

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

**ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIAS DAS SECAS
METEOROLÓGICAS NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL**

Maceió - Alagoas

2017

CARLOS ALEJANDRO UZCÁTEGUI BRICEÑO

**ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIAS DAS SECAS
METEOROLÓGICAS NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas como requisito para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Humberto Alves Barbosa

Maceió - Alagoas

2017

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

B99a Uzcátegui Briceño, Carlos Alejandro.

Análise da frequência de ocorrências das secas meteorológicas na região semiárida do Brasil / Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño. – 2017.
45 f. : il.

Orientador: Humberto Alves Barbosa.

Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas.
Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2017.

Bibliografia: f. 43-45.

1. Precipitação (Meteorologia). 2. Semiárido – Brasil. 3. Seca. 4. L-Momentos.
I. Título.

CDU: 551.555



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

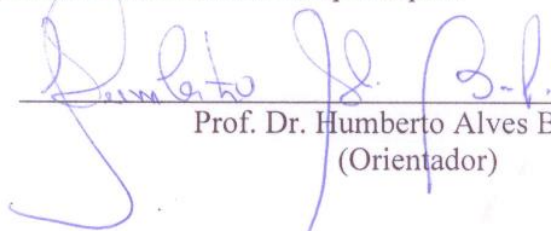
N.º de ordem: MET-UFAL-MS-141.

***“ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIAS DAS SECAS
METEOROLÓGICAS NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL.”***

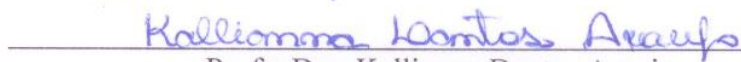
Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

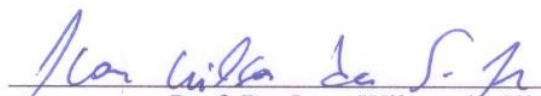
Aprovado pela Banca Examinadora composta por:



Prof. Dr. Humberto Alves Barbosa
(Orientador)



Prof.ª. Dra. Kallianna Dantas Araujo
(Membro Interno)



Prof. Dr. Ivon Wilson da Silva Júnior
(Membro externo/UFCCG)

Fevereiro/2017

Este trabalho faz parte de minha vida e do início de novas etapas, por isso e mais, dedico-o a Deus, meus pais Carlos Uzcátegui e Belkis Briceño e, a toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia; amigo fiel em quem posso confiar hoje, amanhã e sempre.

A meus pais e irmãos, por me dar a estabilidade emocional e afetiva para alcançar esta conquista, o que definitivamente, não haveria se tornado realidade sem vocês. Obrigado por me dar a possibilidade de que saia da minha boca a palavra FAMÍLIA.

A meu avô, tios e primos por me apoiar em cada passo que dou e ficarem atentos a mim. Não importando a distância, sempre fizeram parte das minhas motivações para atingir este objetivo.

A Marcos Grutzmacher pelo amor, apoio e cuidado incondicionais.

Ao Professor Dr. Franklin Paredes por sua amizade, assessoria e acertadas correções.

Ao Professor Dr. Humberto Barbosa Alves pela paciência e orientação no dia-a-dia.

À Professora Dra. Kallianna Dantas Araujo e ao Dr. Ivon Wilson da Silva Júnior por aceitar ser parte da Banca Examinadora, colaborando de forma valorosa na conclusão deste trabalho.

Ao Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas pela oportunidade de estudos e ao Laboratório LAPIS pela utilização de suas instalações.

Meu agradecimento a meus amigos e colegas do curso de Meteorologia, em especial aos colegas do LAPIS pelo convívio fraterno durante estes dois anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

A cada uma das pessoas que de alguma maneira fizeram parte desta conquista e que não pude mencionar seus nomes, porque não me alcançariam as páginas.

RESUMO

O Semiárido Brasileiro (SAB), é uma área muito extensa, abrangendo os Estados Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, incluindo também o Norte do Estado de Minas Gerais; que normalmente passam déficits hídricos, além de ser a região mais afetada pelas frequentes secas no Brasil. Dada a problemática, nesta pesquisa se realizou uma análise regional de frequência das secas meteorológicas no SAB (Unidade de Estudo, UE), contando com as seguintes fases: 1. identificação das regiões homogêneas segundo a distribuição de frequência da precipitação anual na UE; 2. determinação da curva de crescimento regional nas regiões homogêneas segundo a distribuição de frequência da precipitação anual na UE; 3. avaliação da distribuição espacial do período de retorno de três eventos anuais secos na UE. Entre os resultados mais relevantes destacam: que a UE apresenta cinco regiões homogêneas quanto à distribuição da precipitação média anual; a função de distribuição de probabilidade que melhor ajusta aos registros de precipitação anual na UE é a generalizada normal, seguida pela Pearson tipo III e generalizada de valor extremo; a maior parte do SAB, tem um alto risco de ocorrência de anos secos. Recomenda-se reavaliar e ampliar este estudo na medida em que se disponha de maior informação pluviométrica.

Palavras chaves: L-momentos (ARF-LM), Função de probabilidade, Secas meteorológicas.

ABSTRACT

The Brazilian Semi-Arid (SAB), or Sertão, is a very extensive area, which covers the States Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, including also the Northern Minas Gerais State; SAB normally suffer from water deficits, besides being the region most affected by frequent droughts in Brazil. Given this problem, a regional precipitation frequency analysis (RPFA) in the SAB (Study Unit, EU) was carried out according to the following phases: 1. identification of homogeneous regions according to the frequency distribution of the annual precipitation in the EU; 2. determination of the regional growth curve in each homogeneous region based on its frequency distribution; 3. assessment of the return period spatial distribution for three dry annual events in the EU. Among the most relevant results stand out: the EU presents five homogeneous regions regarding the annual mean precipitation distribution; the probability distribution generalized normal, followed by the Pearson type III and the generalized extreme value, in this order, adjusted to annual rainfall records enough well; most of the Brazilian Semi-Arid, has a high risk of recurrent dry years. It is recommended to re-evaluate and extend this study as more rainfall information is available.

Keywords: L-moments (RFA-LM), Probability function, Meteorological droughts.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Abrangência do Semiárido Brasileiro.....	16
Figura 2 - Unidade de Estudo (UE): Distribuição das estações meteorológicas.....	29
Figura 3 - Distribuição espacial da precipitação média anual na Unidade de Estudo.....	35
Figura 4 - Distribuição espacial das Regiões Homogêneas na Unidade de Estudo.....	40
Figura 5 - Distribuição espacial do período de retorno de anos cuja precipitação anual corresponde a 40% da precipitação média anual da Unidade de Estudo.....	46
Figura 6 - Distribuição espacial do período de retorno de anos cuja precipitação anual corresponde a 60% da precipitação média anual da Unidade de Estudo.....	47
Figura 7 - Distribuição espacial do período de retorno de anos cuja precipitação anual corresponde a 80% da precipitação média anual da Unidade de Estudo.....	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Diagrama de L-Momento ratios que mostra as principais funções de distribuição de probabilidade teóricas.....	27
Gráfico 2 - Variação do trimestre mais úmido na Unidade de Estudo.....	36
Gráfico 3 - Curva de crescimento regional da região homogênea N° 1.....	42
Gráfico 4 - Curva de crescimento regional da região homogênea N° 2.....	43
Gráfico 5 - Curva de crescimento regional da região homogênea N° 3.....	43
Gráfico 6 - Curva de crescimento regional da região homogênea N° 4.....	44
Gráfico 7 - Curva de crescimento regional da região homogênea N° 5.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Valores críticos (D_c) para o estatístico de Discordância (D_i).....	26
Tabela 2 -	Campos de informação do arquivo Base de Dados Estações (BDE).....	30
Tabela 3 -	Campos de informação do arquivo Base de Dados Registros (BDR).....	31
Tabela 4 -	Lista de estações pluviométricas inclusas nos arquivos BDE e BDR.....	31
Tabela 5 -	Resultados da análise de estacionaridade e autocorrelação serial nas estações avaliadas na Unidade de Estudo.....	37
Tabela 6 -	Estações contidas nas regiões homogêneas identificadas na Unidade de Estudo.....	38
Tabela 7 -	Estatística das regiões homogêneas na Unidade de Estudo.....	41
Tabela 8 -	Valores estatísticos absolutos de ZDIST nas regiões homogêneas da Unidade de Estudo.....	41
Tabela 9 -	Parâmetros da FDP Pearson Tipo III (PE3) para cada região homogênea da Unidade de Estudo.....	41
Tabela 10 -	Parâmetros do modelo exponencial que relaciona os L-Momentos ratios e a precipitação média anual na unidade de estudo.....	45

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Geral.....	13
1.1.2	Específicos.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Semiárido Brasileiro	15
2.2	Seca Meteorológica	17
2.3	Análises Probabilísticas de Eventos Extremos Hidroclimáticos	18
2.4	Estimativa De Parâmetros das Funções de Distribuição de Probabilidades com L-Momentos	19
2.4.1	Função de Distribuição de Probabilidade Pearson Tipo III.....	22
2.4.2	Função de Distribuição de Probabilidade Logística Generalizada.....	22
2.4.3	Função de Distribuição de Probabilidade De Valores Extremos Generalizada.....	22
2.4.4	Função de Distribuição de Probabilidade Normal Generalizada.....	23
2.4.5	Função de Distribuição de Probabilidade Pareto Generalizada	23
2.5	Análise Regional de Frequências Baseada no Método L-Momentos	23
3	MATERIAL E MÉTODO	29
3.1	Unidade de Estudo	29
3.2	Fases da Pesquisa	30
3.2.1	Fase I. Análise Preliminar das Séries Disponíveis.....	30
3.2.2	Fase II. Identificação de Regiões Homogêneas.....	32
3.2.3	Fase III. Seleção da Função de Distribuição de Probabilidades com o Melhor Ajuste.....	33
3.2.4	Fase IV. Estimativa de Quantis e Geração de Curva de Crescimento Regional.....	33
3.2.5	Fase V. Geração de Mapas Temáticos do Período de Retorno de Diversos Eventos Anuais Secos do Semiárido Brasileiro.....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	Regiões Homogêneas Referentes à Distribuição de Frequência da Precipitação Anual no Semiárido Brasileiro	35

4.1.1	Análise Estatística Geral das Séries Pluviométricas Originais.....	35
4.1.2	Identificação de Regiões Homogêneas.....	36
4.1.3	Seleção da Função de Distribuição de Probabilidades com Melhor Ajuste nas Regiões Homogêneas.....	41
4.2	Curvas de Crescimento Regional nas Regiões Homogêneas Identificadas no Semiárido Brasileiro.....	42
4.3	Descrição da Variabilidade Espacial do Período de Retorno de Três Eventos Anuais Secos do Semiárido Brasileiro.....	45
5	CONCLUSÕES.....	49
	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

A análise regional de frequência centra a sua atenção na estimativa de eventos climáticos extremos, como anomalias positivas de precipitação ou anomalias negativas associadas a diferentes períodos de retorno fazendo uso de funções de distribuição de probabilidade (ÁLVAREZ et al., 1999). Neste sentido, Hosking e Wallis (1993), propuseram a Análise Regional de Frequência baseada no procedimento de L-Momentos (ARF-LM), que é uma técnica de grande robustez estatística e pouco afetada pela presença de dados anômalos.

A metodologia ARF-LM foi aplicada na elaboração do Atlas de secas dos Estados Unidos (GUTTMAN, 1993; GUTTMAN et al., 1993), na análise de secas meteorológicas no Noroeste do México (HALLACK-ALEGRIA e WATKINS, 2007), Turquia (YUREKLI e ANLI, 2008), dentre outros lugares. Também existem aportes na análise de secas hidrológicas no sudeste da Alemanha e Nova Zelândia (DEMUTH e KÜLLS, 1997). A ARF-LM foi contrastada com alternativas para regionalizar secas em várias cidades da Europa (TALLAKSEN e HISDAL, 1997; 1999) e usado em análises de eventos de secas condicionados pelo fenômeno El Niño - Oscilação Sul no Noroeste da Baixa Califórnia, México (HALLACK-ALEGRIA et al., 2012).

A ARF-LM tem sido escassamente usada na América do Sul. A contribuição mais significativa corresponde a Núñez et al. (2011) quem incorporaram o uso de um Sistema de Informacional Geográfica (SIG) para mapear diversos eventos de secas, derivados da aplicação da ARF-LM em uma região árida do nor-centro do Chile. Também, Paredes et al. (2014) aplicaram a ARF-LM para realizar o mapeamento do período de retorno de eventos anuais de secas meteorológicas na principal região cerealífera da Venezuela. É importante destacar que o Programa Hidrológico Internacional (PHI) do Escritório Regional de Ciência para América Latina e Caribe da Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO, 2010) publicou um guia metodológico para aplicação da ARF-LM onde distribuem alguns resultados da aplicação na América Latina.

No Brasil, não existem publicações recentes que indiquem o uso da técnica da ARF-LM em análises de secas meteorológicas. Assim, a presente pesquisa é pioneira no Brasil e no Semiárido Brasileiro (SAB).

Os impactos das secas ocorrem em diferentes setores e requerem medidas no âmbito de diferentes políticas setoriais (abastecimento de água, saneamento, agricultura, indústria, pesca, energia, transporte, dentre outros). Os riscos associados à seca é produto da exposição do local (probabilidade de ocorrência) e da vulnerabilidade da localidade afetada. Planejamentos realizados corretamente e implementados durante os períodos sem seca, podem melhorar a

capacidade governamental para responder de uma forma antecipada e eficaz à escassez hídrica nos Estados que abrangem o SAB.

Neste contexto, o desenvolvimento desse estudo se justifica plenamente pois a informação resultante da ARF-LM permitirá a execução de estratégias de preparação para a seca. Isto constitui um passo significativo na adoção de uma abordagem proativa do processo de gestão. Pode reduzir e, em alguns casos, evitar impactos vinculados ao setor hidrológico, hidroelétrico, agrícola e pecuário.

Magalhães (2016) define a seca como uma ocorrência sustentada e de extensão regional, em que a disponibilidade de água natural fica abaixo da média devido à variabilidade climática, resultando em taxas de precipitação baixas e/ou taxas de evaporação altas. Quando a ausência de chuvas se mantém durante um longo período de tempo sobre uma extensa região geográfica, afeta negativamente a oferta hídrica e compromete o abastecimento humano, afetando a produção agrícola (WILHITE e BUCHANAN-SMITH, 2005; SETH, 2003).

As secas estão presentes em todas as regiões do Brasil. Contudo, é na região Semiárida que elas se manifestam com maior frequência e intensidade e tem impactos mais acentuados. No SAB foram registradas várias grandes secas ao decorrer da história, como por exemplo nos anos de 1900, 1915, 1919, 1932, 1958, 1979-83, 1987, 1990, 1992-93, 1997-98, 2002-03, 2010-2015, sendo a maior de todas, em 1877-79, dizimou metade da população e quase todo o rebanho bovino (ASA, 2015; CGEE, 2016; INSA, 2014; MEDEIROS et al., 2014).

Diante deste contexto, elaborou-se o seguinte problema: o que define o padrão da frequência de ocorrência das secas meteorológicas na região Semiárida do Brasil? Para responder este questionamento foi elaborada a hipótese: o padrão da frequência de ocorrência das secas meteorológicas na região Semiárida do Brasil está associado com o relevo e a orientação dessa região com as cadeias de montanhas, podendo ser identificado por meio da aplicação da análise regional de frequência baseada no procedimento de L-Momentos (ARF-LM).

