

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**

# **METEOROLOGIA**



## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Valmir Rocha Vieira**

**Regionalização e riscos de índices de chuvas intensas  
no Nordeste do Brasil**

**Campina Grande, Setembro de 2014**



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

## **REGIONALIZAÇÃO E RISCOS DE ÍNDICES DE CHUVAS INTENSAS NO NORDESTE DO BRASIL**

VALMIR ROCHA VIEIRA

Campina Grande - PB

Setembro de 2014

VALMIR ROCHA VIERA

**REGIONALIZAÇÃO E RISCOS DE ÍNDICES DE CHUVAS INTENSAS  
NO NORDESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para a obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: **Meteorologia de Meso e Grande Escala**

Subárea: **Climatologia**

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

Campina Grande - PB

Setembro de 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

V657r      Vieira, Valmir Rocha.  
              Regionalização e riscos de índices de chuvas intensas no nordeste do  
              Brasil / Valmir Rocha Vieira. – Campina Grande, 2014.  
              118 f.: color.

              Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de  
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2014.

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

              1. Eventos Extremos.    2. Período de Retorno.    3. Risco.  
              I. Sousa, Francisco de Assis Salviano de. II. Título.

CDU 551.5(043)

VALMIR ROCHA VIEIRA

REGIONALIZAÇÃO E RISCOS DE ÍNDICES DE CHUVAS INTENSAS NO  
NORDESTE DO BRASIL

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/09/2014

BANCA EXAMINADORA

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

  
Profa. Dra. CELIA CAMPOS BRAGA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. GUSTAVO HENRIQUE ESTEVES  
Departamento de Estatística  
Universidade Estadual da Paraíba

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a DEUS, o motivo maior da minha existência, sem ele minha vida não teria nenhum sentido.

A minha mãe Marlene do Socorro Rocha, exemplo de força e dedicação, base da minha educação, que semeou e cuidou com atenção e carinho do meu crescimento pessoal e profissional.

Aos mestres que souberam ensinar e guiar a direção correta para que esse crescimento seja possível. Àqueles que nos inspiram e fazem sempre querer continuar e melhorar.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela sua grandeza e por iluminar meus caminhos e me sustentar nos momentos difíceis permitindo que eu concluísse esse trabalho.

Ao Professor Doutor Francisco de Assis Salviano de Sousa, meu orientador, pela paciência e dedicação que teve comigo durante a elaboração desse trabalho.

Aos Professores Doutores Gustavo Henrique Esteves e Célia Campos Braga que aceitaram participar da Banca Examinadora e contribuíram de forma valorosa para a conclusão desta pesquisa.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

A todos os meus colegas de turma.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior), pelos recursos financeiros concedidos durante todo o curso.

À Divanete Rocha da Cruz, secretária da Coordenação de Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFCG, pela competência e profissionalismo.

A todos aqueles que direta ou indiretamente cooperaram para o fecho desta pesquisa, minha profunda gratidão.

A todos, o meu muito obrigado!

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	14
<b>2. OBJETIVOS</b>	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	17
3.1 PRINCIPAIS SISTEMAS ATUANTES NO NEB	19
3.1.1 SISTEMAS FRONTAIS	19
3.1.2 ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL	20
3.1.3 VÓRTICES CICLÔNICOS	21
3.1.4 DISTÚRBIOS DE LESTE	22
3.2 CHUVAS INTENSAS	23
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b>	25
4.1 ÁREA DE ESTUDO	25
4.2 DADOS	28
4.3 METODOLOGIA	29
4.3.1 MÉTODOS ESTATÍSTICOS	29
4.3.2 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO	29
4.3.3 DISTÂNCIA EUCLIDIANA	30
4.3.4 DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL	34

4.3.5 RISCO CLIMÁTICO	36
4.3.6 TESTE DE MANN-KENDALL (TMK)	36
4.3.7 TESTE T	38
4.3.8 ANÁLISE DA VARIÂNCIA (ANOVA)	41
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>44</b>
5.1 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO	44
5.2 ANÁLISES DO TESTE T	51
5.3 ANÁLISES DAS TENDÊNCIAS DOS ÍNDICES CLIMÁTICOS	56
5.4 RISCOS NA REGIÃO NORDESTE	59
<b>6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES</b>	<b>62</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>64</b>
<b>8. APÊNDICE A</b>	<b>72</b>
8.1 APÊNDICE B	76

