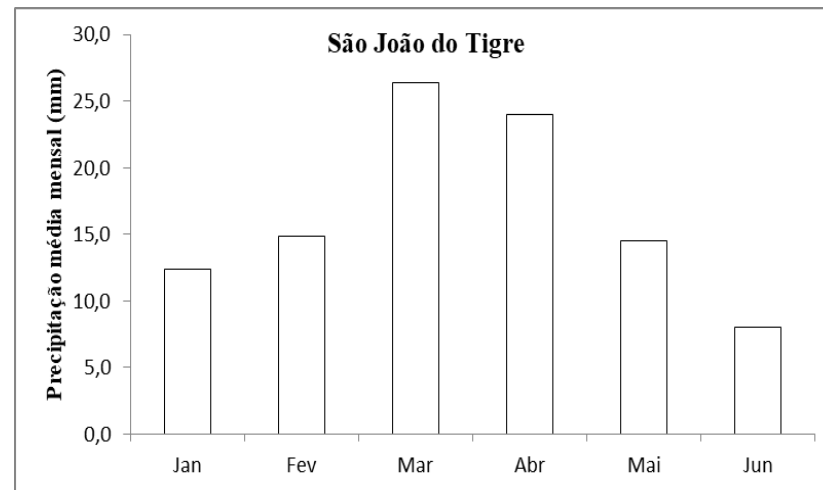
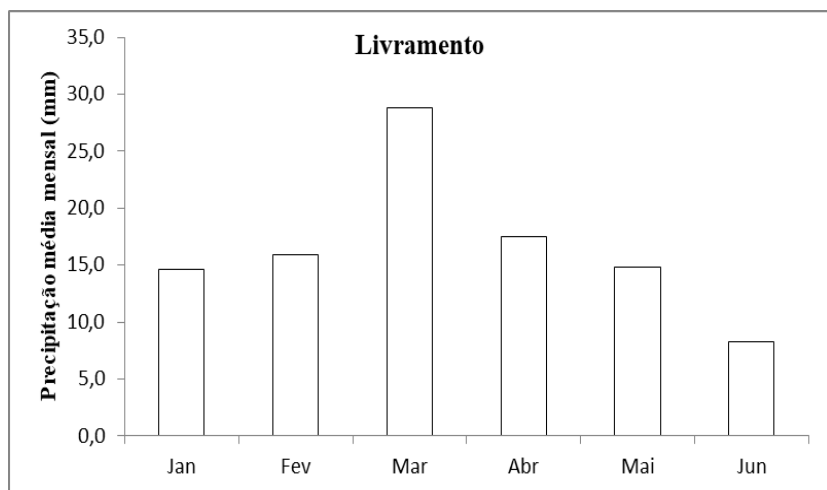
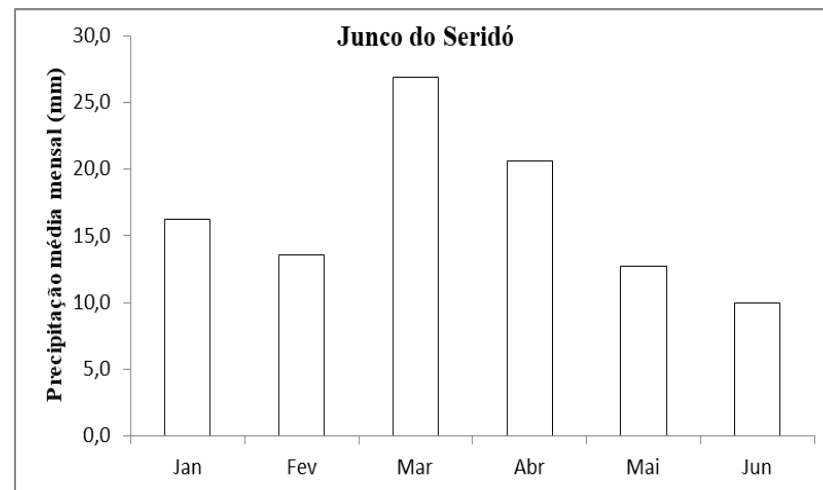
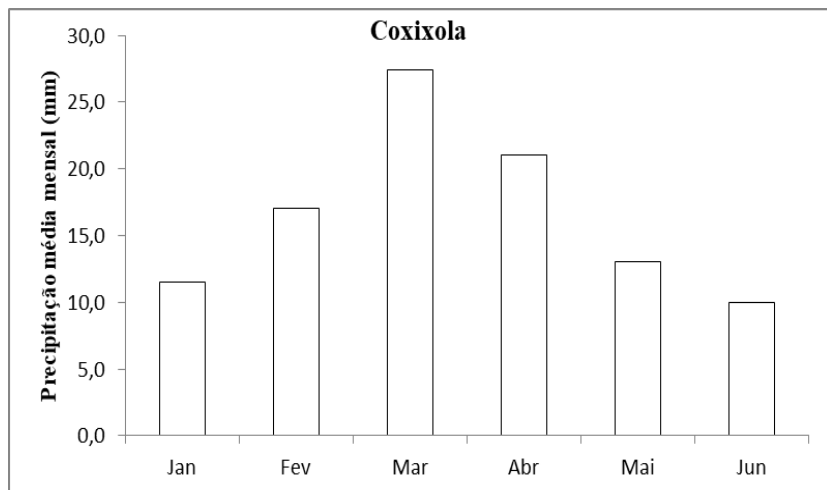


Figura 10. I: Contribuição média mensal do período chuvoso das cidades: Coxixola, Junco do Seridó, Livramento e São João do Tigre

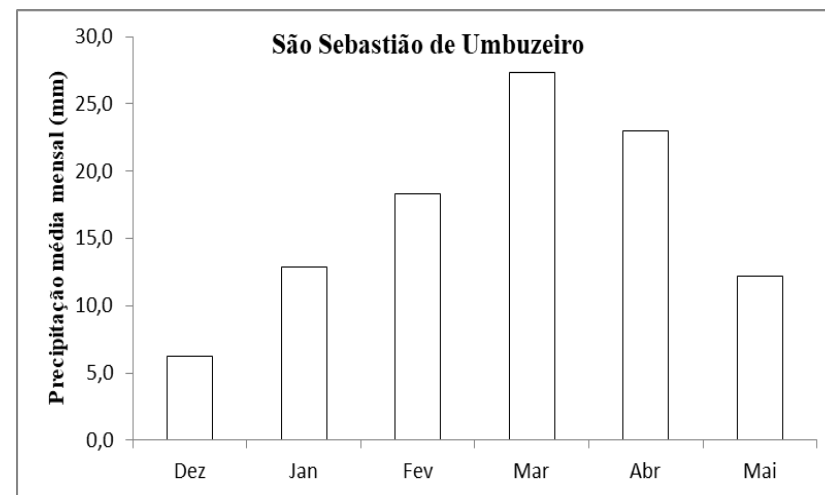
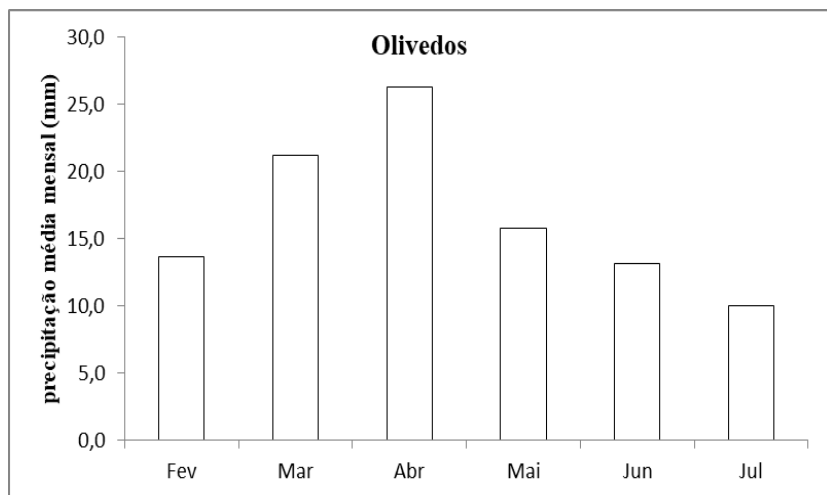
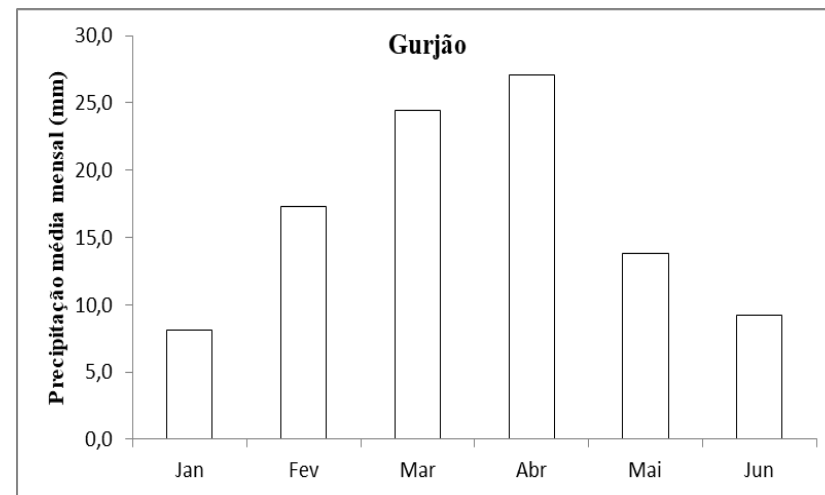
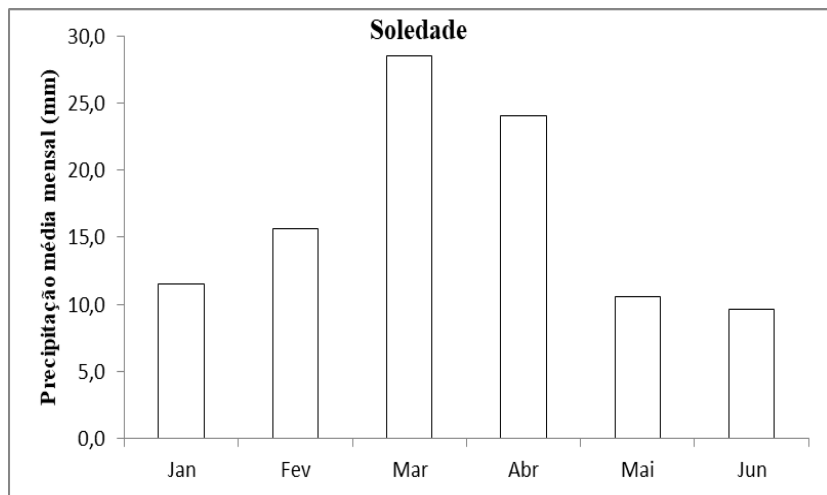