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Realizar uma análise regional de frequência das secas meteorológicas no SAB, baseado em L-Momentos.

1.1.2 Específicos

- ✓ Diagnosticar os dados pluviométricos disponíveis no SAB;
- ✓ Identificar as regiões homogêneas segundo a distribuição de frequência da precipitação anual no SAB;
- ✓ Determinar a curva de crescimento regional nas regiões homogêneas mediante a distribuição de frequência da precipitação anual no SAB;
- ✓ Gerar mapas temáticos para o período de retorno dos eventos anuais secos no SAB.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Semiárido Brasileiro

A última delimitação do SAB foi aprovada pela Portaria nº 89, de 16 de março de 2005, do Ministério da Integração Nacional (MI, 2005). A região Semiárida de acordo com Medeiros et al. (2014), abrange oito Estados da região Nordeste: Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Piauí, Sergipe, Bahia e a região setentrional do Estado de Minas Gerais (Figura 1).

Com uma extensão total de 980.133,079 km², o SAB ocupa 18,2% do território nacional e representa 11,84% da população brasileira, abrangendo 1.135 municípios, onde vivem mais de 23,8 milhões de pessoas, segundo estimativa do IBGE (2014), ASA (2015) e MEDEIROS et al. (2014).

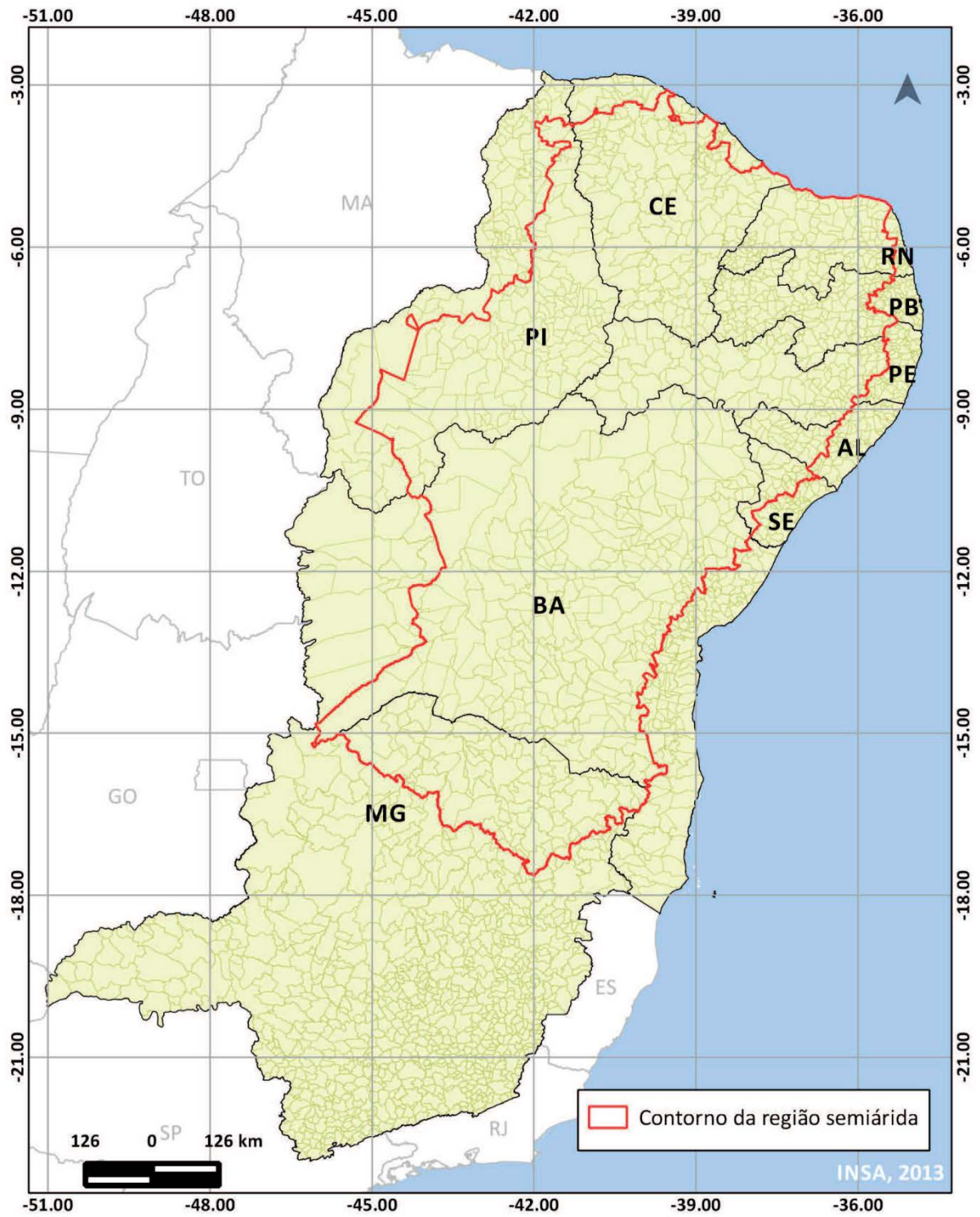
Dos dois biomas que ocorrem no SAB (Cerrado e Caatinga), a Caatinga predomina na região, o qual, de acordo com Barbosa (2010), é o único bioma essencialmente brasileiro, apresentando diversas espécies endêmicas. Contrastando com outras regiões Semiáridas do mundo, o SAB é o mais chuvoso do planeta, onde precipita em média, de 200 a 800 mm anuais, concentrados em poucos meses do ano e distribuída de forma irregular em toda a região (ASA, 2015; MEDEIROS et al., 2014; MARENGO et al., 2011).

Como é natural das regiões Semiáridas, as condições hídricas são insuficientes para sustentar rios caudalosos que fiquem perenes nos longos períodos de ausência de precipitações, sendo uma exceção o rio São Francisco (IBGE, 2015; MARENGO et al., 2011). Conforme o INSA (2014), como reflexo do déficit hídrico, mais de 50% da região exibe ocorrência acima de 60% de probabilidade de desertificação e 75,8% dos municípios tem solos com baixa e muita baixa fertilidade, afetando diretamente a economia e a qualidade de vida da população da região.

De acordo com Medeiros et al. (2014), 62% da população vive em áreas urbanas e mais de 38% em áreas rurais, o que representa um alto número de pessoas vivendo em áreas distantes dos centros urbanos, com difícil acesso a melhores condições e que estão em constante contato com os recursos naturais.

Conforme a Marengo et al. (2011) o SAB representa a região mais vulnerável do Brasil às mudanças e à variabilidade do clima, principalmente aquelas associadas às secas mais intensas e prolongadas, o que poderia aumentar ainda mais o grau de exposição e vulnerabilidade das populações que habitam o Semiárido.

Figura 1 - Abrangência do Semiárido Brasileiro



Fonte: Medeiros et al. (2014)

2.2 Seca Meteorológica

A seca diferente dos outros fenômenos naturais não conta com uma definição precisa e universalmente aceita. Existem diversos enfoques teóricos que criam confusão sobre a ocorrência ou não de uma seca e a sua gravidade. A definição varia segundo a ocorrência de um de seis tipos de secas: meteorológica, climática, atmosférica, agrícola, hidrológica e de gestão hídrica (SUBRAHMANYAM, 1967). Desde o ponto de vista operacional, se considera que é qualquer deficiência no fornecimento de água durante um tempo determinando, tal que a demanda hídrica de certas atividades humanas não pode ser satisfeita (GUERRERO-SALAZAR e YEVJEVICH, 1975).

No geral, as definições se agrupam em quatro classes: seca meteorológica, seca hidrológica, seca agrícola e seca socioeconômica (WILHITE e GLANTZ, 1985; OMM, 2006). A Organização Meteorológica Mundial (OMM) considera a seca como um evento climático caracterizado por um período com condições meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongadas como para que a falta de precipitação cause um grave desequilíbrio hidrológico (OMM, 1992). Uma definição similar é assumida pela Organização das Nações Unidas (ONU), quem considera a seca um fenômeno natural, que se distingue porque as chuvas são consideravelmente inferiores aos níveis normais historicamente registrados, causando um agudo desequilíbrio hídrico que prejudica os sistemas de produção de recursos de terras (ONU, 1994).

Em termos gerais, a seca meteorológica se define de acordo a um limiar de déficit de precipitação, que se alcança durante um período de tempo previamente determinado (OMM, 2006). O limiar escolhido e a sua duração variam segundo o lugar e as necessidades dos usuários e atividades que estes realizem. A seca agrícola depende da disponibilidade hídrica nos solos para o sustento de cultivos e o crescimento de espécies forrageiras. A seca hidrológica se está relacionada com a redução dos níveis médios de água nos reservatórios e com a depleção de água na superfície e no subsolo, tomando como referência os valores médios em distintas datas cronológicas. Já a seca socioeconômica reflete a relação entre oferta e demanda de mercadorias básicas, como água, energia hidroelétrica, forragem ou qualquer atividade econômica que dependa das precipitações. A oferta varia anualmente em função da precipitação ou disponibilidade de água. A demanda oscila também e costuma tender ao aumento devido, entre outros fatores, ao aumento demográfico ou desenvolvimento (VALIENTE, 2001).

A seca meteorológica é um fenômeno natural que responde a diversas causas regionais, os demais tipos se caracterizam em maior medida pelos aspectos humanos ou sociais e sua

definição reflete a interação entre as características naturais das secas meteorológicas e as atividades humanas, que dependem da precipitação para proporcionar um abastecimento de água que permita cobrir as demandas da sociedade e meio ambiente (OMM, 2006). Nesta pesquisa, a seca meteorológica foi conceituada segundo o enfoque da OMM (2006).

2.3 Análises Probabilísticas de Eventos Extremos Hidroclimáticos

Os eventos extremos hidroclimáticos como secas e cheias se consideram desde o ponto de vista hidrológico como acontecimentos de natureza estocástica. Por essa razão, a sua análise requer observações que devem ter um intervalo temporal regular e ser coletadas em um ponto particular. Como um exemplo, considere uma série associada à variável Q , que representa a magnitude da precipitação anual em uma estação pluviométrica determinada, expressa em mm. Q é uma variável aleatória que pode tomar qualquer valor igual ou maior que zero. A probabilidade de que Q seja menor ou igual a um valor x denomina-se $F(x)$ e se representa como segue:

$$F(x) = \Pr(Q \leq x) \quad (1)$$

$F(x)$ é a função de distribuição de probabilidade acumulada da distribuição de frequência. A função inversa de $F(x)$ é $x(F)$ e denomina-se função quantílica da distribuição de frequência. A função $x(F)$, representa a magnitude da precipitação acumulada em um ano qualquer expressa em mm, em termos da sua probabilidade de não excedência de F . Ao valor esperado do intervalo de recorrência média entre eventos que excedem ou igualam uma magnitude especificada da variável aleatória x se denomina período de retorno ou simplesmente T , expressado em anos. Assim, um quantil com período de retorno T (representa-se como Q_T), é um evento que tem uma probabilidade $1/T$ de ser excedido por qualquer evento específico. Em um evento extremo alto (análise de máximas ou cheias), quer dizer, localizado na classe superior da distribuição de frequências, Q_T está dado por:

$$Q_T = x\left(1 - \frac{1}{T}\right) \quad (2)$$

$$F(Q_T) = 1 - \frac{1}{T} \quad (3)$$

Onde: Q_T é um quantil com um período de retorno igual a T ; T representa o período de retorno expressado em anos.

Em um evento extremo baixo, ou seja, localizado na classe inferior da distribuição de frequências (análise de mínimos, ou secas), as relações seriam:

$$Q_T = x\left(\frac{1}{T}\right) \quad (4)$$

$$F(Q_T) = \frac{1}{T} \quad (5)$$

A análise de frequência tem por objetivo obter uma estimativa do quantil Q_T para um período de retorno. Na análise de secas é útil estimar Q_T para diversos intervalos de períodos de retorno, ou melhor, ainda, estimar a função quantílica completa (HOSKING e WALLIS, 1997).

Se a estação pluviométrica que se analisa conta com uma série de precipitação anual, então essas observações representa uma amostra dos possíveis valores de Q_T . Agora, sob um contexto estatístico, um quantil com um período de retorno T pode ser estimado de maneira confiável, se e somente se, a série temporal disponível tem uma duração n tal que, $T < n$. Na maioria das situações práticas, essa condição não satisfaz em consequência o método clássico restringe a análise probabilística de eventos com período de recorrência pequeno.

Para enfrentar essa limitação se assume que a série temporal sob análise, é uma amostra de uma variável aleatória x , que vem de uma amostra cuja distribuição de probabilidade é representada adequadamente por uma distribuição de probabilidade teórica, uma vez que, se identifica o modelo de distribuição de probabilidade teórica que melhor se ajusta aos registros disponíveis, é possível realizar inferências sobre eventos cujos períodos de retorno superam amplamente a duração dos registros disponível.

Existe uma ampla variedade de métodos estatísticos para estimar os parâmetros de uma Função de Distribuição de Probabilidades (FDP) e avaliar o seu ajuste com valores medidos em campo, dentre os quais destacam-se: método gráfico, método dos momentos, método de máxima verossimilitude, procedimento de mínimos quadrados, método dos momentos ponderados por probabilidade, método do L-Momentos, estimativa bayesiana, método de máxima entropia e método multicritério (UNESCO, 2010).

2.4 Estimativa de Parâmetros das Funções de Distribuição de Probabilidades com L-Momentos

A análise de eventos hidroclimáticos extremos requer descrever as observações mediante parâmetros como média, dispersão, assimetria, curtoses dentre outros. Esses parâmetros podem ser estimados usando momentos amostrais. No entanto, os avanços computacionais no campo

das simulações têm mostrado a capacidade do L-Momentos em comparação aos momentos tradicionais. O L-Momentos está associado a uma variável aleatória ou uma distribuição de probabilidade e são capazes de descrever um maior número de distribuições que os momentos convencionais (CASADO, 2003).

Assumindo que a variável Q , representa a precipitação anual em uma estação pluviométrica determinada (expressa em mm), o momento centrado da FDP é a média, $\mu = E(Q)$. Depois, os momentos de maior ordem, se estimam como segue:

$$\mu_r = E(Q - \mu)^r \quad (6)$$

Onde $r = 2, 3, 4, \dots$

Em geral, os momentos caracterizam a FDP. A média é uma medida do centroide da FDP; o desvio padrão σ e a variância $\sigma^2 = \text{var}(Q)$ são medidas da dispersão da FDP respeito da média:

$$\sigma = \mu^{\frac{1}{2}} = \left[E(Q - \mu)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

O coeficiente de variação mede a dispersão da FDP com relação à média:

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad (8)$$

Ao normalizar os momentos anteriores, se geram uma série de momentos adimensionais:

$$\frac{\mu_r}{\mu^{\frac{r}{2}}} \quad (9)$$

Generalizando, tem-se:

$$\gamma = \frac{\mu_3}{\mu_2^{\frac{3}{2}}} \quad (10)$$

A equação (10) denomina-se assimetria e é uma medida de quanto assimétrica é a FDP.

$$\kappa = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} \quad (11)$$

A equação (11) denomina-se curtoses e é um indicador do peso que têm os extremos na FDP.