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do Nordeste, (Fonte: elaborado com base em mapa do IBGE). <a href="http://www.geoconceicao.blogspot.com.br/2010/07/regiao-nordeste.html">http://www.geoconceicao.blogspot.com.br/2010/07/regiao-nordeste.html</a>	27
Figura 2. Localização das sub-regiões do Nordeste do Brasil, (Fonte: IBGE, 2002).	27
Figura 3. Distribuição espacial dos postos pluviométricos na região Nordeste do Brasil.	28
Figura 4 – Teste de normalidade.	42
Figura 5. Regiões homogêneas em relação à variabilidade espacial da precipitação. Com dois grupos.	44
Figura 6. Regiões homogêneas em relação à variabilidade espacial da precipitação. Com três grupos.	44
Figura 7. Porcentagem dos riscos de chuvas máximas diárias para a cidade de Salvador - BA.	60
Figura 8. Porcentagem dos riscos de chuvas máximas diárias para a cidade de Recife - PB.	60
Figura 9. Porcentagem dos riscos de chuvas máximas diárias para a cidade de Fortaleza - CE.	61
Figura 10. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Alagoas.	76
Figura 11. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Alagoas.	77
Figura 12. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Alagoas.	78
Figura 13. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Sergipe.	79
Figura 14. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Sergipe.	80
Figura 15. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Paraíba.	81
Figura 16. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Paraíba.	82
Figura 17. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Paraíba e Mossoró no Rio Grande do Norte.	83
Figura 18. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Rio Grande do Norte.	84
Figura 19. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Rio Grande do Norte e Piri-piri no Estado do Piauí.	85
Figura 20. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Piauí.	86
Figura 21. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Piauí, Zé Doca e São Luis no Estado do Maranhão.	87
Figura 22. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Maranhão.	88
Figura 23. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Maranhão.	89
Figura 24. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.	90
Figura 25. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.	91
Figura 26. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.	92
Figura 27. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.	93
Figura 28. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.	94

Figura 29. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.	95
Figura 30. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.	96
Figura 31. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.	97
Figura 32. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.	98
Figura 33. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.	99
Figura 34. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.	100
Figura 35. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.	101
Figura 36. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.	102
Figura 37. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.	103
Figura 38. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.	104
Figura 39. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.	105
Figura 40. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.	106
Figura 41. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.	107
Figura 42. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.	108
Figura 43. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.	109
Figura 44. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.	110
Figura 45. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.	111
Figura 46. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia e Araripina no Estado de Pernambuco.	112
Figura 47. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.	113
Figura 48. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.	114
Figura 49. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.	115
Figura 50. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.	116
Figura 51. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.	117
Figura 52. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.	118
Figura 53. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.	119
Figura 54. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.	120

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação dos 133 postos de coleta de dados de precipitação no NEB.	72
Tabela 2 – ANOVA para $m$ grupos distintos, cada um com $n$ elementos.	43
Tabela 3 - Precipitação máxima para o período de retorno de 100 nas regiões homogêneas.	46
Tabela 4. Períodos de retorno dos municípios da região RH1 para chuvas máximas (mm).	47
Tabela 5. Períodos de retorno dos municípios da região RH2 para chuvas máximas (mm).	49
Tabela 6. Períodos de retorno dos municípios da região RH2 para chuvas máximas (mm).	50
Tabela 7. Estatísticas do Teste T para $\alpha$ e $\beta$ da região RH1.	51
Tabela 8. Estatísticas do Teste T para $\alpha$ e $\beta$ da região RH2.	53
Tabela 9. Estatísticas do Teste T para $\alpha$ e $\beta$ da região RH3.	54
Tabela 10. Teste T para amostras independentes em Palmeira dos Índios - AL	55
Tabela 11. Teste T para amostras independentes em Itabaiana - SE	55
Tabela 12. Estatísticas do teste de Mann-Kendall no período de 1910 – 2012.	56