Figura 11.I: Contribuição média mensal do período chuvoso das cidades: Soledade, Gurjão, Olivedos e São Sebastião de Umbuzeiro

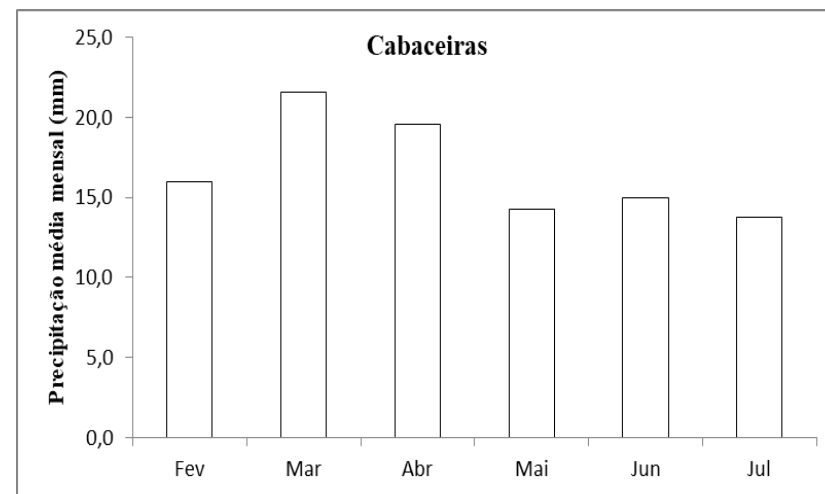
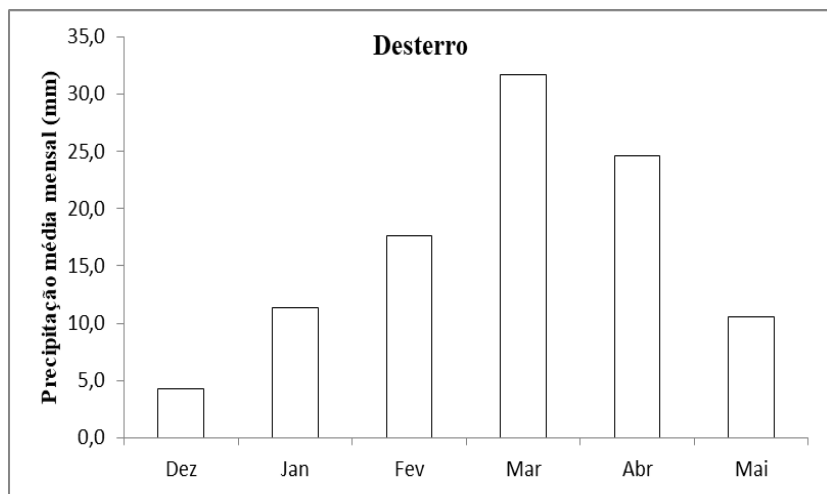
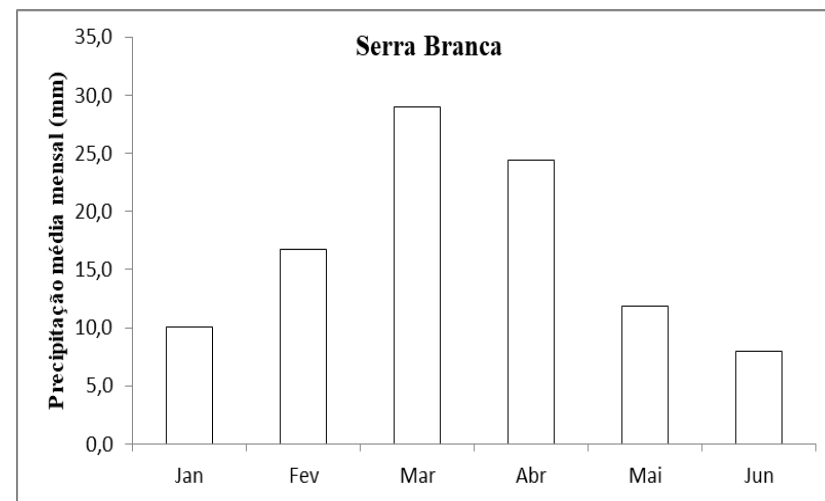
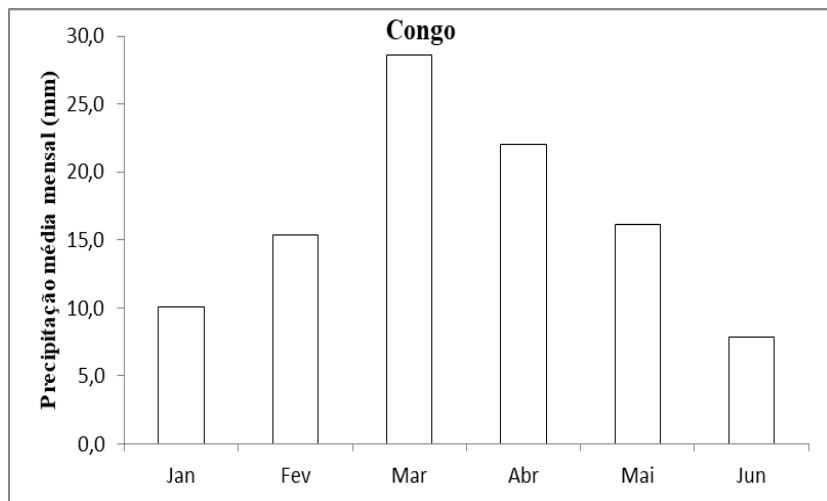


Figura 12 I: Contribuição média mensal do período chuvoso das cidades: Congo, Serra Branca, Desterro e Cabaceiras

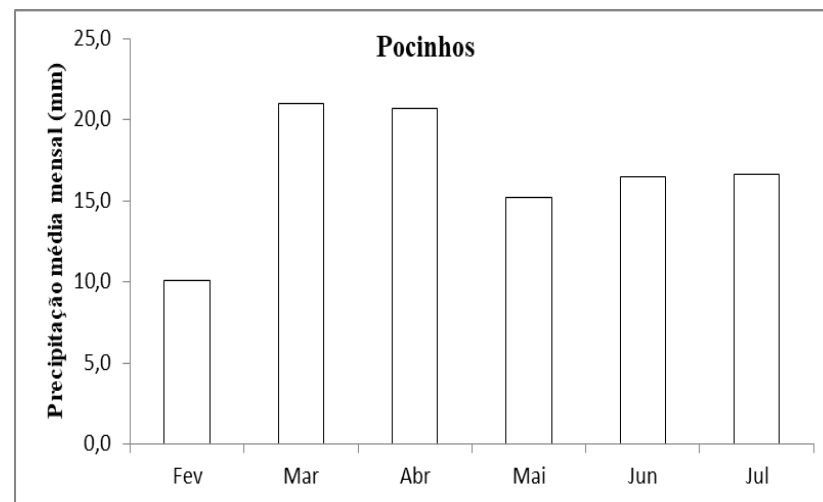
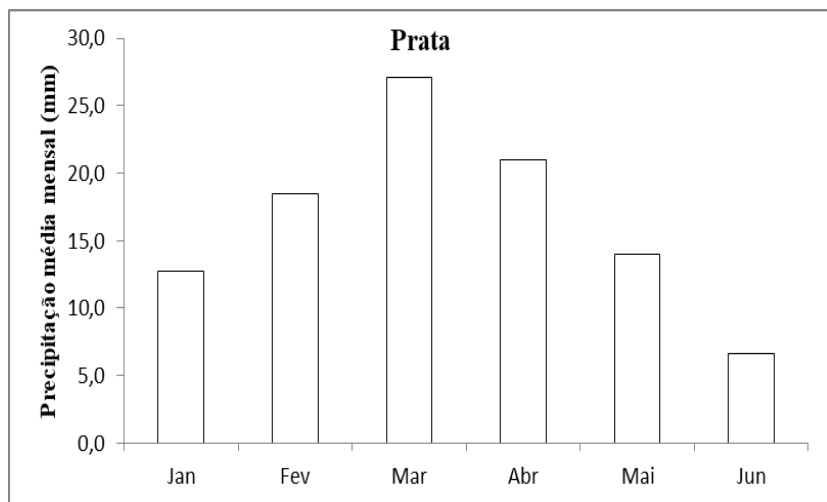
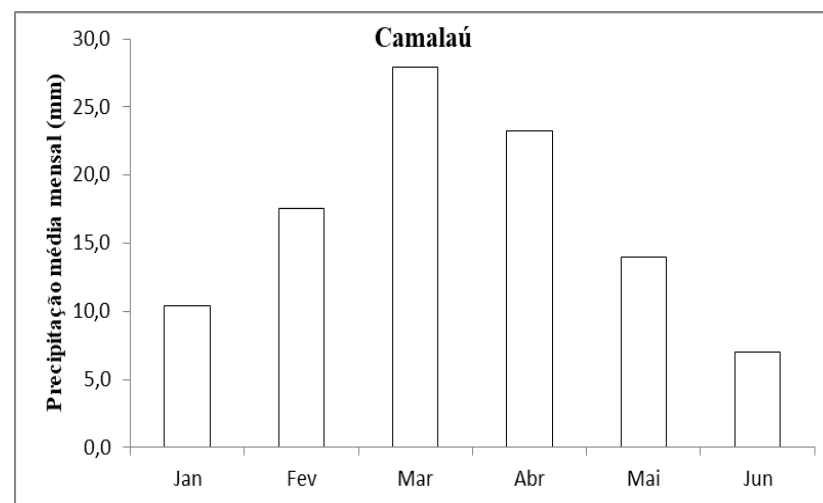
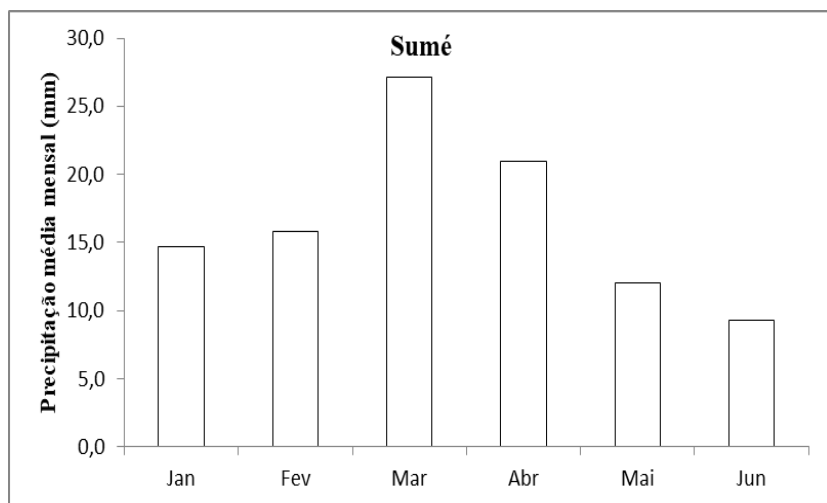