Um dos inconvenientes dos momentos amostrais é que resultam inadequados em FDP assimétricas. Assim, ao fazer inferência em este tipo de distribuições resulta impossível que toda esta assimetria se reflète em uma amostra de tamanho finito. O método do L-Momentos resolve essa limitação. Desde um ponto de vista estatístico, os L-Momentos são uma combinação linear dos Momentos Ponderados por Probabilidade (MPP) desenvolvidos por Greenwood et al. (1979). Segundo os autores, os MPP se definem como o valor esperado do

produto de três termos: a variável aleatória, x , elevada a uma potência l , a função de distribuição acumulada, $F(x)$, elevada a um expoente j e o complemento de esta função, elevado a um expoente k . Desta maneira, o MPP de ordem l, j, k se calcula mediante a seguinte expressão:

$$M_{l,j,k} = E(x^l F^j (1-F)^k) = \int_0^1 x^l F^j (1-F)^k dF \quad (12)$$

Os momentos convencionais constituem um caso especial dos MPP, já que em eles os expoentes j e k são nulos. Hosking et al (1997) indicaram a maneira como os momentos L são combinações lineares dos MPP desenvolvidos por Greenwood et al. (1979):

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (13)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (14)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (15)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (16)$$

$$\lambda_5 = 70\beta_4 - 140\beta_3 + 90\beta_2 - 20\beta_1 + \beta_0 \quad (17)$$

Greenwood et al. (1979) indicaram que numa amostra de tamanho n , com seus elementos fixados em ordem ascendente ($x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$), os estimadores acunhados de β_r são:

$$\beta_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \quad (18)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=2}^n \frac{(j-1)}{(n-1)} x_j \quad (19)$$

$$\beta_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=3}^n \frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} x_j \quad (20)$$

Generalizando, fica:

$$\beta_r = \frac{1}{n} \sum_{j=r+1}^n \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-r)}{(n-1)(n-2)\dots(n-r)} x_j \quad (21)$$

Estes autores referiram que os quocientes, τ , de L-Momentos são como segue:

$$\tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (22)$$

$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \quad (23)$$

$$\tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2} \quad (24)$$

τ denomina-se L-CV (coeficiente de variação); τ_3 denomina-se coeficiente de assimetria (L-assimetria); τ_4 denomina-se coeficiente de curtose (L-curtose).

2.4.1 Função de Distribuição de Probabilidade Pearson Tipo III

A FDP Pearson Tipo III está dada por:

$$F(x) = \frac{(x - \mu)^{(k-1)} e^{-\frac{x-\mu}{\beta}}}{x\beta^k \Gamma(k)} \quad (25)$$

Onde, x é a variável aleatória; μ é o parâmetro de posição; β é o parâmetro de escala; k é o parâmetro de forma.

Quando $k > 0$ e $\mu = \frac{2\beta}{k}$ coincidem com a FDP Gamma, enquanto que se $\gamma = 0$ coincide com a FDP Normal. Esta FDP se caracteriza por ter um limite inferior finito e assimetria positiva.

2.4.2 Função de Distribuição de Probabilidade Logística Generalizada

A FDP Logística Generalizada está dada por:

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-y}} \quad (26)$$

$$y = -\frac{1}{k} \log\left(1 - \frac{x - \mu}{\alpha}\right) \quad (27)$$

Onde: x é a variável aleatória; μ é o parâmetro de posição; α é o parâmetro de escala; k é o parâmetro de forma. Quando $k = 0$ coincide com a FDP Logística.

2.4.3 Função de Distribuição de Probabilidade de Valores Extremos Generalizada

A FDP de Valores Extremos Generalizada está dada por:

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad (28)$$

$$y = -\frac{1}{k} \log\left(1 - \frac{k(x - \mu)}{\alpha}\right) \quad (29)$$

Onde: x é a variável aleatória; μ é o parâmetro de posição; α é o parâmetro de escala; k é o parâmetro de forma. Quando $k = 0$ coincide com a FDP Gumbel (Tipo I), se $k > 0$ com a FDP Weibull (Tipo III) e $k < 0$ com a FDP Frechet (Tipo II).

2.4.4 Função de Distribuição de Probabilidade Normal Generalizada

A FDP Normal Generalizada está dada por:

$$F(x) = \Phi(y) \quad (30)$$

$$y = -\frac{1}{k} \log \left(1 - \frac{k(x - \mu)}{\alpha} \right) \quad (31)$$

Onde: x é a variável aleatória; μ é o parâmetro de posição; α é o parâmetro de escala; k é o parâmetro de forma; $\Phi(y)$ é a FDP Normal padrão.

2.4.5 Função de Distribuição de Probabilidade Pareto Generalizada

A FDP Pareto Generalizada está dada por:

$$F(x) = 1 - e^{-y} \quad (32)$$

$$y = -\frac{1}{k} \log \left(1 - \frac{k(x - \mu)}{\alpha} \right) \quad (33)$$

Onde: x é a variável aleatória; μ é o parâmetro de posição; α é o parâmetro de escala; k é o parâmetro de forma. Quando $k = 0$ coincide com a FDP exponencial.

2.5 Análise Regional de Frequências Baseada no Método L-Momentos

A ARF-LM assume que um conjunto de estações pluviométricas forma uma região homogênea, se e somente se, as suas distribuições de frequências são idênticas, variando unicamente por um fator de escala específico em cada estação (NORBIATO et al., 2007; HOSKING et al., 1997). A ARF-LM permite agregar todas as estações ativas que formam parte de uma região homogênea com o objetivo de melhorar a precisão nas estimativas da função de probabilidade quantílica em tais estações (WALLIS et al., 2007). Assim, compensa-se a carência de informação com relação ao número de registros pela sua distribuição espacial da rede de medição. A ARF-LM utiliza modelos de distribuição de três ou mais parâmetros, sendo

mais robusto que os modelos de distribuição usados na hidrologia probabilística clássica, os quais costumam ser de um ou dois parâmetros (HOSKING et al., 1997).

A ARF-LM se fundamenta no método denominado Índice de Avenidas (IA). Este último foi desenvolvido por Dalrymple (1960) tomando como base o teste de homogeneidade hidrológica de W. B. Langbeim. A equação geral do IA é como segue:

$$Q_i(F) = \mu_i \cdot q(F) \quad i = 1, \dots, N \quad (34)$$

Onde, μ_i é o Índice de Avenida e corresponde à média da distribuição de frequência da estação. O fator $q(F)$ é a curva de crescimento regional; uma função adimensional comum a todas as estações dentro da região homogênea e representa a função quantílica da distribuição regional de frequências (HOSKING et al., 1997).

Os quantis para cada estação se estimam por:

$$\hat{Q}_i(F) = \hat{\mu}_i \cdot \hat{q}(F) \quad (35)$$

Onde: $\hat{\mu}_i$ é a média dos dados observados na estação expressada em mm; $\hat{q}_i(F)$ é a curva de crescimento regional estimada, para $0 < F < 1$.

A metodologia da ARF-LM proposta por Hosking et al. (1997), usada em este trabalho, compreende quatro etapas:

1) Análise preliminar das séries disponíveis: avalia-se a qualidade dos dados. O objetivo é eliminar os registros duvidosos associados a erros de registro e/ou transcrição assim como registros incompletos durante vários anos, conforme destacado:

- a. Em cada estação e mês se calcula a média, desvio padrão, valor mínimo, valor máximo, inclinação e curtose. Explora-se a média e variabilidade da precipitação total anual.
- b. Em cada estação e mês se elabora um diagrama do tipo caixa (box plot), indicando o intervalo interquartílico (Q_2 e Q_4) e os valores atípicos. Observa-se a simetria de distribuição de frequência e a ocorrência de registros atípicos, com ênfases na identificação de regiões geograficamente contínuas onde os registros atípicos são frequentes.
- c. Representa-se em um Sistema de Informação Geográfica a precipitação média anual de todas as estações. Avalia-se a ocorrência de gradientes pluviométricos associados à hipsometria ou à localização das estações com relação às grandes cadeias de montanhas (barreiras orográficas).
- d. Em cada estação se realiza uma análise de estacionaridade à série de precipitação anual, com o objetivo de identificar a ocorrência de tendências durante o período de

análise. Uma série temporal é considerada estacionária se a média, variância e momentos de ordem superior não são afetados pela eleição do momento de origem da série de dados (DAHMEN e HALL, 1990). Conta-se com vários métodos para avaliar a estacionariedade da série temporal, entre eles estão teste de Mann-Kendall, teste de correlação de Spearman e teste de significância estatística sobre o valor da inclinação da reta.

- e. Em cada estação se realiza uma análise de correlação com a série de precipitação anual. Este critério se refere à independência dos dados que conformam a série temporal. Para provar a independência da série se faz uso do coeficiente de correlação lag 1 (DAHMEN et al., 1990) ou teste de Durbin-Watson (HELSEL e HIRSCH, 2002).

2) Identificação de regiões homogêneas: existem vários métodos para definir a priori, as regiões homogêneas, entre os quais tem-se: análise cluster, métodos baseados em atributos geográficos e climáticos da área de estudo, região de influência, lógica difusa, mapas autoorganizados e índice de sazonalidade (GAÁL et al., 2008; GAÁL e KYSELÝ, 2009; FOWLER e KILSBY, 2003; CHAVOCHI e SOLEIMAN, 2009; LIN e CHEN, 2004).

2.1) Medida de heterogeneidade para aceitar uma região homogênea: usa-se a estatística H_1 , descrita em detalhe na referência Wallis et al. (2007). O H_1 mede a variabilidade das estações, representadas pelo L-variação (L-CV), respeito à variabilidade que teria uma região com igual L-CV regional. Cujo critério segue: Região Homogênea, $H_1 < 1$; Possivelmente Heterogênea, $1 < H_1 \leq 3$; Região Heterogênea, $H_1 > 3$

$$t^R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i t^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (36)$$

$$V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N n_i (t^{(i)} - t^R)^2}{\sum_{i=1}^N n_i}} \quad (37)$$

$$H_1 = \frac{(V - \mu_v)}{\sigma_v} \quad (38)$$

Onde: H_1 medida de heterogeneidade, adimensional; N é o número de estações incluídas na região i ; n_i comprimento de registros da estação i em anos; $t^{(i)}$ L-Momento ratio da estação i ,

adimensional; t^R L-Momento ratio da região, adimensional; μ_v média de N simulações em mm; σ_v desvio padrão de N simulações em mm.

2.2) Medida da discordância de uma estação dentro de uma região homogênea: Hosking et al. (1997) desenvolveram uma medida de discordância, D_i , que avalia o grau em que os L-Momentos de uma estação, diferem significativamente do padrão médio dos L-Momentos regionais. A estrutura conceitual da medida D_i é como segue:

Supondo que existem N estações no grupo que se analisa, se define:

$$u_i = [\tau^i \ \tau_3^i \ \tau_4^i]^T \quad (39)$$

Onde: u_i é um vetor que contém os quocientes L-Momentos: τ , τ_3 e τ_4 de cada estação i ; ver equação (22) a (24). O expoente T significa vetor transposto, já que u_i é um vetor linha. O vetor médio (não ponderado) do grupo será (HOSKING et al., 1997):

$$\bar{u} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \quad (40)$$

A matriz A de soma de quadrados e de produtos cruzados está definida como:

$$A = \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T \quad (41)$$

Finalmente, a medida da discordância D_i de cada estação será:

$$D_i = \frac{1}{3} N (u_i - \bar{u})^T \cdot A^{-1} \cdot (u_i - \bar{u}) \quad (42)$$

Quando D_i é maior do que os valores críticos indicados na Tabela 1, a estação é discordante com relação ao grupo:

Tabela 1 - Valores críticos (Dc) para o estatístico de Discordância (Di)

Número de estações	Dc	Número de estações	Dc
5	1,333	11	2,632
6	1,648	12	2,757
7	1,917	13	2,869
8	2,140	14	2,971
9	2,329	15	3,000
10	2,491	-	-

Fonte: UNESCO (2010)

3) Seleção da distribuição de frequência: uma vez comprovado que uma região é homogênea, se deve selecionar uma FDP teórica que se ajuste convenientemente aos dados observados. A qualidade de ajuste da FDP permite julgar em que medida os momentos L-

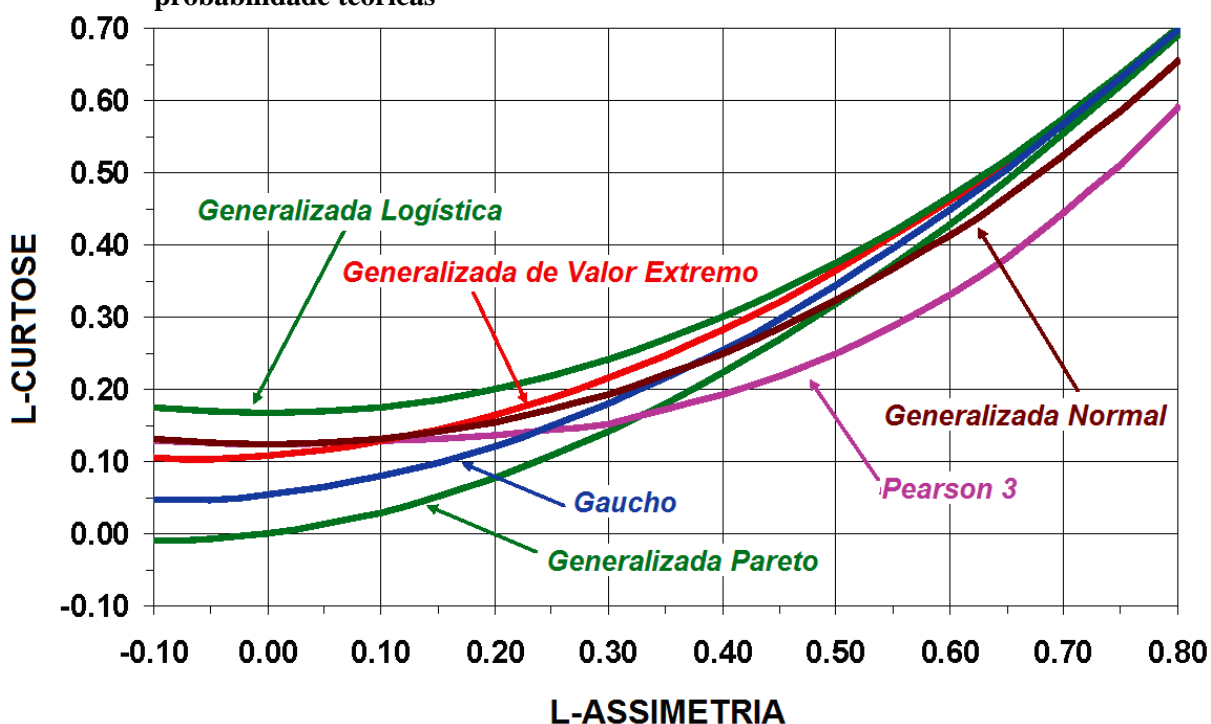
curtose e L-assimetria do modelo teórico se aproxima ao L-curtose e L-assimetria da região homogênea (ÁLVAREZ et al., 1999).

Pelo anterior, o diagrama do L-Momentos regionais versus os L-Momentos teóricos (L-curtose vs L-assimetria) constituem uma valiosa ferramenta para visualizar a FDP mais adequada (VOGEL e FENNESSY, 1993) (Gráfico 1). Nesta ordem de ideias, cabe destacar que Hosking et al. (1997) desenvolveram uma medida de qualidade de ajuste com maior robustez, baseada em um estatístico que denominaram, Z^{DIST} :

$$Z^{DIST} = \frac{\tau_4^{DIST} - \bar{\tau}_4 + \beta_4}{\sigma_4} \quad (43)$$

Onde: τ_4^{DIST} é o valor teórico de L-curtose da FDP que se avalia (obtido dos diagramas L-curtose vs L-assimetria); τ_4 é a média regional de L-curtose (determinada a partir dos dados das estações que conformam a região homogênea); β_4 é a inclinação da média regional de τ_4 ; σ_4 é o desvio padrão de τ_4 .