## RESUMO

Os desastres naturais mais comuns no Nordeste do Brasil são as secas, os deslizamentos, os desabamentos e as inundações. Os três últimos são consequências em parte dos eventos extremos de chuvas. Os deslizamentos quando ocorrem em áreas urbanas no período das chuvas causam danos materiais e mortes. Não por acaso, são consequências também da ineficiência do sistema de drenagem e da remoção indiscriminada da cobertura vegetal. Essas ações combinadas com as chuvas aumentam a saturação de água no solo, reduz sua resistência e provoca sua ruptura. Os desmoronamentos são devidos ao mau uso do solo, má distribuição de renda, falta de moradia digna e má qualidade da educação pública. As inundações são geralmente acumulações de lâminas de água que podem invadir o interior das edificações e causar transtornos para a mobilidade urbana de pedestres e veículos. Esses eventos dependem de medidas estruturais e de medidas não estruturais. O objetivo desta pesquisa, realizada na região Nordeste do Brasil, foi o de identificar a variabilidade espaço-temporal das chuvas intensas e determinar o risco de suas ocorrências acima do limiar de 30 mm/dia. Foram utilizados dados de precipitação máxima diária de 133 postos pluviométricos, relativamente bem distribuídos na região de estudo. A partir deles, foi obtida a climatologia média diária para toda região, a tendência de longo prazo para os valores extremos de precipitação pelo teste de Mann-Kendall e os percentuais da chuva intensa em relação à média climatológica. Foi aplicada a Análise de Agrupamento aos dados diários de precipitação, e identificou três sub-regiões homogêneas com base nos totais médios diários de precipitação. A função distribuição de probabilidade de Gumbel foi ajustada às chuvas intensas. Esse ajuste possibilitou as estimativas dos riscos para uma específica magnitude de chuva. Os resultados com base nos períodos de retorno de 50 e 100 anos mostrou que a região RH2 apresentou os períodos de retornos de chuvas mais elevados, representado pela cidade de Igarassu - PE. A cidade de Itabaiana - SE, na região RH1, foi o município onde se registrou o menor período de chuva no estudo.

**Palavras-chave:** Eventos extremos, período de retorno, risco.

## ***ABSTRACT***

The most common natural disasters in northeastern Brazil are the droughts, landslides and floods. The last three are partly consequences of extreme rainfall events. When landslides occur in urban areas during the rainy season cause material damage and deaths. Not coincidentally, are also consequences of the inefficiency of the drainage system and the indiscriminate removal of vegetation cover. These actions combined with the rains increase the water saturation in the soil, reducing their resistance and causes rupture. Landslides are due to misuse of land, poor income distribution, lack of decent housing and poor quality of public education. Floods are usually accumulations of water slides that can invade the interior of the buildings and cause inconvenience to urban mobility of pedestrians and vehicles. These events depend on structural and non-structural measures. This research, conducted in northeastern Brazil, was to identify the spatio-temporal variability of heavy rainfall and determine the risk of their occurrence above the threshold of 30 mm a day, based on data of daily maximum rainfall of 133 rain gauges, relatively well distributed in the study region. From them, the daily average weather for the entire region was obtained, the long-term trend for extreme precipitation values for the Mann-Kendall test and the percentage of heavy rainfall in relation to the climatological average. The Cluster Analysis was applied to daily precipitation data, and identified three homogeneous sub-regions based on total daily average precipitation. The Gumbel probability distribution function was set to intensity rains. This adjustment estimates of risk for a specific magnitude of rain. The results based on return periods of 50 years and 100 showed that RH2 region had periods of higher rainfall returns, represented by the city of Igarassu - PE. The city of Itabaiana - SE, in RH1 region, was the city where he registered the lowest rainfall on the study.

**Keywords:** Extreme events, return period, risk.

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o número de registros de desastres naturais vem aumentando consideravelmente em todo o planeta. Isto se deve, em parte, ao aumento populacional, ao uso e ocupação desordenada do solo e ao intenso processo de industrialização. Os fatores desencadeadores de desastres nas áreas urbanas são: impermeabilização do solo, adensamento das edificações, ilha de calor e a poluição do ar. Já nas áreas rurais se destacam a compactação do solo, o assoreamento dos rios, o desmatamento e as queimadas. Adicionalmente, a falta de planejamento urbano e de modo geral o mau gerenciamento das bacias hidrográficas vem intensificando esses desastres. O Ministério das Cidades/IPT (2007) destaca que alguns processos de alagamentos e enxurradas, muito comuns nas cidades brasileiras, ocorrem principalmente devido as deficiências do sistema de drenagem urbana.