Figura 13. I: Contribuição média mensal do período chuvoso das cidades: Sumé, Camalaú, Prata e Pocinhos

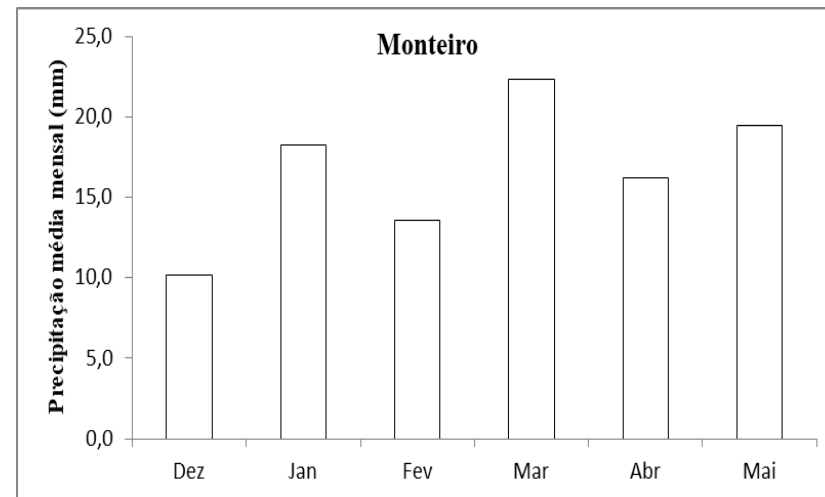
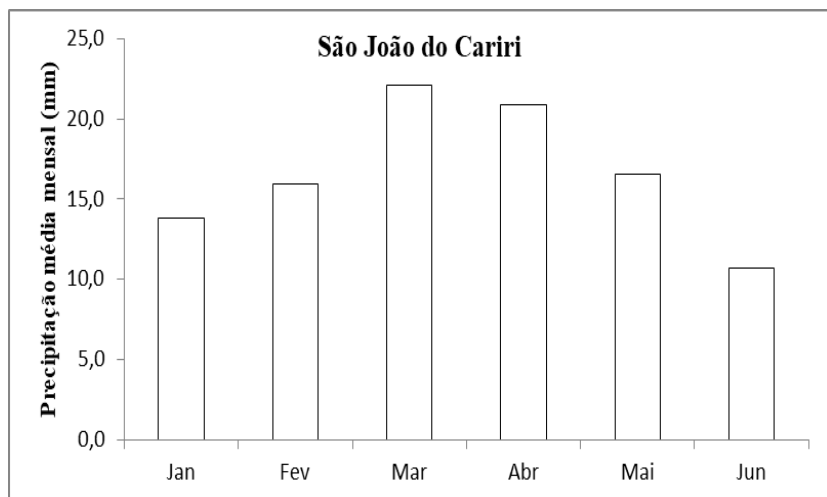
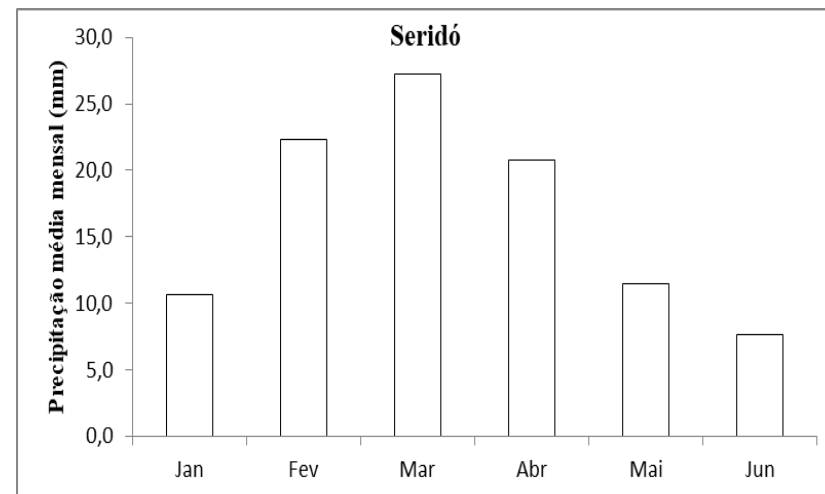
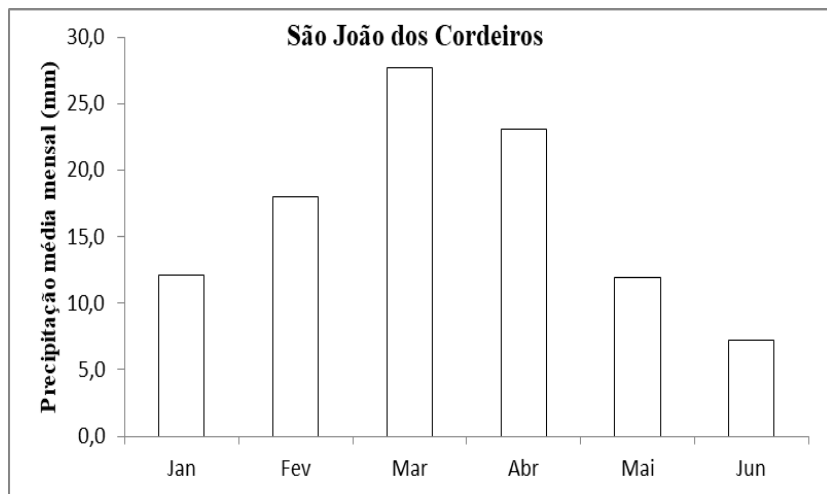


Figura 14. I: Contribuição média mensal do período chuvoso das cidades: São João dos Cordeiros, São João do Cariri e Monteiro