Gráfico 1 - Diagrama de L-Momento ratios que mostra as principais funções de distribuição de probabilidade teóricas



Fonte: MGS Software, LLC (2009)

Quando $Z^{DIST} < |1,64|$, se aceita a hipótese de bom ajuste da distribuição, caso contrário, se rejeita (o grau de significância estatística desse critério é de 90%). As FDP teóricas de maior

uso são: Pareto Generalizada, Generalizada de Valor Extremo, Generalizada Normal, Pearson Tipo III, Generalizada Logística, Kappa de 4 parâmetros e Gaucho.

4) Estimativa de quantis: uma vez selecionada a FDP com melhor ajuste aos dados observados, se estimam os quantis associados a um certo período de retorno. Para cada estação incluída em uma região homogênea se determinam os primeiros quatro L-Momentos λ_j (equações 2.22 a 2.24) e se fazem adimensionais dividindo cada um deles pela média de série λ_i . Os valores adimensionais do L-Momentos se usam para determinar os valores regionais λ_i^R

$$\lambda_i^R = \sum_{s=1}^N \lambda_{j(s)} \frac{N_s}{L} \quad (44)$$

Onde: N_s é o comprimento da série de dados, anos; L é o comprimento da série global de dados, anos; $\lambda_{j(s)}$ é o L-Momentos de ordem j na estação s .

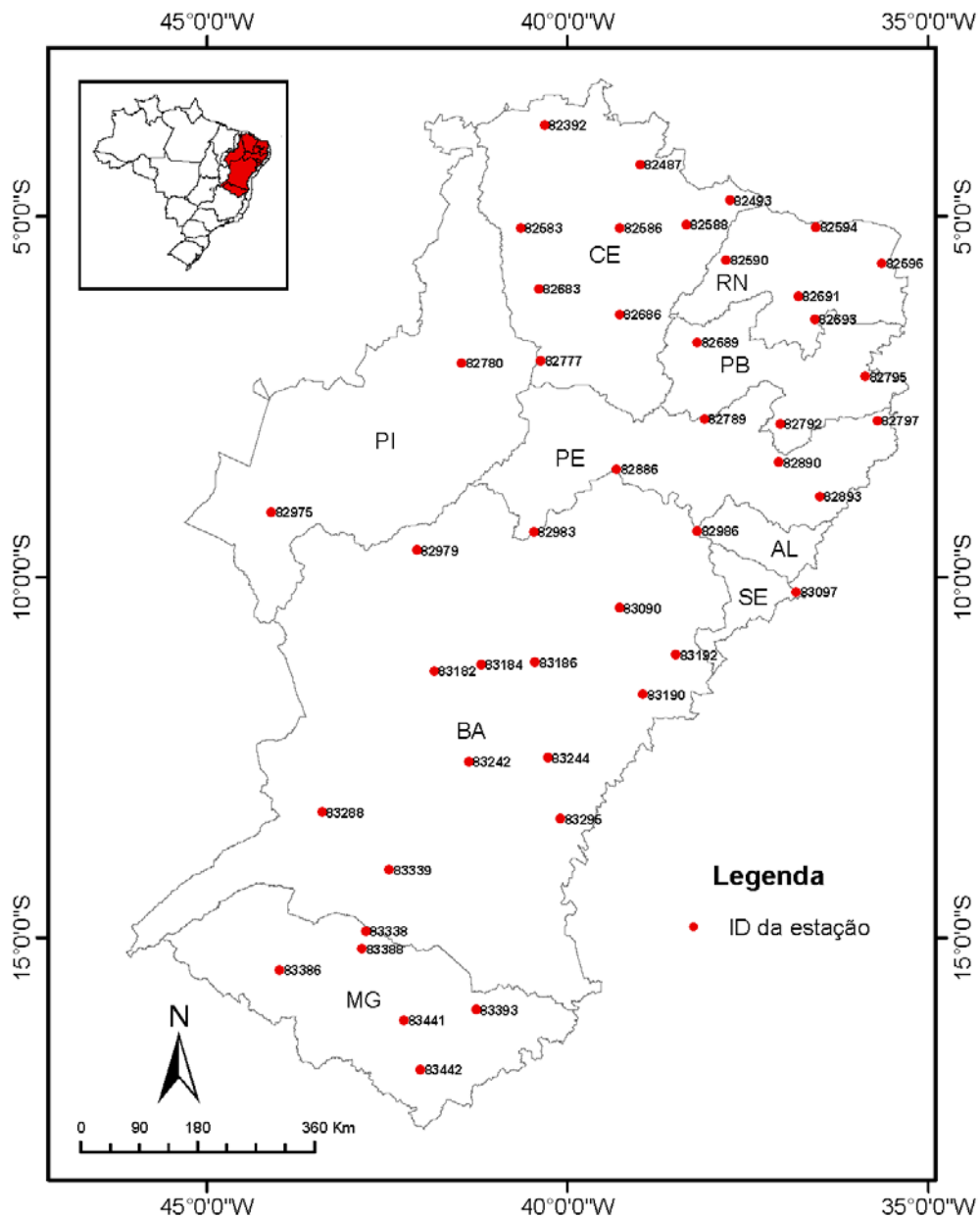
Nesta etapa obtém-se a Curva de Crescimento Regional (CCR), que mostra a relação entre a razão da precipitação média local e da precipitação média regional, além da probabilidade de não excedência anual. A partir da CCR se pode estimar a probabilidade de não excedência ou período de retorno de qualquer evento de interesse a escala anual.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Unidade de Estudo

Nesta pesquisa entende-se como Unidade de Estudo (EU) à região que engloba o SAB (Figura 2), segundo a nova delimitação aprovada pela Portaria n° 89, de 16 de março de 2005, do Ministério da Integração Nacional (MI, 2005). A UE está compreendida entre 03° e 17° de latitude Sul e 35° e 46° de longitude Oeste, abrangendo uma extensão territorial de 980.133,079 km².

Figura 2 - Unidade de Estudo (UE): Distribuição das estações meteorológicas



Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

Os dados vetoriais em formato shapefile da área, estão disponibilizados no Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro (SIGSAB), gerenciado pelo Instituto Nacional do Semiárido (INSA), com sistema de referência geocêntrico para as Américas Datum de 2000 (SIRGAS 2000), na escala 1:250.000.

3.2 Fases da Pesquisa

3.2.1 Fase I. Análise Preliminar das Séries Disponíveis

Os dados de precipitação e informações das estações usadas foram obtidos no Banco de Dados Meteorológico para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com uma frequência mensal para o período de Janeiro de 1961 a Julho de 2016. Das 64 estações localizadas na UE, somente escolheram-se aquelas com mais de 60% dos registros mensais completos para o período acima mencionado, o que resultou na seleção de 45 estações que cumprem com esse critério (Figura 2).

Com a amostra anterior foi elaborado dois arquivos em formato *.csv, denominados Base de Dados Estações (BDE) e Base de Dados Registros (BDR), cujas informações estão indicadas nas Tabelas 2 e 3.

Na Tabela 4 constam as características mais relevantes das estações que aparecem nos arquivos BDE e BDR. Para esta análise se desenvolveu uma variante do script RSARFLM V. 6.0 na linguagem R, desenvolvido por NUÑEZ (2013), que se denomina no sucessivo RSARFLM_Sertao.

Para cada estação inclusa na BDR e BDE (renomeado de amostra) se calculou a precipitação anual (somatório da precipitação mensal entre janeiro e dezembro de cada ano, expressa em mm).

Tabela 2 - Campos de informação do arquivo Base de Dados Estações (BDE)

Nome do campo	Tipo de dado	Descrição
id_estacion	Alfanumérico	st-BRA-xxxx; xxxx é o serial da estação pluviométrica
pais	Texto	BRA; ISO do Brasil segundo norma ISO 3166-1
nombre_estacion	Texto	Nome da estação segundo INMET
estado	Texto	Siglas do nome do estado onde se localiza a estação
Lat	Numérico	Latitude da estação em graus decimais
Long	Numérico	Longitude da estação em graus decimais
Altitud	Numérico	Altitude da estação segundo INMET em metros

Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

Tabela 3 - Campos de informação do arquivo Base de Dados Registros (BDR)

Nome do campo	Tipo de dado	Descrição
id_estacion	Alfanumérico	st-BRA-xxxx; xxxx é o serial da estação pluviométrica
anio	Numérico	Ano
ENE	Numérico	Precipitação de janeiro em mm/mês
FEB	Numérico	Precipitação de fevereiro em mm/mês
MAR	Numérico	Precipitação de março em mm/mês
ABR	Numérico	Precipitação de abril em mm/mês
MAY	Numérico	Precipitação de maio em mm/mês
JUN	Numérico	Precipitação de junho em mm/mês
JUL	Numérico	Precipitação de julho em mm/mês
AGO	Numérico	Precipitação de agosto em mm/mês
SEP	Numérico	Precipitação de setembro em mm/mês
OCT	Numérico	Precipitação de outubro em mm/mês
NOV	Numérico	Precipitação de novembro em mm/mês
DIC	Numérico	Precipitação de dezembro em mm/mês

id_estacion: é a chave estrangeira de BDR e BDE

Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

Tabela 4 - Lista de estações pluviométricas incluídas nos arquivos BDE e BDR

Serial	Nome da estação	Estado	Latitude	Longitude	Altitude	PMA	N
82392	SOBRAL	CE	-40,33	-3,73	109,62	881,04	39
82487	GUARAMIRANGA	CE	-39	-4,28	870,67	1611,44	41
82493	JAGUARUANA	CE	-37,76	-4,78	11,71	696,72	27
82583	CRATEUS	CE	-40,66	-5,16	296,82	738,36	34
82586	QUIXERAMOBIM	CE	-39,28	-5,16	79,5	755,73	41
82588	MORADA NOVA	CE	-38,36	-5,11	43,62	746,90	33
82590	APODI	RN	-37,81	-5,61	150	689,00	28
82594	MACAU	RN	-36,57	-5,15	32	485,71	34
82596	CEARA MIRIM	RN	-35,65	-5,65	61,35	1325,49	33
82683	TAUA	CE	-40,41	-6	398,77	639,08	30
82686	IGUATU	CE	-39,29	-6,36	217,67	999,68	36
82689	SAO GONCALO	PB	-38,21	-6,75	233,06	940,72	33
82691	FLORANIA	RN	-36,81	-6,11	324,45	719,19	37
82693	CRUZETA	RN	-36,58	-6,43	226,46	687,89	46
82777	CAMPOS SALES	CE	-40,38	-7	583,5	592,59	29
82780	PICOS	PI	-41,48	-7,03	207,93	764,65	33
82789	TRIUNFO	PE	-38,11	-7,81	1105	1180,43	37
82792	MONTEIRO	PB	-37,06	-7,88	603,66	671,17	33
82795	CAMPINA GRANDE	PB	-35,88	-7,22	547,56	780,08	34
82797	SURUBIM	PE	-35,71	-7,83	418,32	644,91	43
82886	CABROBO	PE	-39,33	-8,51	341,46	536,60	31
82890	ARCOVERDE	PE	-37,08	-8,41	680,7	624,11	26
82893	GARANHUNS	PE	-36,51	-8,88	822,76	894,73	44
82975	BOM JESUS DO PIAUI	PI	-44,11	-9,1	331,74	983,57	30
82979	REMANSO	BA	-42,1	-9,63	400,51	640,02	36
82983	PETROLINA	PE	-40,48	-9,38	370,46	483,96	40
82986	PAULO AFONSO	BA	-38,21	-9,36	252,69	534,36	36

Tabela - 5 Continuação

Serial	Nome da estação	Estado	Latitude	Longitude	Altitude	PMA	N
83090	MONTE SANTO	BA	-39,29	-10,43	464,6	606,99	37
83097	PROPRIA	SE	-36,84	-10,21	19,92	1080,99	35
83182	IRECE	BA	-41,86	-11,3	747,16	586,10	33
83184	MORRO DO CHAPEU	BA	-41,21	-11,21	1003,27	688,43	33
83186	JACOBINA	BA	-40,46	-11,18	484,74	812,96	40
83190	SERRINHA	BA	-38,96	-11,63	359,63	815,92	31
83192	CIPO	BA	-38,51	-11,08	145,31	730,47	30
83242	LENCOIS	BA	-41,38	-12,56	438,74	1228,33	39
83244	ITABERABA	BA	-40,28	-12,51	249,89	658,66	35
83288	BOM JESUS DA LAPA	BA	-43,41	-13,26	439,96	811,94	34
83295	ITIRUCU JAGUAQUARA	BA	-40,11	-13,35	755,61	826,92	30
83338	ESPINOSA	MG	-42,8	-14,91	569,64	686,04	37
83339	CAETITE	BA	-42,48	-14,06	882,47	833,60	41
83386	JANUARIA	MG	-44	-15,45	473,71	907,94	28
83388	MONTE AZUL	MG	-42,86	-15,16	625	748,66	33
83393	PEDRA AZUL	MG	-41,28	-16	648,91	864,26	36
83441	SALINAS	MG	-42,28	-16,15	471,32	852,49	37
83442	ARACUAI	MG	-42,05	-16,83	289	741,62	39

Altitude: elevação em m; PMA: precipitação média anual em mm/ano; N: número de anos completos disponíveis na série

Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

Para cada estação na amostra, se aplicou uma análise de sazonalidade à variável precipitação anual, com o objeto de identificar tendências durante o período da análise. Neste sentido, se utilizou a prova de significância estatística sobre o valor da inclinação da reta. O script RSARFLM_Sertao, forneceu o valor de probabilidade da prova (p-value, pelo acrônimo em inglês). Um p-value < 0,01 indica, com um nível de confiança de 99%, que a série apresenta uma tendência temporal.

Em cada estação da amostra, se aplicou uma análise de autocorrelação serial, com o propósito de detectar anos autocorrelacionados, estatisticamente significativo. Usou-se a prova de Durbin-Watson (HELSEL e HIRSCH, 2002). O script RSARFLM_Sertao forneceu o valor de probabilidade da prova (D-Wp-value). Um D-Wp-value < 0,05 indica, com um nível de confiança de 95%, que a série apresenta autocorrelação serial.

3.2.2 Fase II. Identificação de Regiões Homogêneas

Analisaram-se todas as estações da amostra (Tabela 4) com o script RSARFLM_Sertao, para determinar a heterogeneidade da super-região através da estatística **H1** —equação (26)—

e da medida de discordância D_i —equação (30)— de cada estação. A variável de interesse foi à chuva total anual em mm/ano.

Aplicou-se a análise cluster hierárquica à amostra (Tabela 4), baseado em critérios de máxima verossimilhança para modelos de mistura gaussiana, parametrizados pela decomposição de autovalores (FRALEY e RAFTERY, 2002). As variáveis de agrupamento foram: latitude (em graus decimais), longitude (em graus decimais), altitude (em metros), discordância (determinada na etapa anterior) e precipitação média anual da estação em mm/ano.