Evitar que desastres naturais ocorram foge da capacidade humana. Entretanto, por meio da prevenção, podem-se desenvolver medidas que minimizem os impactos causados pelos desastres. Há dois tipos de medidas preventivas básicas (Kobiyama et al., 2006): as estruturais e as não estruturais. As medidas estruturais envolvem obras de engenharia complexas e de alto custo como barragens, diques, alargamento de rios, reflorestamento, etc. As medidas não estruturais envolvem modelagem, previsão e ações de planejamento e gerenciamento, como sistemas de alerta e zoneamento ambiental.

A chuva extrema ou precipitação máxima diária é caracterizada como um evento que apresenta intensidade, duração e distribuição espaço-temporal críticas em dado local (município, cidade). O estudo da frequência de ocorrência de eventos extremos é fundamental para a compreensão de seus efeitos na superfície da bacia hidrográfica rural e/ou urbana. Além disso, os projetos de obras hidráulicas no âmbito da bacia dependem diretamente desse estudo.

Analisando os dados de desastres naturais no Brasil no período de 1948 a 2004, disponíveis em “EM-DAT International Disaster Database”, Kobiyama et al. (2006) demonstraram que os desastres naturais que causaram maiores perdas humanas foram as inundações. Apesar de inevitáveis, é possível reduzir os danos e prejuízos causados pelas inundações. A frequência das inundações nos centros urbanos é função também das relações políticas, econômicas e culturais da população. A parcela mais pobre da população é forçada a ocupar as planícies de inundação.

O estudo dos desastres naturais causados por eventos extremos de precipitação é um tema bastante atual no mundo, principalmente nos países em desenvolvimento. Fowler & Kilsby (2003) encontraram níveis decadais e mudanças temporais de eventos extremos de chuva de longa duração com período de retorno de 1, 2, 5 e 10 dias em vários locais na Grã-Bretanha por meio de análise de frequência regional baseada nos L-momento. Diferentes eventos extremos de precipitação foram explicadas com base em 90, 95 e percentis 99 (Karl & Knight, 1998, Sen Roy & Balling, 2004 e Wan Zin et al., 2010). Khan et al. (2007) investigaram a variabilidade temporal das precipitações extremas diárias e semanais na América do Sul e encontraram fortes inclinações nas linhas de tendências de longo prazo. Weggel (2011) analisou diferentes níveis de período de retorno das cheias históricas no rio Delaware usando 15, 25, e 50 anos de registros longos para determinar se as cheias dos últimos anos eram piores do que as anteriores. A variação das chuvas extremas na Índia têm sido estudadas por muitos pesquisadores (Rajeevan et al., 2008, Ghosh et al., 2011 e Patra et al., 2012). Recentemente, Jena et al. (2014) concluíram que as recentes e crescentes incidências de inundação na bacia do rio Mahanadi, leste da Índia, se deve ao aumento de chuvas extremas no curso médio do rio e essas chuvas são provocadas por mudanças climáticas. Por sua vez, Ahammed et al. (2014) realizaram um estudo das chuvas máximas diárias de Dhaka, capital de Bangladesh, no período de 1953 a 2009. Os autores aplicaram a função de distribuição Gumbel para estimar os períodos de retorno de eventos extremos de chuva e descobriram que a precipitação máxima diária e anual igual ou superior a 425 mm tem um período de retorno de 100 anos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem o objetivo de estudar a distribuição espaço-temporal das chuvas intensas e avaliar os riscos de eventos de chuvas extremas na região Nordeste do Brasil.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- i) Analisar a consistência e atualizar as séries dos totais diários de precipitação de 1910 até 2012;
- ii) Obter as amostras dos valores máximos diários de precipitação;
- iii) Avaliar o impacto potencial de possíveis tendências nas séries de picos de chuvas e identificar os mecanismos, espaço-temporal, associados em toda região Nordeste do Brasil;
- iv) Verificar a tendência temporal e persistência de longo prazo da precipitação máxima diária usando o teste de Mann-Kendall;
- v) Agrupar eventos de chuvas intensas, estimar seus riscos e períodos de retorno;
- vi) Avaliar os riscos de eventos de chuvas extremas nas três mais populosas capitais do Nordeste Brasileiro (NEB), Salvador-BA, Recife-PE e Fortaleza-CE.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo a avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), o clima global está se tornando mais extremo ou variável. Karl et al., 1995 e Nicholls 1995 consideram que as informações, pesquisas e análises ainda são inadequadas para suportar tal afirmação e discutem algumas das razões para isso. Estudos melhorados com base em metodologias para análises de tendências climáticas extremas, com dados consistentes, são necessárias afim de que se possa determinar e afirmar com segurança que os eventos climáticos extremos estão de fato variando.