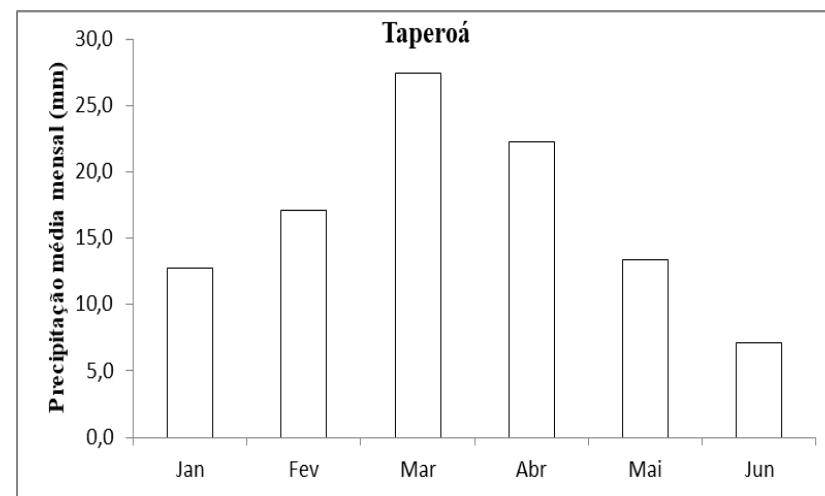
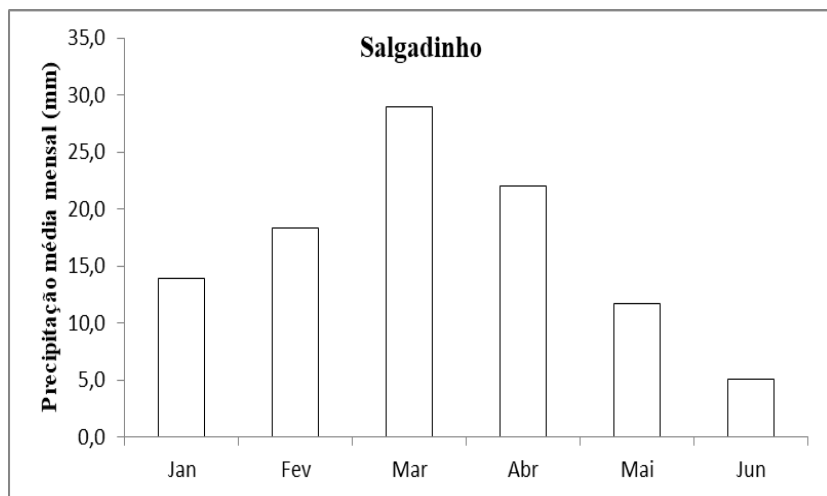
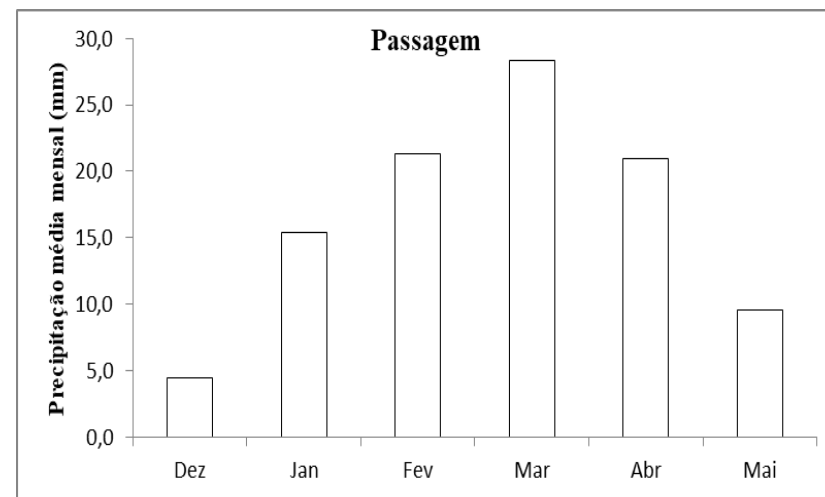
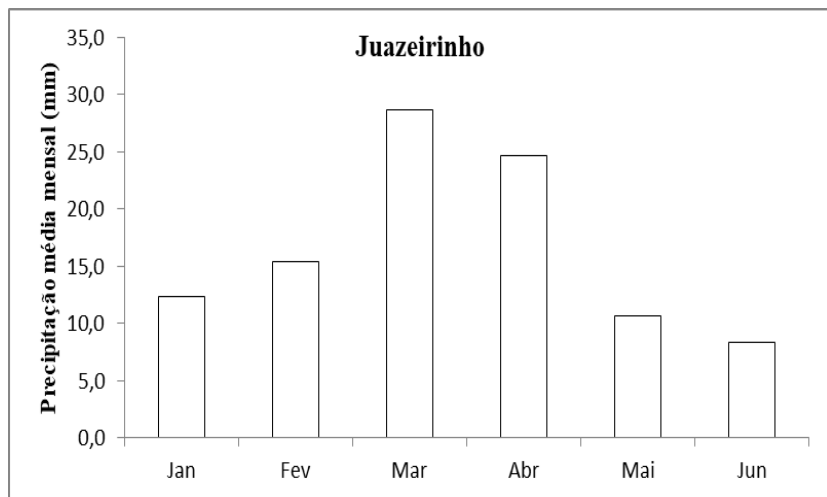


Figura 15. I: Contribuição média mensal do período chuvoso das cidades: Juazeirinho, Passagem, Salgado e Taperoá

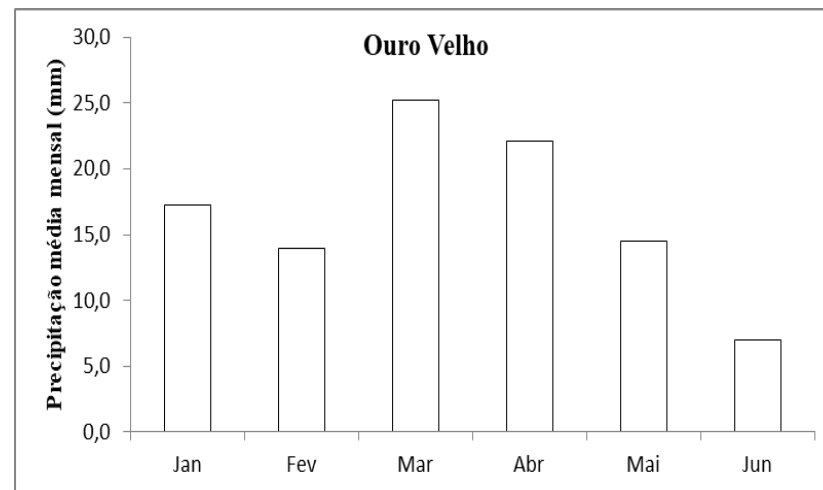
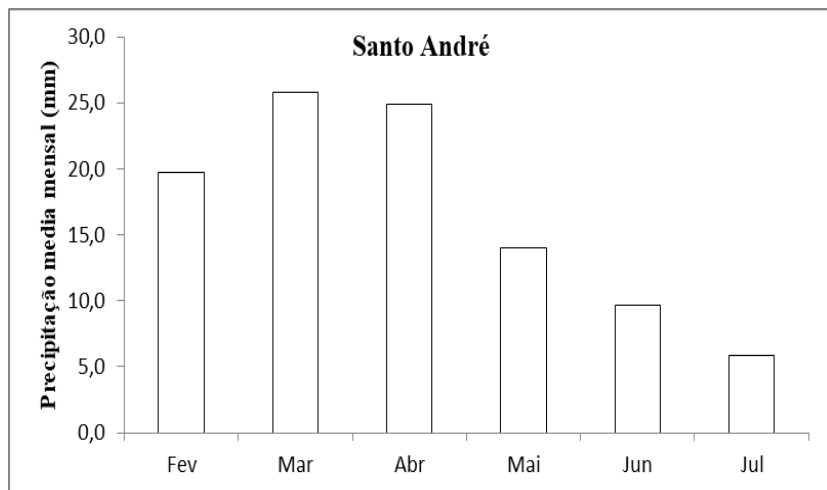


Figura 16. I: Contribuição média mensal do período chuvoso das cidades: Santo André e Ouro Velho