Cada estação da amostra (Tabela 4) se associou a um cluster. Analisou-se todas as estações, agrupadas segundo o cluster de pertença, com o script RSARFLM_Sertao, determinando a heterogeneidade de cada região (cluster) com o estatístico H_1 —equação (26)— e a medida de discordância D_i das estações com relação ao L-Momentos regionais. A variável de interesse foi à chuva total anual em mm/ano. Esse processo foi iterativo, pois a estação discordante (Tabela 1) foi associada a outras regiões, até não se observar discordância em cada região e o valor de H_1 das regiões foi igual ou inferior a 3,00 (WALLIS et al., 2007).

Usando um Sistema de Informação Geográfica (SIG) se representou as estações que formam parte das regiões homogêneas e depois se descreveu o seu padrão espacial.

3.2.3 Fase III. Seleção da Função de Distribuição de Probabilidades com Melhor Ajuste

Calculou-se o estatístico Z^{DIST} —equação (31)— para cada região homogênea com o script RSARFLM_Sertao e determinou-se a bondade de ajustamento das FDP teóricas: Generalizada Logística (GLO), Generalizada de Valor Extremo (GEV), Generalizada Normal (GNO), Pearson Tipo III (PE3) e Pareto Generalizada (GPO). Quando $Z^{DIST} < |1,64|$, se aceitou a hipótese de bom ajustamento da distribuição, no caso contrário, se rejeitou (o grau de significância estatística deste critério é de 90%).

Selecionou-se a FDP teórica que melhor se ajustou aos registros das regiões homogêneas. Depois foi calculado os parâmetros da FDP: μ parâmetro de posição; α parâmetro de escala; k parâmetro de forma, usando as relações sugeridas por Hosking et al (1997).

3.2.4 Fase IV. Estimativa de Quantis e Geração de Curva de Crescimento Regional

Fazendo uso da FDP selecionada na fase anterior, se gerou a Curva de Crescimento Regional (CCR). A CCR é um gráfico que tem pelo eixo das ordenadas a taxa entre precipitação média local e a precipitação média regional e pelo eixo das abscissas a probabilidade de não

excedência anual. A CCR de cada região homogênea foi gerada com o script RSARFLM_Sertao.

3.2.5 Fase V. Geração de Mapas Temáticos do Período de Retorno de Diversos Eventos Anuais Secos do Semiárido Brasileiro

A partir do L-Momentos, foi possível estimar os parâmetros de FDP que melhor se ajustou à variável precipitação anual em mm/ano. Nessa etapa se usou a FDP Pearson Tipo III (PE3) como modelo geral na Unidade de Estudo (UE). Estimou-se como variam os L-Momentos na UE usando a Precipitação Média Anual (PMA) como variável auxiliar; esta última se tomou de um arquivo em formato *.TIF com resolução por pixel de 0,05 x 0,05 graus, proporcionado pelo Grupo de Pesquisa do Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (LAPIS). Os valores de PMA e L-Momentos ratios se relacionaram com a equação (45), referida por Nuñez et al (2011):

$$L - \text{Momentoratio} = \alpha \cdot e^{-\beta \cdot PMA} + \delta \quad (45)$$

Onde: L-Momentoratio representa o L-CV, L-assimetria ou L-curtose; α , β e δ são os parâmetros de ajuste; PMA é a precipitação média anual da região em mm/ano.

Elaborou-se um mapa com a distribuição espacial do período de retorno de três eventos anuais associado à ocorrência de um ano com 40, 60 e 80% da precipitação média anual na UE. Nesta etapa se usou o script RSARFLM_Sertao, que conta com uma rotina de cálculo para o mapeamento baseado no procedimento descrito na referência de Nuñez et al. (2011).

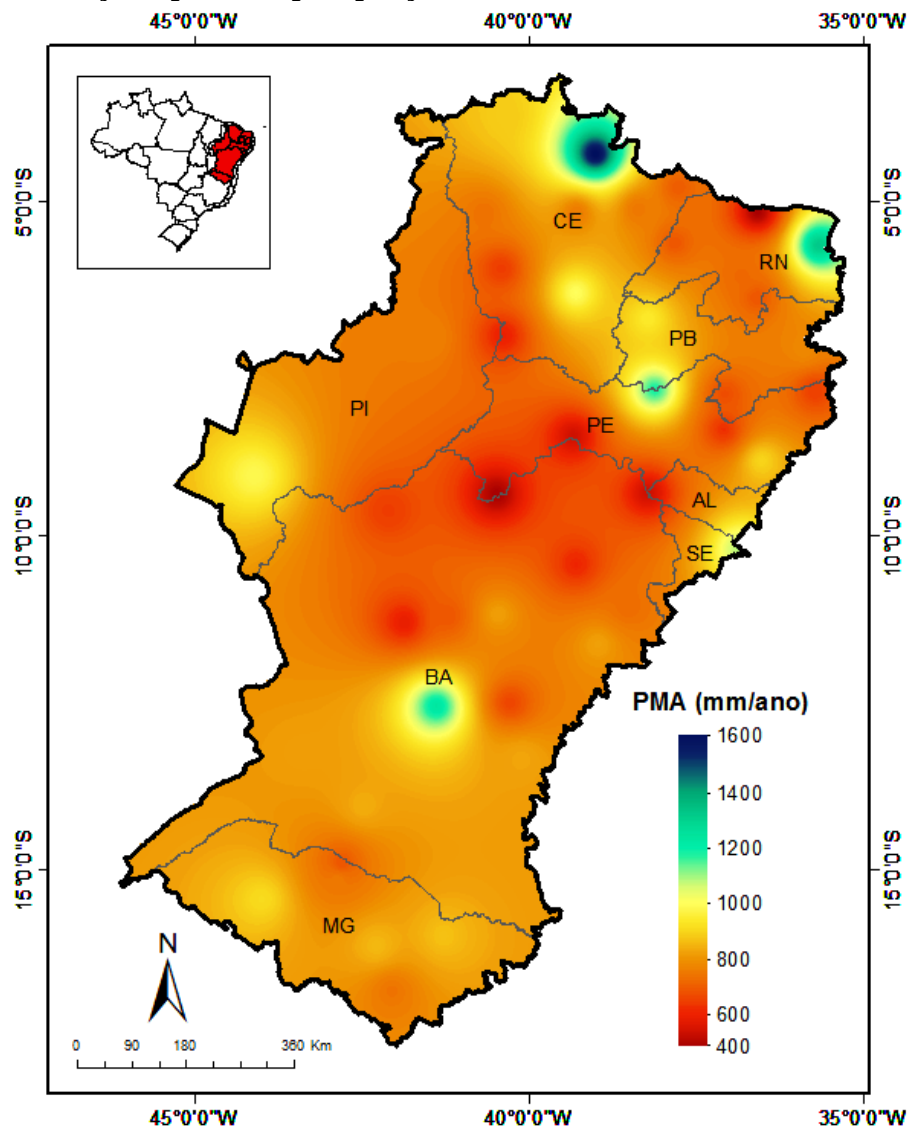
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Regiões Homogêneas Referentes à Distribuição de Frequência da Precipitação Anual no Semiárido Brasileiro

4.1.1 Análise Estatística Geral das Séries Pluviométricas Originais

A precipitação média anual (PMA) na Unidade de Estudo (UE) mostra uma variação de 484 mm/ano na região central do SAB no Estado de Pernambuco, até mais de 1.600 mm/ano ao norte do SAB no Estado do Ceará e leste de Rio Grande do Norte (Figura 3). Dentro da UE 80% das estações usadas, a PMA ultrapassa 800 mm/ano.

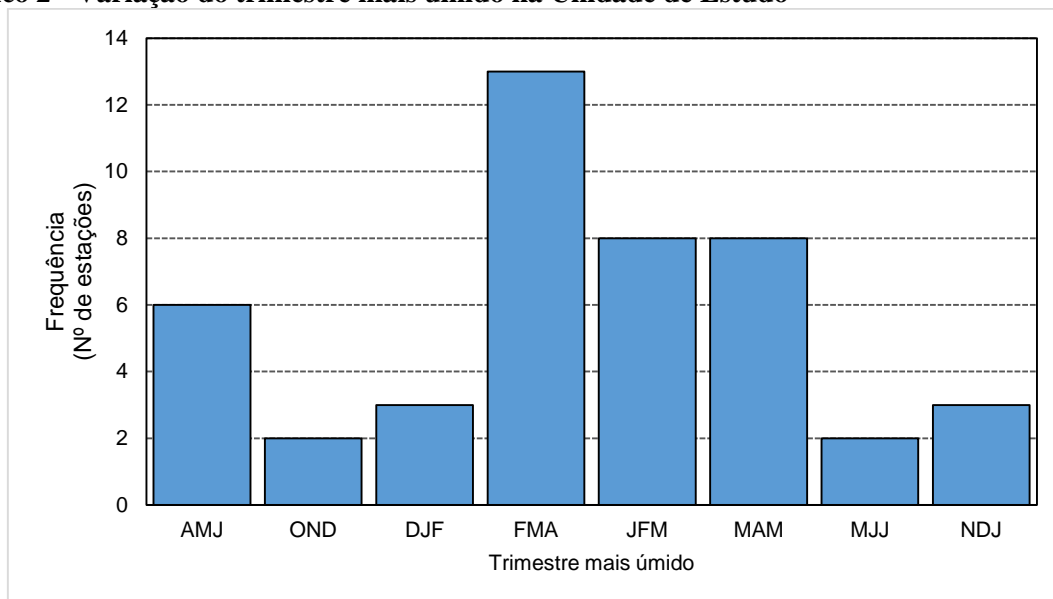
Figura 3 - Distribuição espacial da precipitação média anual na Unidade de Estudo



Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

Segundo Marengo et al (2011), máxima precipitação no SAB normalmente ocorre entre fevereiro e maio, devido à influência da zona de convergência intertropical (ZCIT), quando se situa mais ao sul ($\sim 4^\circ$ S) neste período. Desta forma, esta influência mostra que a ZCIT é o principal mecanismo dinâmico responsável de que o trimestre mais úmido na maioria das estações na EU, seja entre fevereiro e abril (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Variação do trimestre mais úmido na Unidade de Estudo



Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

4.1.2 Identificação de Regiões Homogêneas

A super-região (Tabela 5) apresentou uma medida de heterogeneidade de 6,4 e valores de discordâncias que variam entre 0,071 e 9,003. Somente a estação Cipó - BA (83192) teve discordância superior a 3. Das Funções de Distribuição de Probabilidade avaliadas (i.e., Generalizada Logística – GLO, Generalizada de Valor Extremo - GEV, Generalizada Normal – GNO, Pearson Tipo III - PE3 e Pareto Generalizada - GPO), a única que ajustou adequadamente a variável precipitação anual na super-região foi GNO ($|Z^{\text{DIST}}| = 1,35$).

Avaliou-se, por separado de 5 a 10 conglomerados na super-região, usando uma análise cluster hierárquica, baseada em critérios de máxima verossimilhança para modelos de mistura gaussiana, parametrizados pela decomposição de autovalores de cinco variáveis: latitude (em graus decimais), longitude (em graus decimais), altitude (em msnm), discordância e PMA (mm/ano). A distribuição de cinco conglomerados deu grupos com estações altamente intercorrelacionadas e não correlacionadas com os outros grupos. Pelo anterior, as estações se agruparam em cinco regiões preliminares.

A heterogeneidade e a discordância das estações para cada região foram calculadas pelo script RSARFLM_Sertao. De forma iterativa, as regiões discordantes se moveram a regiões vizinhas. A interação se interrompeu quando as regiões tiveram: 1) $H_1 \leq 3,00$; 2) nenhuma estação discordante (Tabela 1). Na Tabela 6 constam as regiões homogêneas definitivas.

Tabela 6 - Resultados da análise de estacionaridade e autocorrelação serial nas estações avaliadas na Unidade de Estudo

Serial	Inclinação (p-value)	D-W (p-value)
82392	0,375	0,156
82487	0,495	0,110
82493	0,799	0,382
82583	0,384	0,382
82586	0,044	0,760
82588	0,149	0,186
82590	0,032	0,548
82594	0,878	0,614
82596	0,374	0,220
82683	0,143	0,216
82686	0,571	0,334
82689	0,763	0,580
82691	0,034	0,120
82693	0,086	0,092
82777	0,354	0,172
82780	0,351	0,626
82789	0,281	0,108
82792	0,453	0,554
82795	0,829	0,242
82797	0,048	0,538
82886	0,147	0,076
82890	0,194	0,066
82893	0,270	0,880
82975	0,056	0,632
82979	0,036	0,220
82983	0,018	0,356
82986	0,010	0,968
83090	0,213	0,836
83097	0,006	0,228
83182	0,057	0,942
83184	0,005	0,430
83186	0,169	0,790
83190	0,001	0,818

Tabela 7 - Continuação

Serial	Inclinação (p-value)	D-W (p-value)
83192	0,001	0,000
83242	0,000	0,276
83244	0,004	0,618
83288	0,033	0,796
83295	0,011	0,272
83338	0,155	0,366
83339	0,003	0,194
83386	0,361	0,246
83388	0,334	0,884
83393	0,660	0,950
83441	0,131	0,262
83442	0,250	0,036

Inclinação (p-value): valor p-value de prova t aplicada à inclinação da variável precipitação anual; D-W (p-value): valor p-value da prova de Durbin-Watson (HELSEL et al., 2002) sobre a variável precipitação anual. Um p-value $\leq 0,05$ indica, com um nível de confiança de 95%, que a série apresenta autocorrelação serial ou tendência temporal.

Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

Tabela 8 - Estações contidas nas regiões homogêneas identificadas na Unidade de Estudo

Serial	Nome da estação	Região Homogênea
82392	Sobral	1
82686	Iguatu	1
82689	São Gonçalo	1
82893	Garanhuns	1
82975	Bom Jesus do Piauí	1
83097	Propriá	1
83184	Morro do Chapéu	1
83295	Itiruçu Jaguaquara	1
83339	Caetité	1
82487	Guaramiranga	2
82596	Ceara Mirim	2
82777	Campos Sales	2
82789	Triunfo	2
82792	Monteiro	2
82795	Campina Grande	2
82890	Arcoverde	2
83182	Irecê	2
83242	Lençóis	2
83338	Espinosa	2
83388	Monte Azul	2
83393	Pedra Azul	2

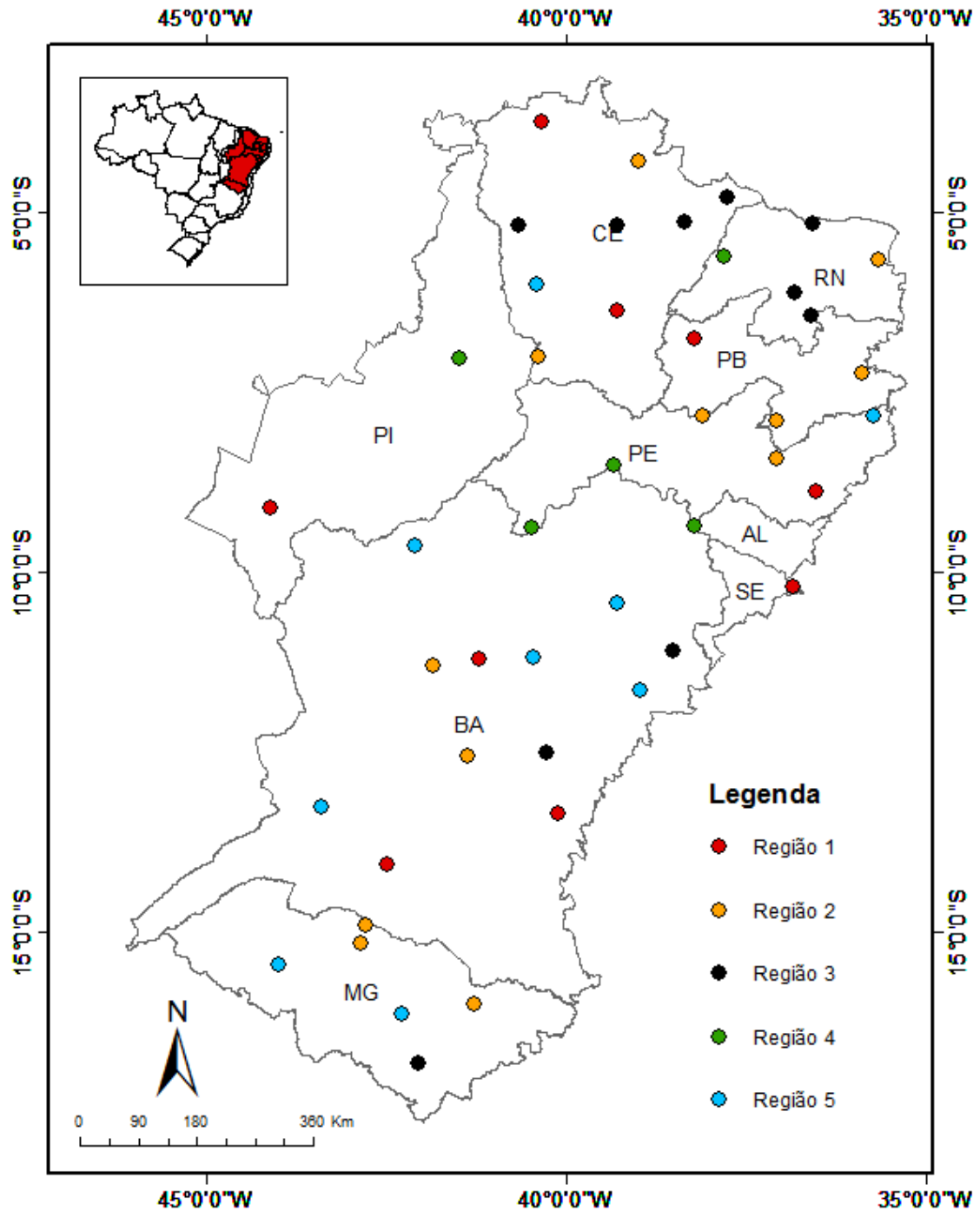
Tabela 9 - Continuação

Serial	Nome da estação	Região Homogênea
82493	Jaguaruana	3
82583	Crateús	3
82586	Quixeramobim	3
82588	Morada Nova	3
82594	Macau	3
82691	Florania	3
82693	Cruzeta	3
83192	Cipó	3
83244	Itaberaba	3
83442	Araçuaí	3
82590	Apodi	4
82780	Picos	4
82886	Cabrobó	4
82983	Petrolina	4
82986	Paulo Afonso	4
82683	Tauá	5
82797	Surubim	5
82979	Remanso	5
83090	Monte Santo	5
83186	Jacobina	5
83190	Serrinha	5
83288	Bom Jesus da Lapa	5
83386	Januária	5
83441	Salinas	5

Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

Na Figura 4, pode-se observar que as regiões não apresentam um padrão de distribuição espacial uniforme, principalmente a região n° 1, que é geograficamente descontínua e forma pequenos conglomerados pela UE, se concentrando na maioria no Estado da Bahia. Essa região é a mais úmida de todas. A região n° 2 com a maior extensão superficial, abrangendo a zona norte da bacia hidrográfica do rio São Francisco, centro do Semiárido Baiano, norte de Minas Gerais e parte do Estado Ceará. A região n° 3 concentrada em uma grande extensão do Estado Ceará e Rio Grande do Norte, também forma pequenos núcleos ao norte de Minas Gerais e parte da Bahia. A região n° 4 é a mais seca, concentrando-se na zona central do SAB. A região n° 5 abrange a maior parte do Semiárido Baiano e parte de Minas Gerais, também possui um núcleo isolado ao Leste de Pernambuco e outro ao Oeste do Estado de Ceará.

Figura 4 - Distribuição espacial das Regiões Homogêneas na Unidade de Estudo



Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

Da Tabela 7 se conclui: 1) As regiões com climas Semiáridos tem uma alta heterogeneidade regional com relação às regiões de clima úmido; 2) o L-CV regional tende aumentar na medida em que a Precipitação Média Anual (PMA) diminui; 3) o L-assimetria e L-curtose regionais não apresentam uma clara relação com a PMA. As deduções 1) e 2) são análogas às reportadas por Hallack-Alegría e Hernández (2007) em Sonora e Baja Califórnia

no México e Nuñez et al. (2011) na região do Coquimbo no Chile, o que faz considerar que essas interligações são generalizáveis às regiões Áridas e Semiáridas.

Tabela 10 - Estatística das regiões homogêneas na Unidade de Estudo

Região	Número de estações	H1	L-CV	L-assimetria	L-curtose	PMA
1	9	2,23	0,17	0,11	0,15	902,82
2	12	1,09	0,19	0,05	0,11	934,35
3	10	2,89	0,24	0,13	0,15	697,21
4	5	1,38	0,21	0,10	0,16	593,78
5	9	0,05	0,17	0,09	0,16	742,99

PMA: precipitação média anual da região em mm/ano

Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

4.1.3 Seleção da Função de Distribuição de Probabilidades com Melhor Ajuste nas Regiões Homogêneas

Na Tabela 8 encontra-se o valor do estatístico Z^{DIST} de cada região homogênea. No geral, a FDP que melhor ajusta aos registros de precipitação anual é a GNO (Generalizada Normal), seguida pela Pearson Tipo III (PE3). Esta última, só é ligeiramente deficiente com a GNO na região nº 2. A Tabela 9 especifica os parâmetros da FDP Pearson Tipo III (PE3) para cada região homogênea.

Tabela 11 - Valores estatísticos absolutos de Z^{DIST} nas regiões homogêneas da Unidade de Estudo

FDP	Reg. Nº 1	Reg. Nº 2	Reg. Nº 3	Reg. Nº 4	Reg. Nº 5
GLO	1,14	4,04	1,63	0,34	0,67
GEV	-1,07	0,58	-0,48	-1,24	-1,49
GNO	-0,97	1,22	-0,50	-1,14	-1,30
PE3	-1,26	1,15	-0,91	-1,31	-1,50
GPA	-5,60	-5,98	-4,93	-4,45	-5,84

Generalizada Logística (GLO), Generalizada de Valor Extremo (GEV), Generalizada Normal (GNO), Pearson Tipo III (PE3) e Pareto Generalizada (GPA); Quando $Z^{\text{DIST}} < |1,64|$, se aceita a hipótese de bom ajuste da distribuição, caso contrário, se rejeita (o grau de significação estatística de esse critério, 90%).

Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

Tabela 12 - Parâmetros da FDP Pearson Tipo III (PE3) para cada região homogênea da Unidade de Estudo

Parâmetro	Reg. Nº 1	Reg. Nº 2	Reg. Nº 3	Reg. Nº 4	Reg. Nº 5
μ	0,966	0,871	0,813	0,964	0,973
α	0,292	0,315	0,357	0,209	0,172
k	-0,231	0,201	0,058	-0,104	-0,095

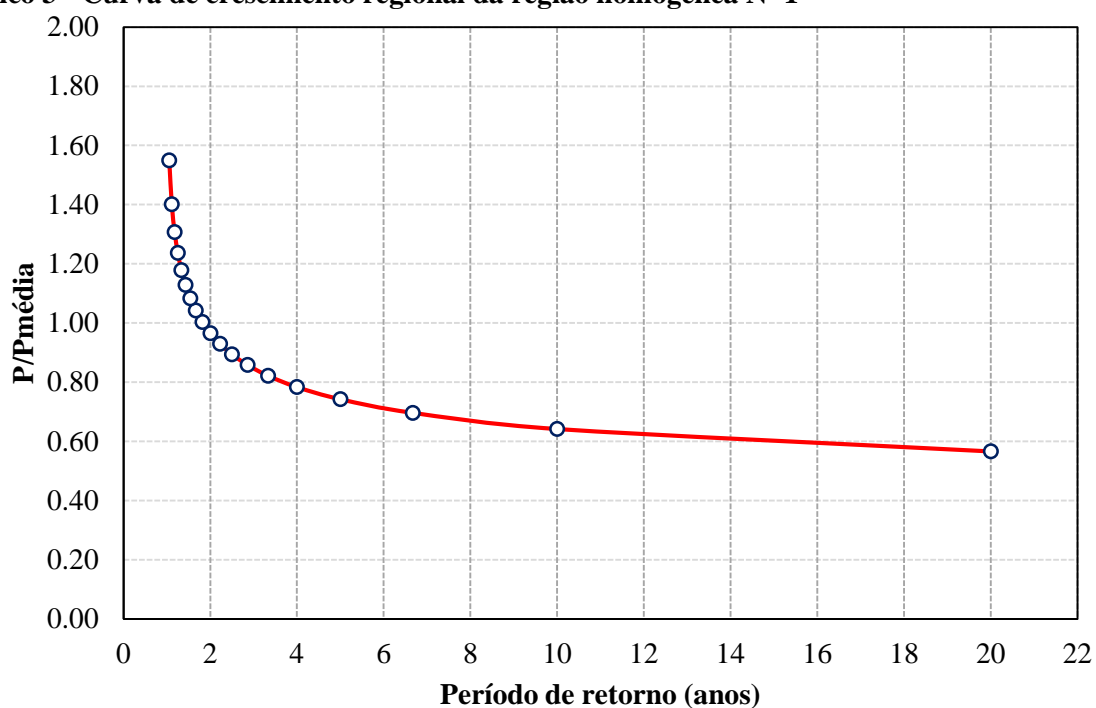
μ : parâmetro de posição; α : parâmetro de escala; k: parâmetro de forma.

Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

4.2 Curvas de Crescimento Regional nas Regiões Homogêneas Identificadas no Semiárido Brasileiro

Usou-se a FDP Pearson Tipo III (PE3) para obter as curvas de crescimento nas regiões homogêneas. Os parâmetros da FDP PE3 para cada região homogênea são os indicados na Tabela 9. As curvas de crescimento regionais encontram-se representadas nos Gráficos 3 ao Gráfico 5.

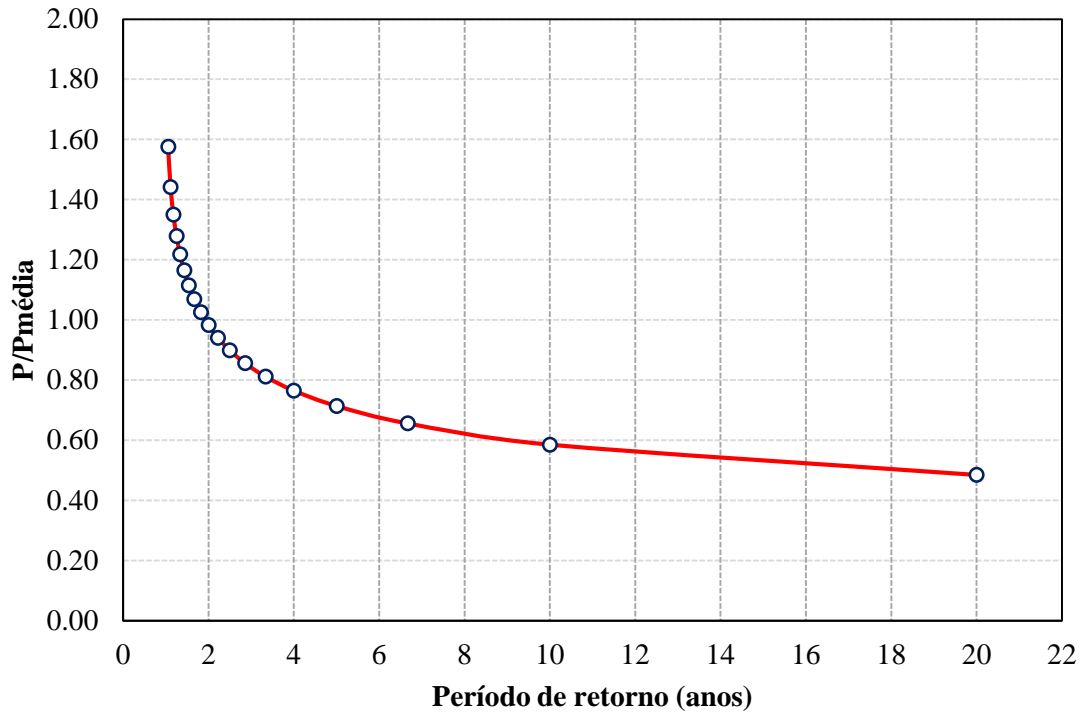
Gráfico 3 - Curva de crescimento regional da região homogênea N° 1



$P_{\text{média}} = 902,82 \text{ mm/ano}$

Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

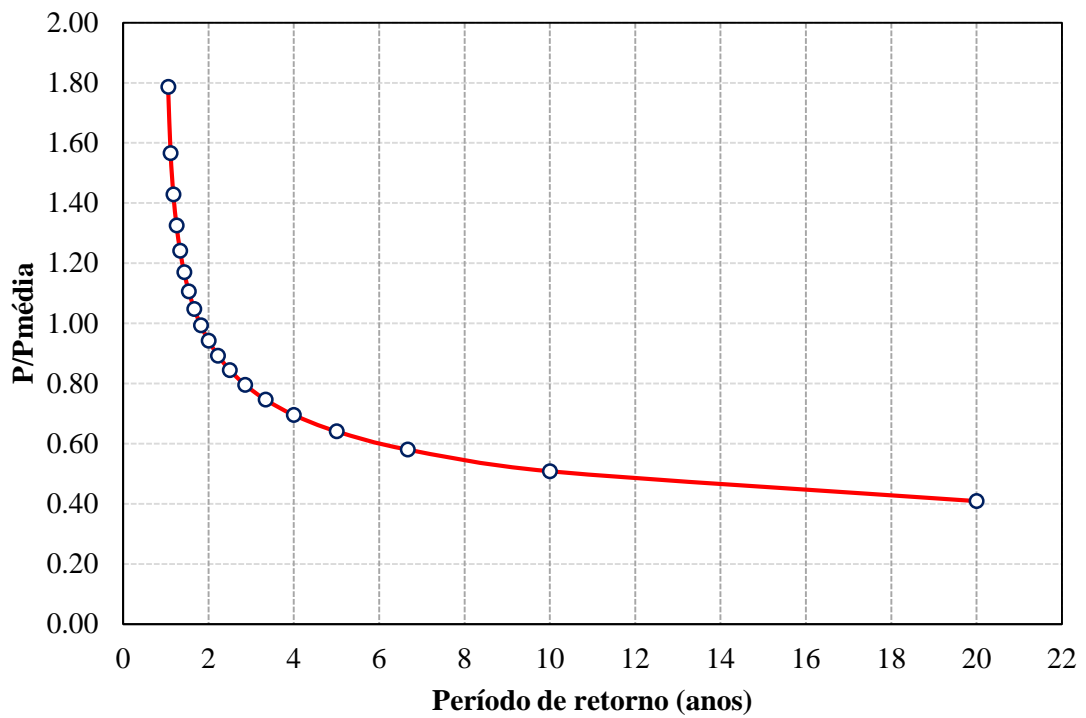
Gráfico 4 - Curva de crescimento regional da região homogênea N° 2