Geralmente, as análises de tendências de extremos de precipitação se baseiam em mudanças de percentis superiores e nas mudanças de frequências de eventos extremos, sempre utilizando limiares arbitrários. (Hennessy et al., 1999) analisaram dados de precipitação diária no período 1910 a 1995 em base regional e sazonal e encontraram algumas mudanças significativas em percentis e frequências de eventos extremos, mas com a magnitude e o sinal dessas mudanças variando com a época e a região. Da mesma forma (Plummer et al., 1999) encontraram tendências em percentis que dependiam da época do ano e da região.

Karl et al. (1995) detectaram tendências no clima do meio-oeste dos EUA. Em seus estudos encontraram um aumento constante na porcentagem anual de precipitação, derivada de eventos extremos superiores a 50,8 milímetros/ano. Segundo eles o fenômeno contribui com mudanças no padrão de chuvas na primavera e no verão. Já Karl e Knight (1998) verificaram aumentos na intensidade e na frequência de eventos extremos sobre os EUA usando limiares baseados em percentis médios de longo prazo.

Devido as suas consequências catastróficas, a conscientização pública de eventos extremos hidrometeorológicos como inundações, secas e tempestades aumentou significativamente. Além disso, nas últimas décadas, os eventos extremos parecem estar ocorrendo com mais frequência em todo o mundo (Beniston e Stephenson, 2004; Christensen e Christensen, 2004; Zolina et al., 2010). Devido os seus impactos ambientais e por ser um fator importante para desenvolvimento sócio-econômico, os estudos de eventos extremos climáticos tem despertado crescente interesse (Zhang et al., 2011).

Acredita-se que o aumento da temperatura está relacionado ao aumento recente das precipitações intensas devido ao aumento do vapor d'água atmosférico do ar (Christensen e Christensen, 2004; Zhang et al., 2011). Danos crescentes devido a catástrofes naturais tendem

a apoiar a ideia de que os eventos extremos, como precipitação torrencial associada aos efeitos das mudanças climáticas estão ocorrendo com maior frequência (Bocheva et al., 2009).

Muitos estudos analisaram a variabilidade da precipitação e sua tendência global e apresentaram evidências das tendências ascendentes ou descendentes de chuvas intensas em diversas áreas do planeta (Karl e Knight, 1998; Brunetti et al., 2001; Young e McEnroe, 2006). Por exemplo, Groisman et al., (2005) relataram aumento de 50% na frequência de dias com precipitação superior a 101,6 mm na parte norte do meio-oeste dos Estados Unidos durante o século 20. Enquanto, Brunetti et al., (2001) encontraram uma tendência significativa na intensidade de precipitação durante os últimos anos no norte da Itália. Fowler e Kilsby (2003) afirmam que a magnitude da precipitação extrema duplicou em algumas regiões do Reino Unido, de 1960 até os dias atuais.

Para melhor avaliar as projeções futuras do clima, uma importante linha de pesquisa baseia-se em estatísticas de valores extremos de precipitação. Estudos nessa linha foram publicados recentemente por (Frich et al., 2002; Groisman et al., 2005 e Alexander et al., 2006). Esses estudos, que normalmente buscam detectar tendências diárias de precipitação, encontraram aumentos de eventos extremos em várias localidades do mundo, incluindo locais, onde a precipitação média anual está diminuindo. No entanto, ainda há incertezas significativas associadas à quantificação de tendências de longo prazo das precipitações diárias (O' Gorman e Schneider, 2009).

A região Nordeste do Brasil é caracterizada pela seca, provocada por diversos fatores, dentre eles, a localização geográfica. A região está localizada na zona intertropical da Terra, portanto, por causa da quantidade de luz que incide na superfície local, a temperatura é muito elevada durante o ano todo. Nessa região as chuvas não são bem distribuídas no decorrer do ano, apresentando grande variabilidade climática. São identificados três tipos de climas no âmbito da região Nordeste: tropical, semiárido e equatorial úmido. O clima tropical ocorre principalmente no sul da Bahia, centro do Maranhão e no litoral de todos os Estados da região. Esse tipo de clima apresenta duas estações bem definidas, sendo uma seca e outra chuvosa. O clima semiárido abrange especialmente a região central do Nordeste, onde as temperaturas são elevadas durante o ano todo, as chuvas são irregulares e há ocorrência de prolongada estiagem. Por último, o clima equatorial úmido é identificado em uma restrita área da região, localizada a oeste do Maranhão, que sofre influência do clima equatorial, com temperaturas elevadas e chuvas abundantes.