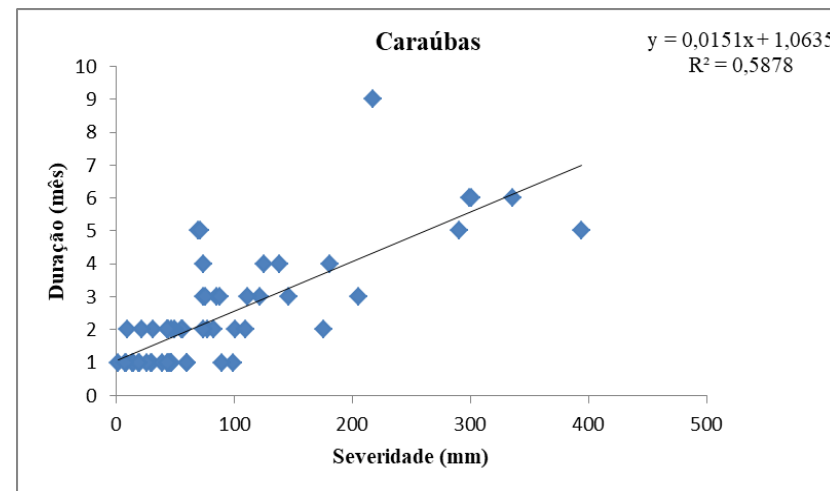
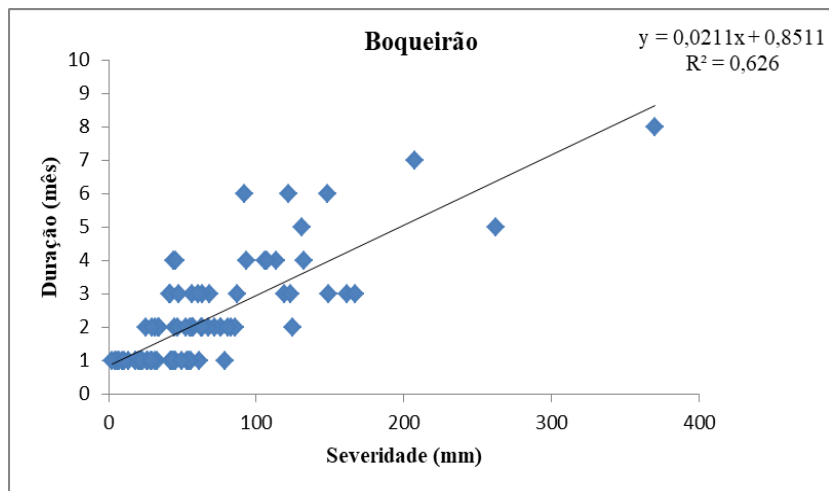
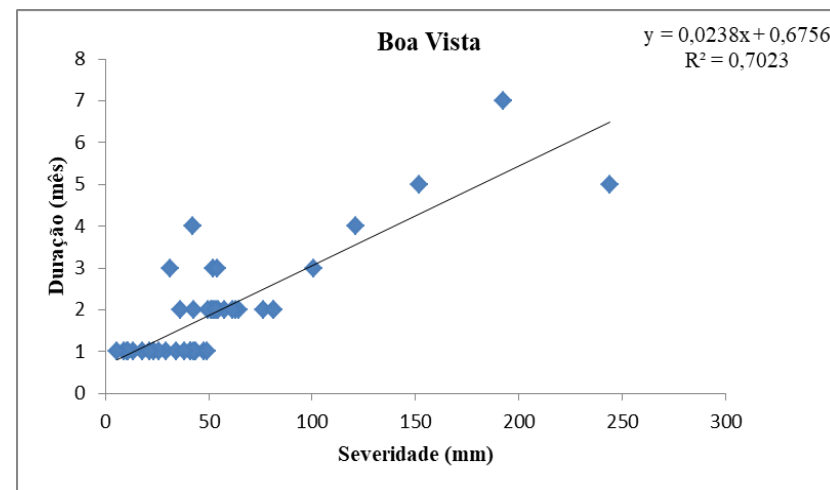
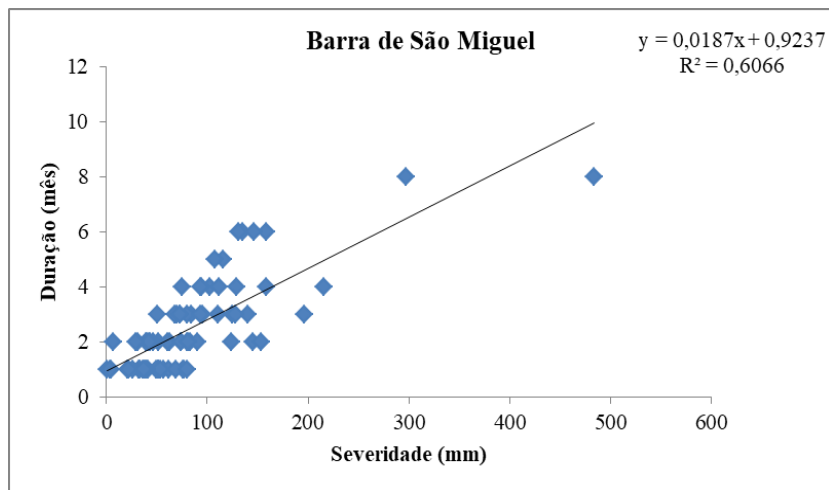


Figura 17. I: Gráficos de dispersão das cidades: Barra de São Miguel, Boa Vista, Boqueirão e Caraúbas

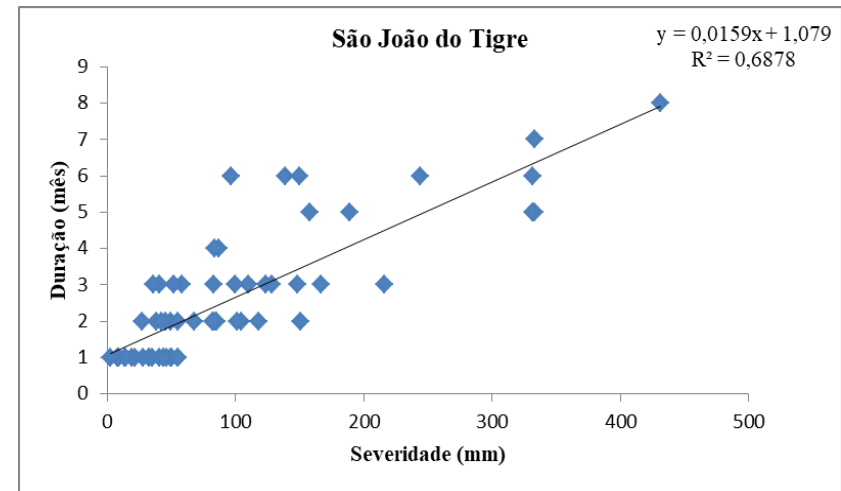
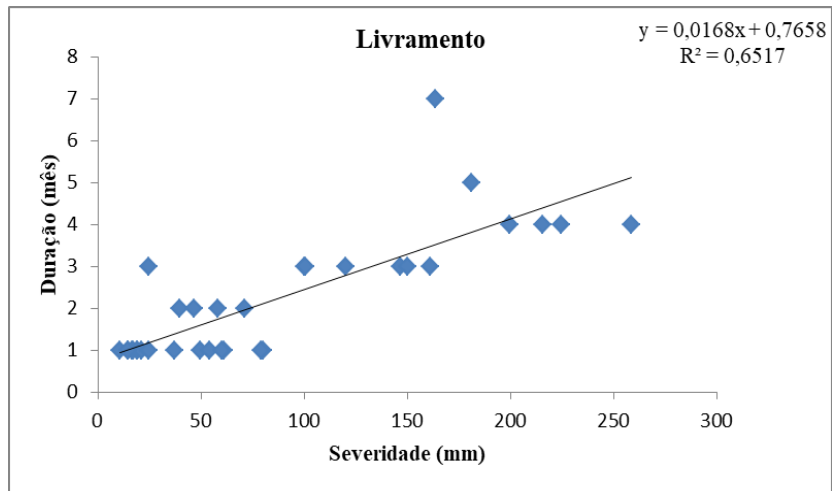
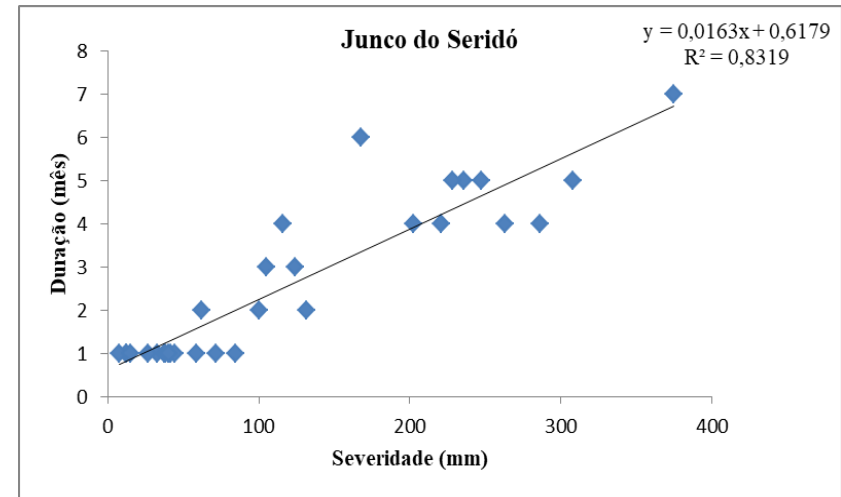
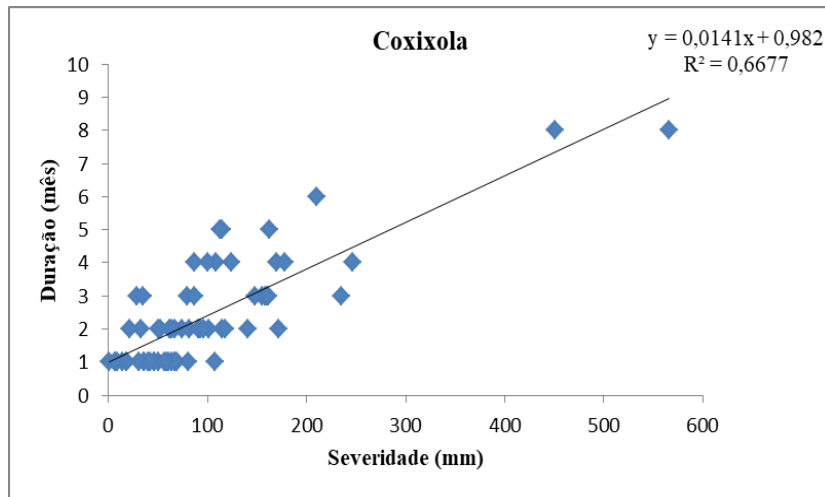


Figura 18. I: Gráficos de dispersão das cidades: Coxixola, Junco do Seridó, Livramento e São João do Tigre