$P_{média} = 934,35 \text{ mm/ano}$

Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

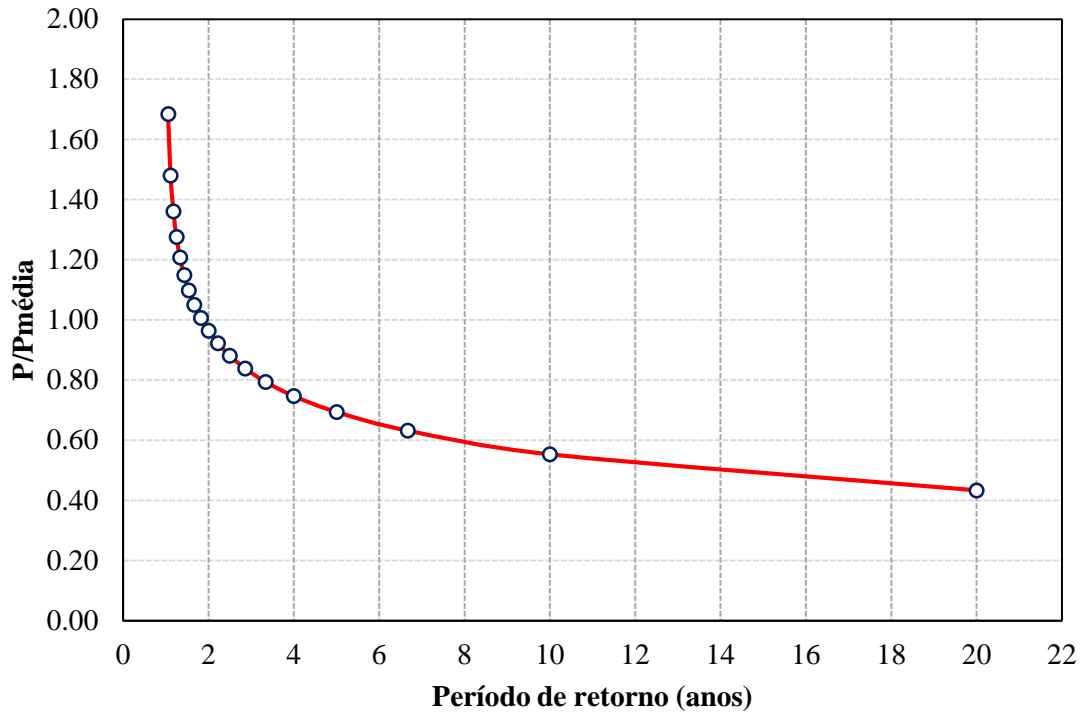
Gráfico 5 - Curva de crescimento regional da região homogênea N° 3



$P_{média} = 697,21 \text{ mm/ano}$

Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

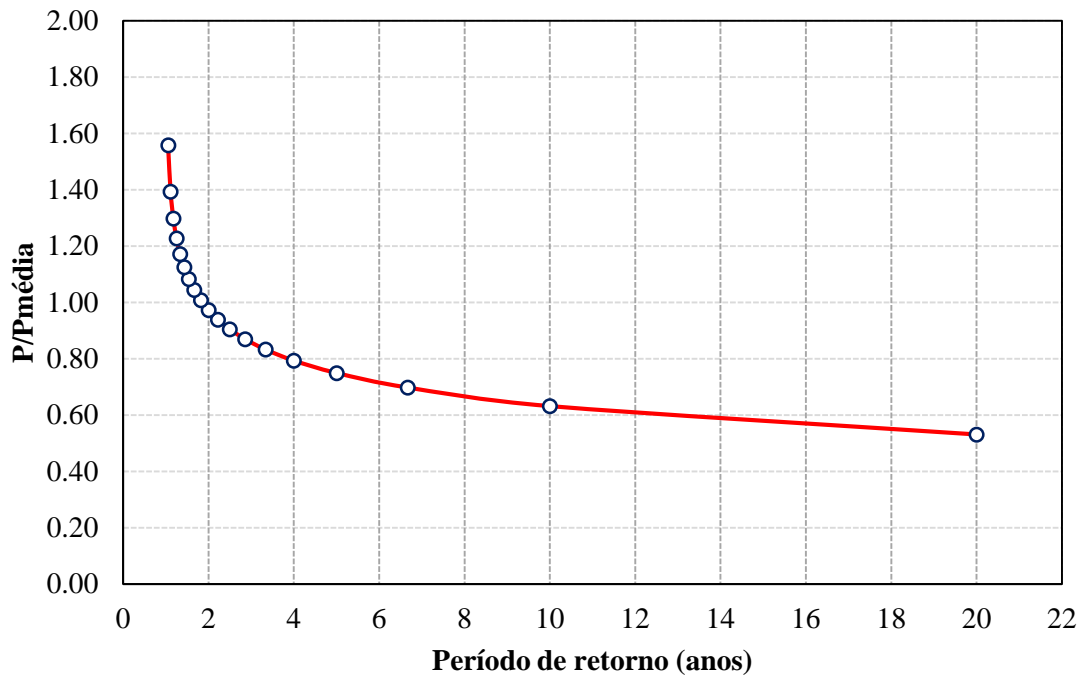
Gráfico 6 - Curva de crescimento regional da região homogênea N° 4



$P_{média} = 593,78 \text{ mm/ano}$

Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

Gráfico 7 - Curva de crescimento regional da região homogênea N° 5



$P_{média} = 742,99 \text{ mm/ano}$

Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

4.3 Descrição da Variabilidade Espacial do Período de Retorno de Três Eventos Anuais Secos do Semiárido Brasileiro

O modelo exponencial usado para relacionar os L-Momentos ratios e a Precipitação Média Anual (PMA) encontra-se na equação (46). Os seus parâmetros destacam-se na Tabela 10. Usou-se a FDP Pearson Tipo III (PE3) como modelo geral na Unidade de Estudo (UE), pois o pacote usado no script RSARFLM_Sertao para o desenvolvimento desta etapa, impossibilitava o uso da FDP Generalizada Normal, que como foi mencionado anteriormente, resultou ser a melhor função ajustada às precipitações anuais na UE.

$$L - \text{Momento ratio} = \alpha \cdot e^{-\beta \cdot PMA} + \delta \quad (46)$$

Onde: L-Momentoratio representa o L-CV, L-assimetria ou L-curtose; α , β e δ são os parâmetros de ajuste; PMA é a precipitação média anual para cada pixel em mm/ano.

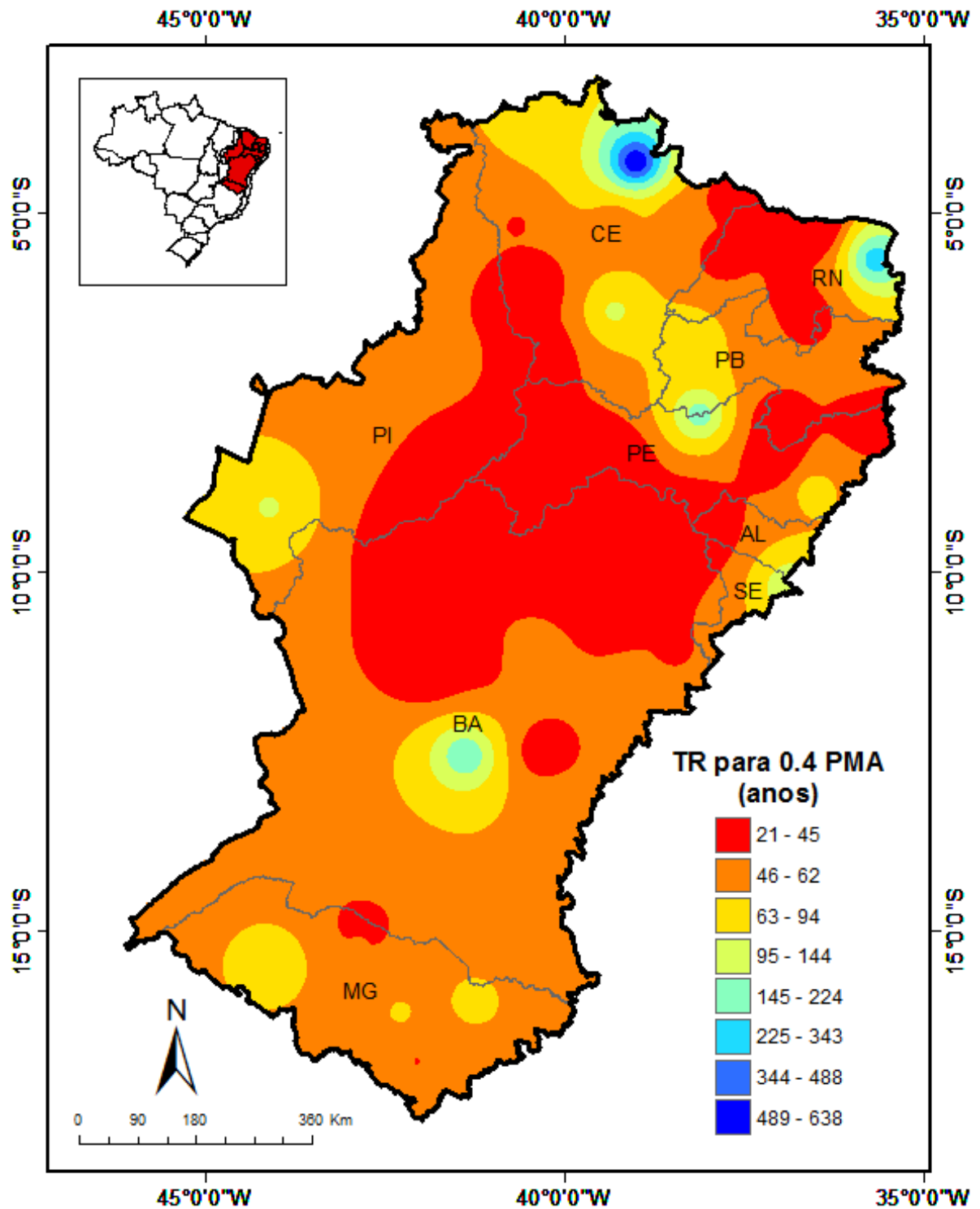
Tabela 13 - Parâmetros do modelo exponencial que relaciona os L-Momentos ratios e a precipitação média anual na unidade de estudo

L-momentoratio	Parâmetros		
	α	β	δ
L-CV	0,267	-1,17E-03	0,087
L-assimetria	0,235	-1,14E-03	7,04E-09
L-curtose	0,259	-7,46E-04	5,50E-06

Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

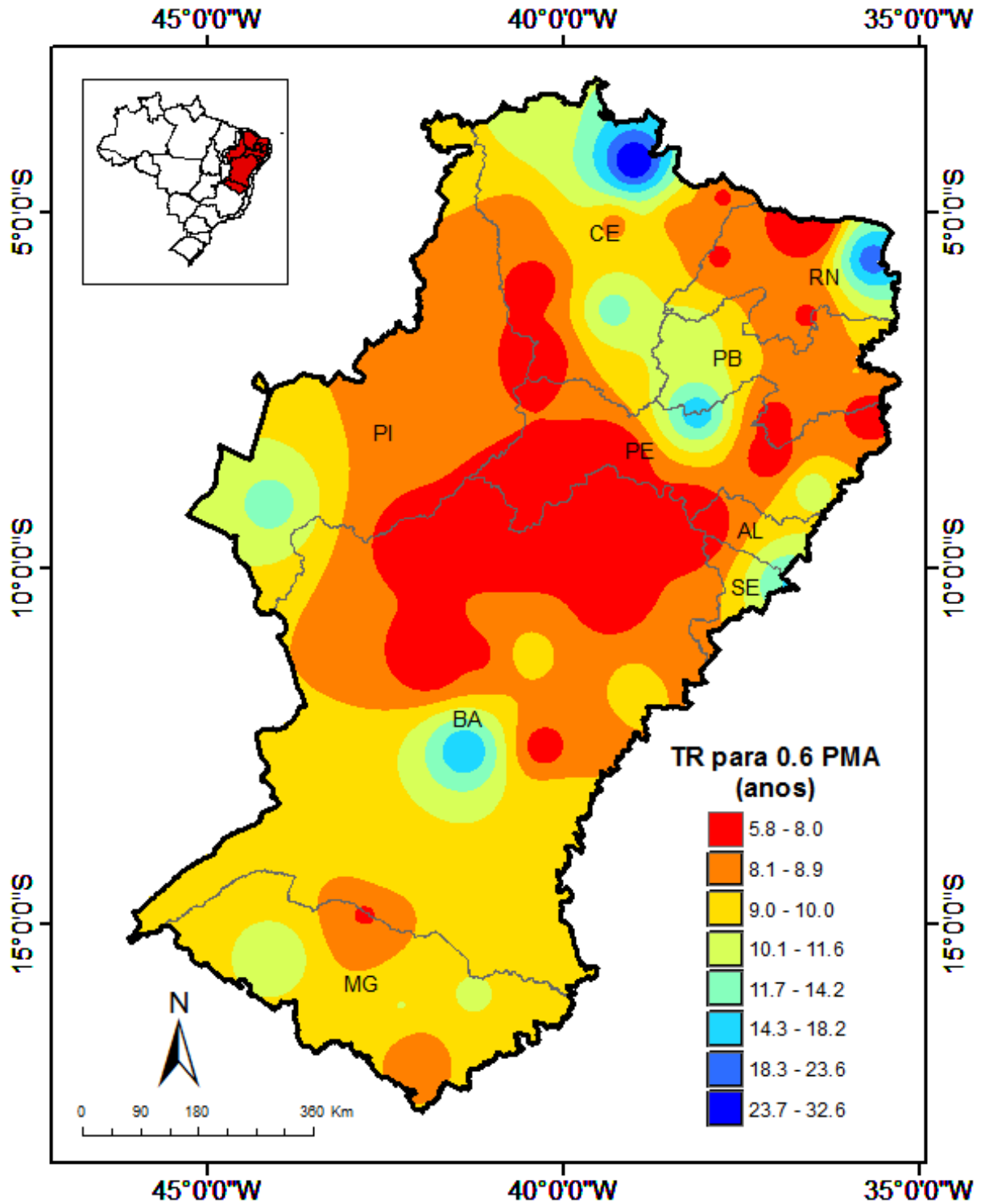
No geral, a parte norte do Estado da Bahia e sudoeste de Pernambuco, que conformam a zona central do SAB, é a região com maior probabilidade de ocorrência de anos secos na EU, além de um pequeno conglomerado ao norte do estado de Rio Grande do Norte (Figuras 5, 6 e 7). Estes resultados indicam que as secas meteorológicas não são uma questão obrigatória para todas as regiões Semiáridas, pois dentro da EU pode-se observar pequenos núcleos nos Estados da Bahia, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará, onde a possibilidade de uma seca severa, ultrapassa 100 anos de retorno, principalmente nos dados analisados na estação de Guaramiranga - CE, onde o período de retorno está acima dos 600 anos. Os núcleos com maior probabilidade de ocorrência de secas meteorológicas não estão associados à hipsometria ou com a orientação dessas regiões com ligação às grandes cadeias de montanhas, sugerindo a existência de outros fatores que incidem no padrão espacial observado (MARENGO et al., 2011; ARAÚJO, 2011; SANTOS E SILVA et al., 2012).