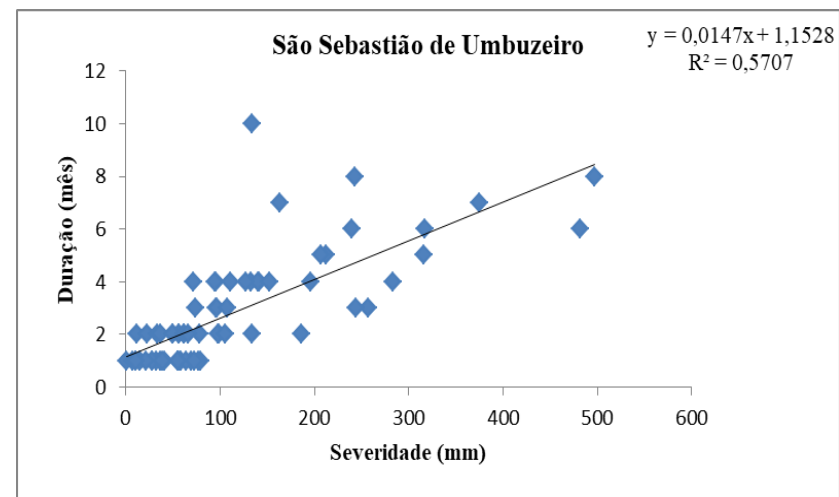
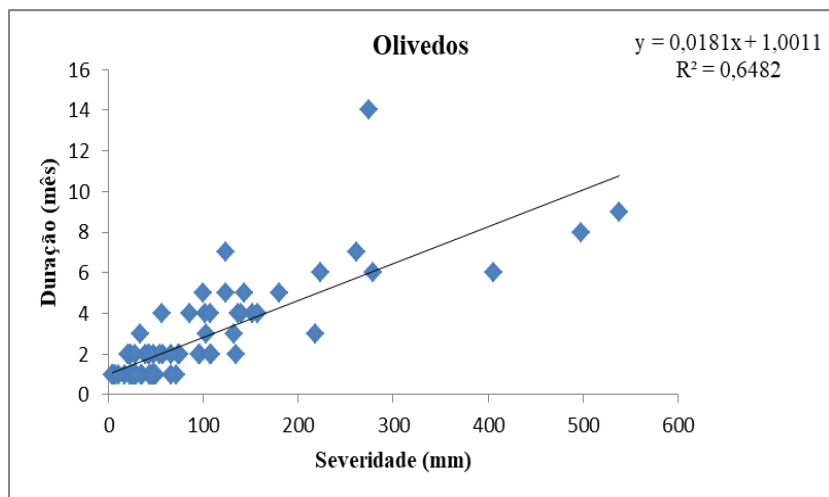
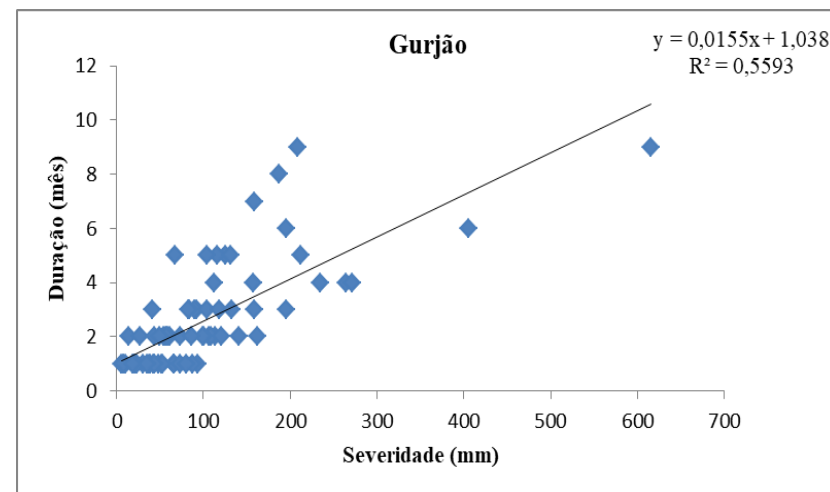
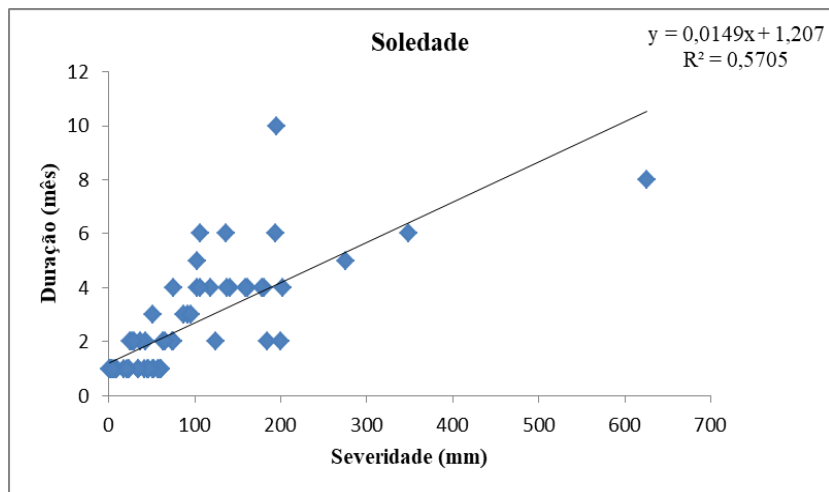


Figura 19. I: Gráficos de dispersão das cidades: Soledade, Gurjão, Olivedos e São Sebastião de Umbuzeiro

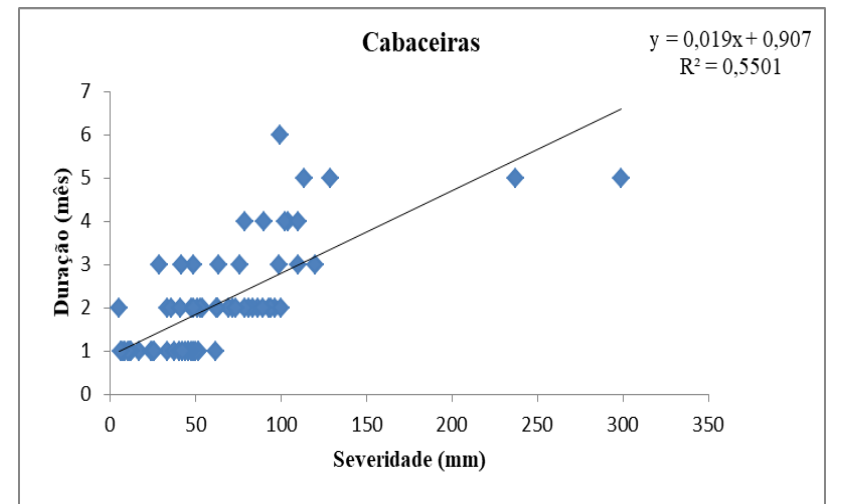
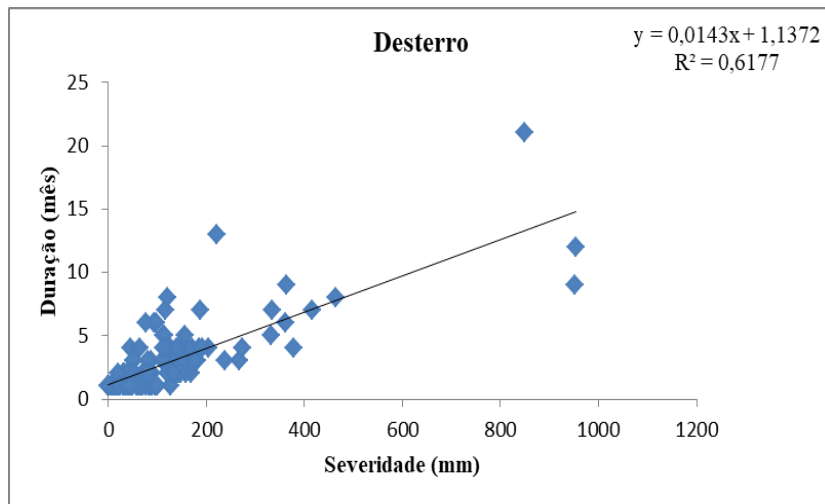
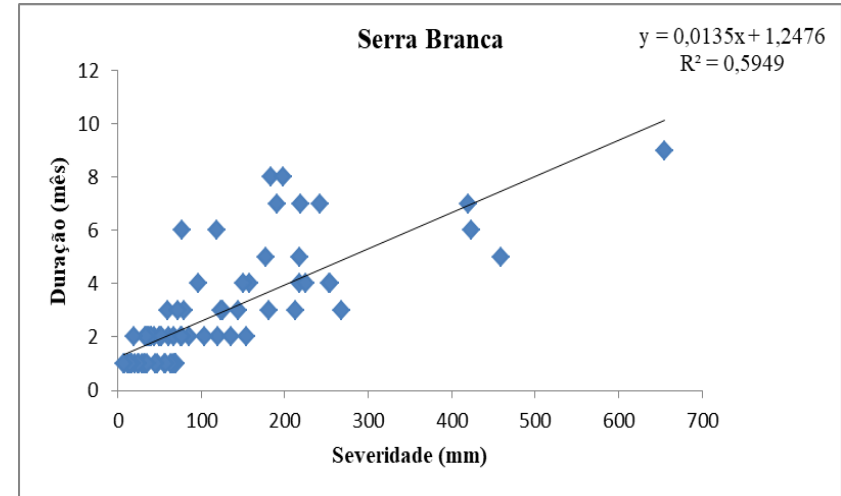
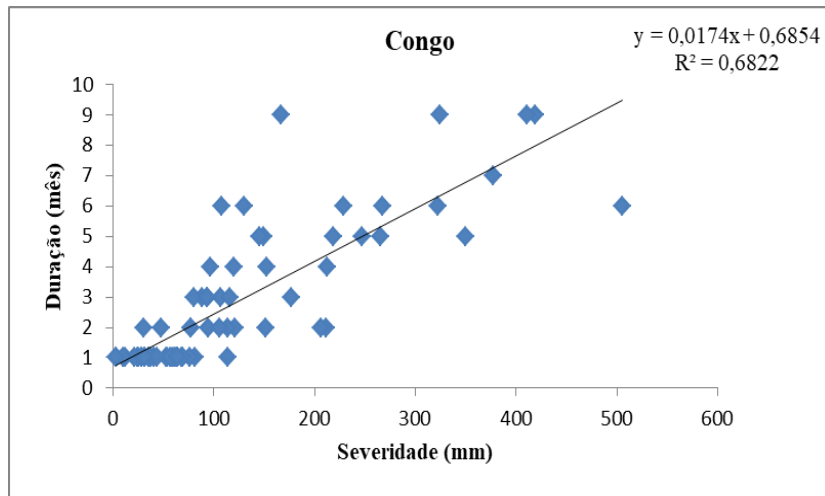


Figura 20. I: Gráficos de dispersão das cidades: Congo, Serra Branca, Desterro e Cabaceiras

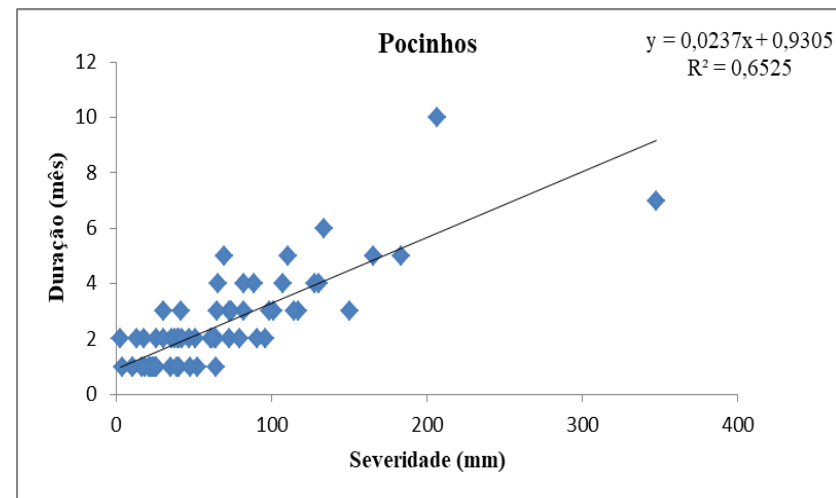
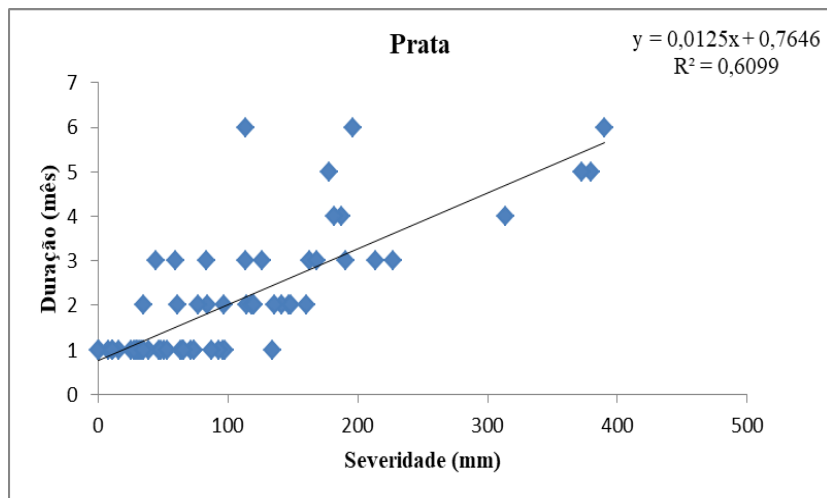
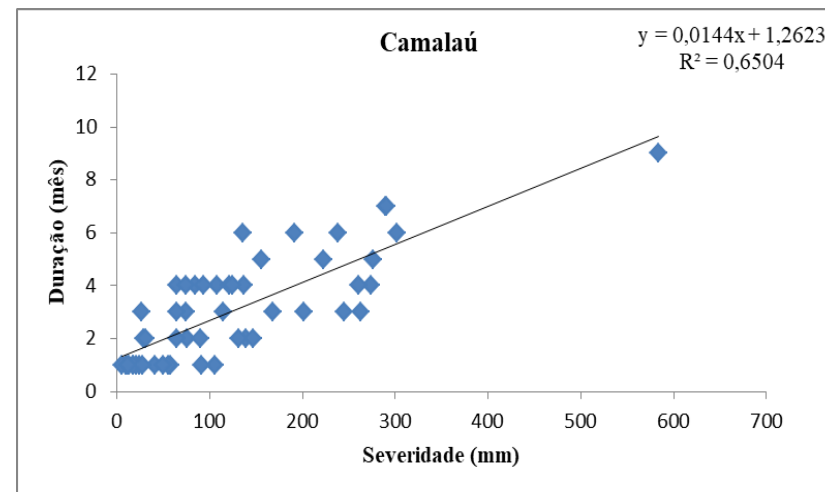
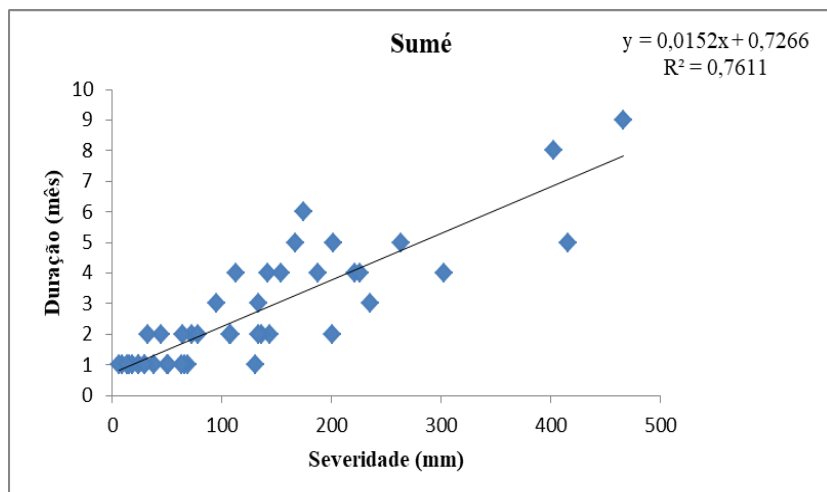


Figura 21. I: Gráficos de dispersão das cidades: Sumé, Camalaú, Prata e Pocinhos

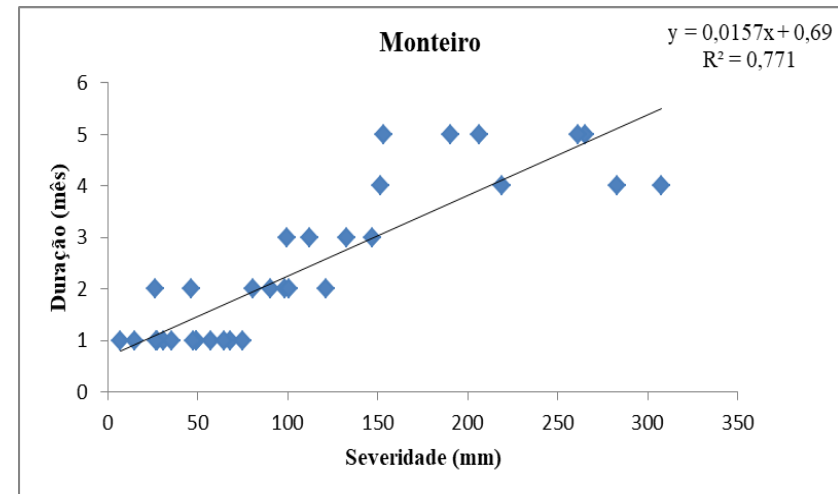
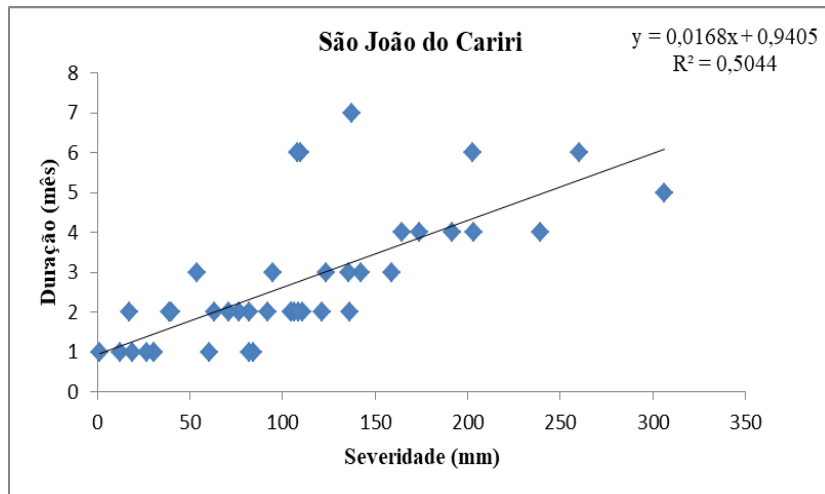
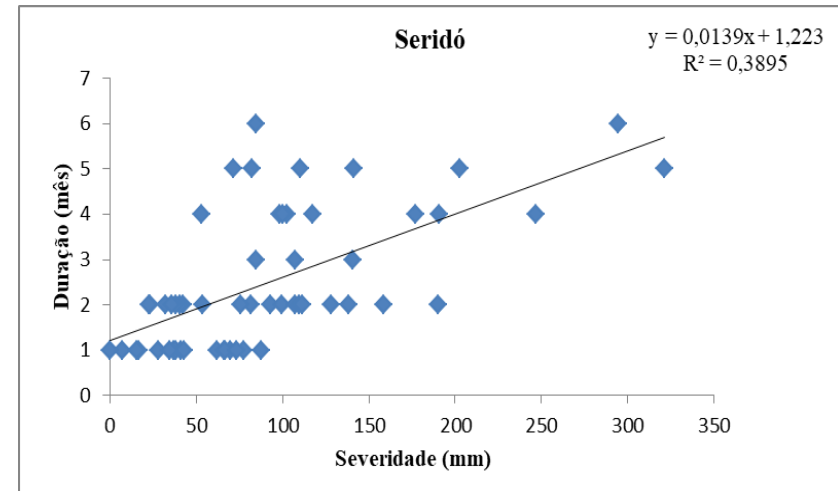
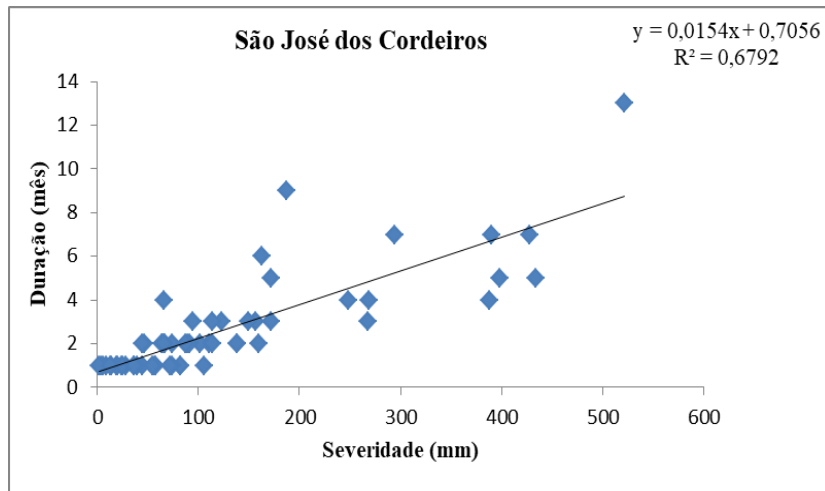