Figura 5 - Distribuição espacial do período de retorno de anos cuja precipitação anual corresponde a 40% da precipitação média anual da Unidade de Estudo



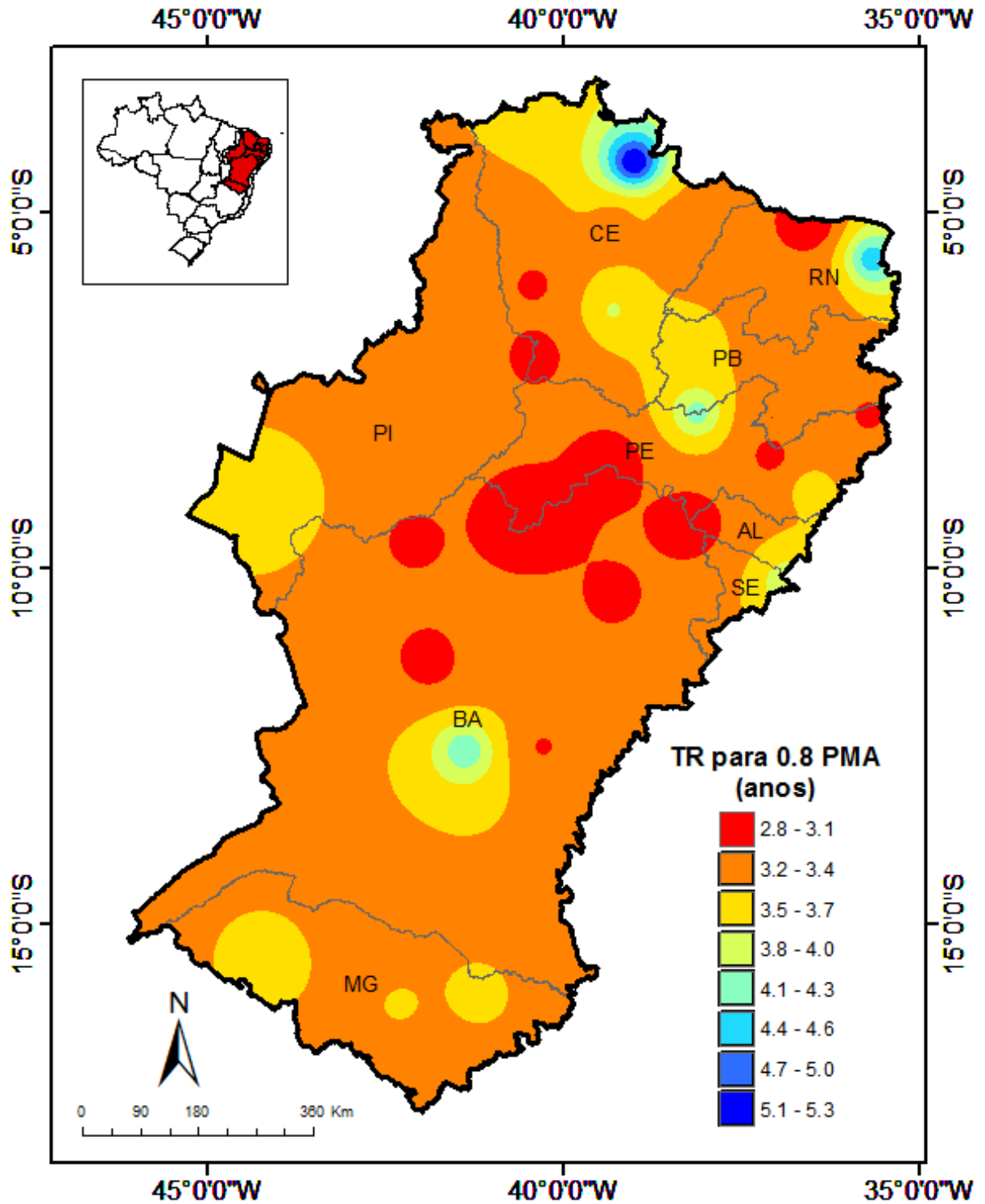
Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

Figura 6 - Distribuição espacial do período de retorno de anos cuja precipitação anual corresponde a 60% da precipitação média anual da Unidade de Estudo



Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

Figura 7 - Distribuição espacial do período de retorno de anos cuja precipitação anual corresponde a 80% da precipitação média anual da Unidade de Estudo



Fonte: Carlos Alejandro Uzcátegui Briceño

5 CONCLUSÕES

O SAB apresenta cinco regiões homogêneas quanto à distribuição da precipitação média anual, sendo a Região 4, a mais árida, situada na parte central do SAB, com um pequeno núcleo a Oeste de Rio Grande do Norte (593,78 mm/ano) e a Região 2, a mais úmida, geograficamente descontínua e com pequenos conglomerados na Unidade de Estudo (934,35 mm/ano);

A FDP que melhor se ajusta aos registros de precipitação anual nesta zona é a Generalizada Normal, seguida pela Pearson Tipo III e Generalizada de Valor Extremo;

A maior parte do SAB é suscetível às secas, recomendando-se programas com ações para mitigar as perdas econômicas e sociais, adotando uma abordagem mais proativa na gestão da seca por parte dos governos, visando minimizar os impactos no curto prazo e a vulnerabilidade em longo prazo;

O próximo desafio será aprimorar as metodologias e a definição de políticas públicas que melhor disseminem as práticas inovadoras de planejamento e gestão de secas, pelo que se recomenda atualizar este estudo com novos registros pluviométricos.

REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ, M. et al. Análisis regional de las precipitaciones máximas en Galicia mediante el método del índice de avenida. **Ingeniería del agua**, [S.l.], v. 6, n. 4, p. 379-386, dez. 1999.
- ARAÚJO, S. M. S. A Região Semiárida do Nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios Eletrônica** – Revista Científica da FASETE. Ano 5, n. 5, dez. 2011.
- ASA. Articulação Semiárido Brasileiro. **É no semiárido que a vida pulsa!** Por um semiárido rico em vida. Disponível em: <<http://www.asabrasil.org.br/semiario>>. Acesso em: 21 nov. 2016.
- CARVALHO, O. As secas e seus impactos. In: FIOREZE, A. P.; et al. (Aut.). **A questão da água no nordeste**. Brasília: CGEE, 2012. p. 45-99.
- CASADO, D. **L-Momentos**: definición, estimación y aplicaciones. Universidad Autónoma de Madrid, 2003, 20 p.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Desertificação, degradação da terra e seca no semiárido brasileiro**. Brasília, Brasil: 2016.
- CHAVOCHI, S.; SOLEIMAN, W. Delineating pooling group for flood frequency analysis using soft computing. **European Journal of Scientific Research**, v. 35, n. 2, p. 181-187, ago. 2009.
- DALRYMPLE, T. **Flood-Frequency Analyses**. Manual of Hydrology. Part 3: Flood-Flow Techniques. Washington, D.C.: U.S., 1960. Geological Survey. Water-Supply Paper 1543-A.
- DAHMEN, E.; HALL, M. **Screening of hydrological data: tests for stationarity and relative consistency**. Publication 49, ILRI. 1990
- DEMUTH, S.; KÜLLS, C. Probability aspects of analysis and regional droughts in southern Germany. Resources under Increasing Sustainability of Water Uncertainly. In: **Proceedings of Rabat Symposium SI**, abril 1997. IAHS Publ. 240, p. 97-104.
- FILHO, F. et al. Gestão e abastecimento hídrico: planos de preparação para a seca. In: NIZ, E.; ENGLE, N. L.; MAGALHÃES, A. R. (Org.). **Secas no Brasil: política e gestão proativas**. Brasília, DF: CGEE, Banco Mundial, 2016. p. 75-91.
- FOWLER, H.; KILSBY, C. A regional frequency analysis of United Kingdom extreme rainfall from 1961 to 2000. **International Journal Climatology**, n. 23, p. 1313-1334, ago. 2003.
- FRALEY, C.; RAFTERY, A. E. Model-based clustering, discriminant analysis, and density estimation. **Journal of the American Statistical Association**, v. 97, n. 458, p. 611-631, jun. 2002
- GAÁL, L.; KYSELY, J.; SZOLGAY, J. Region-of-influence approach to a frequency analysis of heavy precipitation in Slovakia. **Hydrology Earth System Science**, n. 12, p. 825-839, maio 2008.

GAÁL, L.; KYSELÝ, J. Regional frequency analysis of heavy precipitation in the Czech Republic by improved region-of-influence method. **Hydrology Earth System Science Discussion**, v. 6, n. 1, p. 273-317, 2009.

GREENWOOD, J. et al. Probability weighed moments: Definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. **Water Resources Research**, v. 15, n. 5, p. 1049-1054, out. 1979.

GUERRERO-SALAZAR, P.; YEVJEVICH, V. **Analysis of drought characteristic for theory of runs**. Hydrologic Paper N° 80. Colorado State University, 1975. 35 p.

GUTTMAN, N. The use of L-Moments in the determination of regional precipitation climates. **Journal of Climate**, v. 6, n. 12, p. 2309-2325, dez. 1993.

GUTTMAN, N.; HOSKING, J.; WALLIS, J. Regional precipitation quantile values for the continental United States computed from L-Moments. **Journal of Climate**, v. 6, n. 12, p. 2326-2340, dez. 1993.

HALLACK-ALEGRIA, M.; RAMIREZ-HERNANDEZ, J.; WATKINS, D. ENSO-conditioned rainfall drought frequency analysis in northwest Baja California, Mexico. **International Journal of Climatology**, v. 32, n. 6, p. 831-842, maio. 2012.

HALLACK-ALEGRIA, M.; WATKINS, D. Annual and warm season drought intensity-duration-frequency analysis for Sonora, Mexico. **Journal of Climate**, v. 20, n. 9, p. 1897-1909, 2007.

HELSEL, D.; HIRSCH, R. **Statistical methods in water resources**. USGS, Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation, Chapter 3., 2002. 250 p.

HOSKING, J.; WALLIS, J. Some statistics useful in regional frequency analysis. **Water Resources Research**, v. 29, n. 2, p. 271-281, fev. 1993.

HOSKING, J.; WALLIS, J. **Regional frequency analysis: an approach based on L-moments**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997, 224 p.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://ibge.gov.br>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO – INSA. **Sistema de gestão da informação e do conhecimento do Semiárido Brasileiro (SIGSAB)**. Campina Grande: INSA, 2014. Disponível em:<<http://www.insa.gov.br>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

LIN, G.; CHEN, L. Identification of homogeneous regions for regional frequency analysis using the self-organizing map. **Journal of Hydrology**, v. 324, n. 1-4, p. 1-9, jun. 2006.

MAGALHÃES, A. R. Vida e seca no Brasil. In: NIZ, E.; ENGLE, N. L.; MAGALHÃES, A. R. (Org.). **Secas no Brasil: política e gestão proativas**. Brasília: CGEE, Banco Mundial, 2016. p. 19-35.

MARENGO, J. A. et al. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, 2011, 40 p.

MEDEIROS, S. et al. **Abastecimento urbano de água: panorama para o semiárido brasileiro**. Campina Grande: INSA, 2014. Disponível em: <<http://www.insa.gov.br>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

MGS Software, LLC. **L-RAP: L-moments regional analysis program user's manual**. Reference Technic. Boston, EEUU, 2009. 82 p.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL - MI. **Nova delimitação do semiárido brasileiro**. Brasília: MI/Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional, 2005.

NORBIATO, D.; et al. Regional frequency analysis of extreme precipitation in the eastern Italian Alps and the August 29, 2003 flash flood. **Journal of Hydrology**, v. 345, n. 3-4, p. 149-166, out. 2007.

NUÑEZ, J. **Regional Frequency Analysis L-moments R Script - RSARFLM v.6.0**. Centro del Agua para Zonas Áridas e Semiáridas de América Latina e El Caribe (CAZALAC). La Serena, Chile, 2013.

NÚÑEZ, J. et al. Regional frequency analysis for mapping drought events in north-central Chile. **Journal of Hydrology**, v. 405, n. 3-4, p. 352-366, 5 de ago. de 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Convención Internacional de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África**. Documento técnico da ONU A/AC.241/15/Rev 17. Paris, 12 de set. de 1994. 125 p.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). **Vocabulário meteorológico internacional**. Publicação n. 182. Genebra, 1992. 85 p.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). **Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros**. OMM, n. 1006, 28 p., 2006.

PAREDES, F.; LA CRUZ, F.; GUEVARA, E. Análisis regional de frecuencia de las sequías meteorológicas en la principal región cerealera de Venezuela. **Bioagro**, v. 26, n.1, p. 21-28, 2014.

SANTOS E SILVA, C. M.; LUCIO, P. S.; SPYRIDES, M. H. Distribuição espacial da precipitação sobre o Rio Grande do Norte: estimativas via satélites e medidas por pluviômetros. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 337-346, set. 2012.

SCHAEFER, M. G. et al. **Regional precipitation-frequency analysis and spatial mapping for 24-hour precipitation for Oregon**. MGC Engineering Consultants, Inc and Oregon Climate Service, 2007.

SETH, S. Human impacts and management issues in arid and semi-arid regions. Chapter 8. In: SIMMERS, I. (Ed). **Understanding water in a Dry Environment**. Hydrological processes in arid and semiarid zones. International Association of Hydrogeologists. Lissier: BALKEMA, 2003. p. 289-341.

SUBRAHMANYAM, V. **Incidence and spread of continental drought**. (WMO/THD Report N° 2). Genebra: Organização Meteorológica Mundial, 1967. 52 p.

TALLAKSEN, L.; HISDAL, H. Regional analysis of extreme streamflow drought duration and deficit volume. In: GUSTARD, A. et al. (Eds.), **FRIEND'97- Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management**, Ed. IAHS Publication 246, p. 141-150, set/out. 1997.

TALLAKSEN, L.; HISDAL, H. **Methods for Regional Classification of Streamflow Drought Series: The EOF Method and L-moments**. Technical Report to the ARIDE project 2, out. 1999. Disponível em: <<http://www.hydrology.uni-freiburg.de/forsch/aride/navigation/publications/publications.htm>>. Acesso em: 18/07/16.

UNESCO. **Guía metodológica para la aplicación del análisis regional de frecuencia de secas basado em L-Momentos e resultados de aplicación em América Latina**. Documento Técnico PHI-LAC N° 27. 2010.

VALIENTE, M. O. Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. **Investigaciones geográficas**, n 26, p. 59-80, dez. 2001. Disponível em: <<http://www.investigacionesgeograficas.com/article/view/2001-n26-sequia-definiciones-tipologias-y-metodos-de-cuantificacion>>. Acesso em: 12/07/2016.

VOGEL, R.; FENNESSY, N. L-Moment diagrams should replace product moment diagrams. **Water Resources Research**, v. 29, n. 6, p. 1745-1752, jun. 1993.

WALLIS, J. R.; et al. Regional precipitation-frequency analysis and spatial mapping for 24-hour and 2-hour durations for Washington States. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 1, p. 415-442, 2007.

WILHITE, D.; BUCHANAN-SMITH, M. Drought as hazard: understanding the natural and social context. In: Wilhite D. (Ed.) **Drought and Water: Crises Science, Technology, and Management Issues**. New York: CRC Press, 2005. p. 3-29.

WILHITE, D.; GLANTZ, M. Understanding the drought phenomenon; the role of definitions. **Water International**, v. 10, n. 3, p. 111-120, 1985.

YUREKLI, K.; ANLI, A. Analyzing drought based on annual total rainfalls over Tokat province. **International Journal Natural Engineering Science**, v. 2, n. 2, p. 21-26, maio 2008.