Figura 22. I: Gráficos de dispersão das cidades: São José dos Cordeiros, Seridó, São João do Cariri e Monteiro

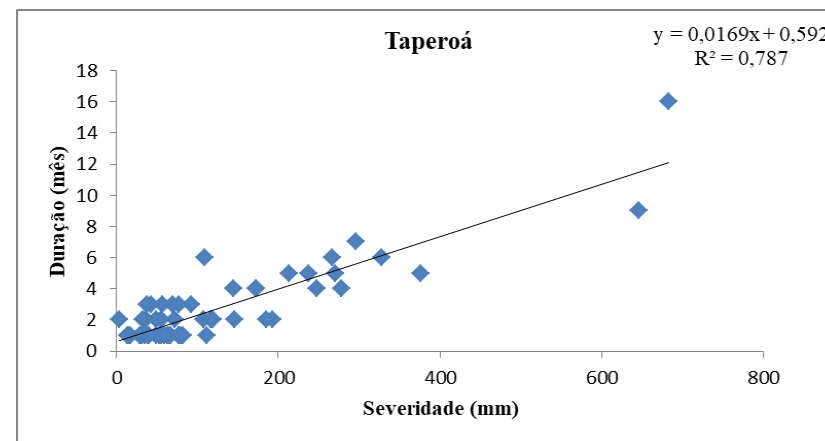
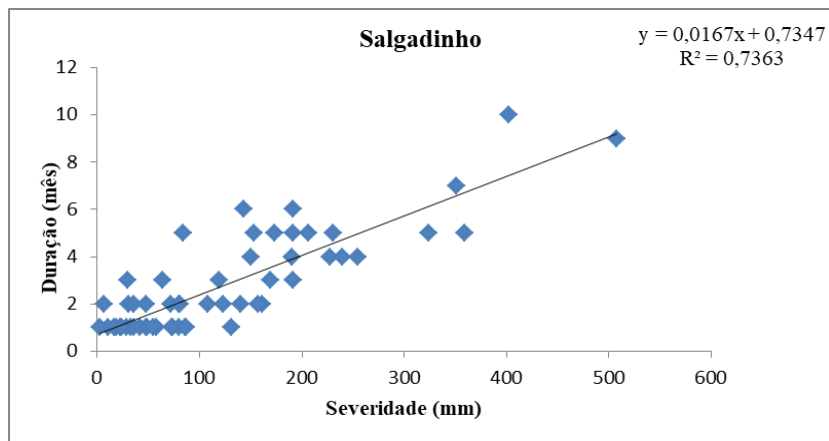
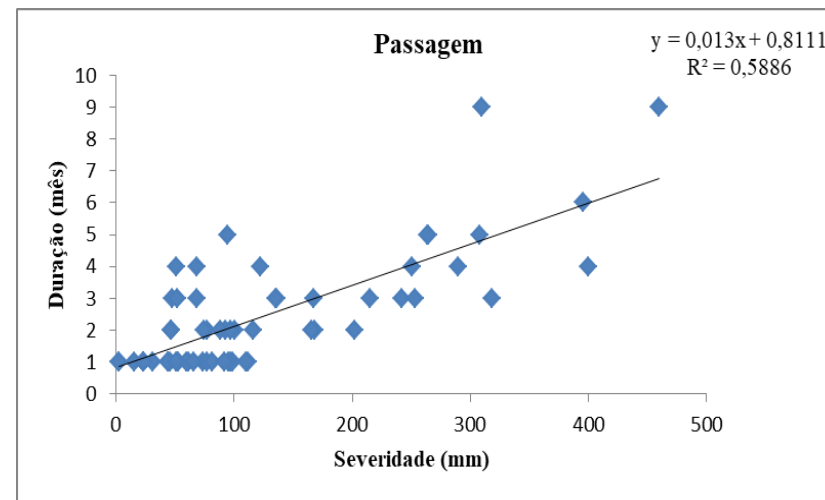
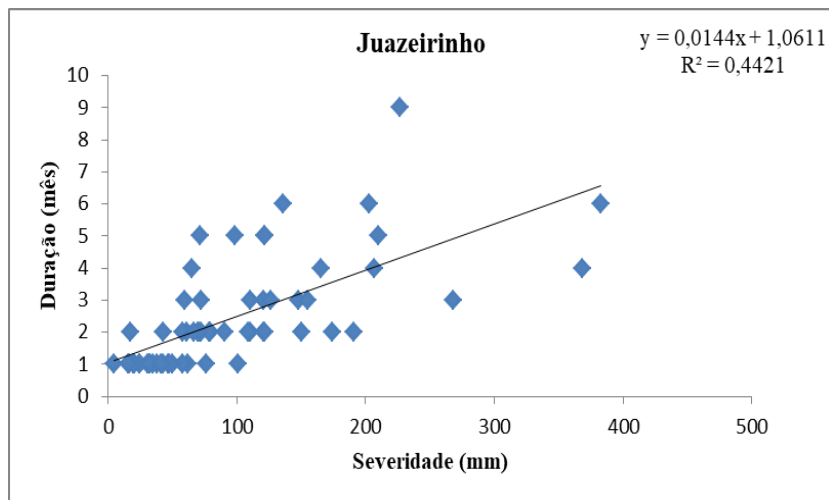


Figura 23. I: Gráficos de dispersão das cidades: Juazeirinho, Passagem, Salgadinho e Taperoá

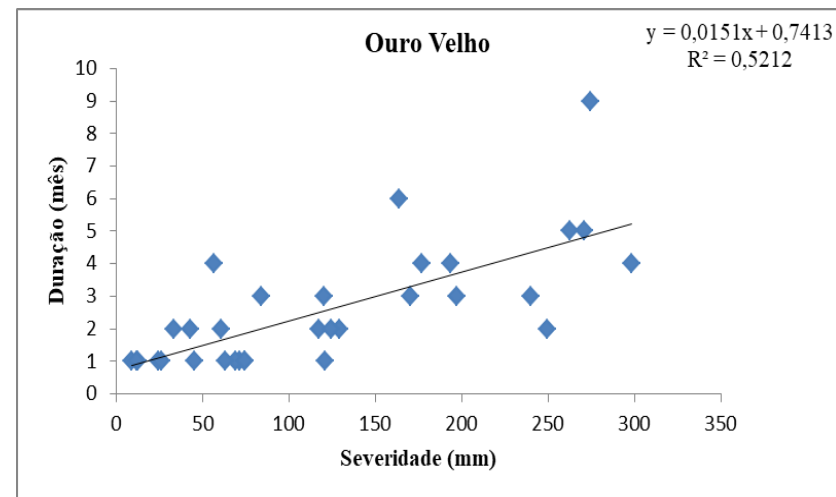
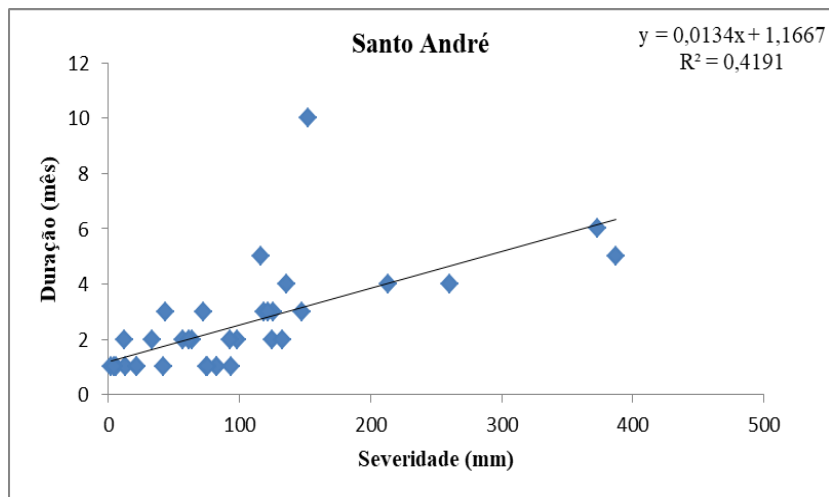


Figura 24. I: Gráficos de dispersão das cidades: Santo André e Ouro Velho