Os principais mecanismos de produção de chuva no norte do Nordeste (NNE) são: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a convergência de umidade, a convecção local e, muito raramente, a influência direta das frentes frias. No NNE, que abrange o Ceará e partes do Rio Grande do Norte, Piauí, Maranhão, oeste da Paraíba e Pernambuco, março é o mês em que ocorrem chuvas máximas (Uvo, 1989).

O sul do Nordeste (SNE) é composto por quase todo o estado da Bahia, as partes sul do Maranhão e Piauí e extremo sudoeste de Pernambuco. O seu período mais chuvoso é compreendido entre os meses novembro a fevereiro; com o pico de chuva em dezembro e entre os meses de dezembro a março, com o pico em março. Nessa área o principal mecanismo de precipitação é a estacionaridade dos sistemas frontais alimentados pela umidade proveniente do Atlântico Sul, que definem a ZCAS, sistemas pré-frontais, convecção local e brisas marítima e terrestre no litoral (Kousky, 1979).

O leste do Nordeste (LNE), até 120 km do litoral, se estende do Rio Grande do Norte ao sul da Bahia, também conhecida como Zona da Mata, apresenta clima quente e úmido. O período mais chuvoso vai de abril a julho, com o pico de chuvas em maio (Kousky, 1979). Os valores máximos de chuvas estão relacionados com a maior atividade de circulação de brisa marítima que advecta bandas de nebulosidade para o continente e à ação das frentes frias, ou seus remanescentes, que se propagam ao longo da costa. Sugeriu, ainda, que esse máximo de chuvas estaria possivelmente associado à máxima convergência dos alísios com a brisa terrestre, a qual deve ser mais forte durante as estações de outono e inverno quando o contraste de temperatura entre a terra e o mar é maior (Kousky, 1979; Molion e Bernardo, 2002).

Dentre os principais sistemas atuantes no Nordeste encontram-se os sistemas frontais (Kousky, 1979), a zona de convergência intertropical (Uvo, 1989), os vórtices ciclônicos (Kousky e Gan, 1981) e os distúrbios de leste (Espinoza, 1996).

### **3.1 PRINCIPAIS SISTEMAS ATUANTES NO NEB**

#### **3.1.1 SISTEMAS FRONTAIS**

É um importante sistema produtor de precipitação, atuando basicamente na região sul do NEB. Atua nos meses de novembro a fevereiro e tem o seu máximo de precipitação em novembro e janeiro, atuando principalmente na parte sul da Bahia, decrescendo para o norte.

A penetração de frentes frias no NEB constitui o segundo principal mecanismo da produção de chuvas, bem como no sul e sudeste do Brasil, Minas Gerais e sul da Bahia. Esse mecanismo foi documentado por Kousky (1979). A frequência desses sistemas é de aproximadamente um a cada cinco dias no Sul e Sudeste do Brasil. Mas, somente alguns desses sistemas ou parte deles penetram mais ao norte. Dessa maneira, são poucos os Sistemas Frontais que influenciam a produção das chuvas na parte central, norte e leste da região do NEB, durante todo o ano, porque eles não possuem o gradiente térmico característico da região Sul e Sudeste do Brasil.

Kousky (1979) observou que o maior número de passagens de sistemas frontais pelo Sul da Bahia corresponde a uma maior precipitação nas áreas Sul e Oeste do NEB. Chu (1983) notou que o pico da estação chuvosa no Sul do NEB é em dezembro e está associado com a penetração de sistemas frontais.

### **3.1.2 ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL (ZCIT)**

É formada pela junção dos ventos alísios de nordeste e os ventos alísios de sudeste, resultando em movimento ascendente do ar com alto teor de vapor d'água. Ao subir, o ar se resfria, dando origem às nuvens. É considerado o principal sistema produtor de chuva no norte do NEB, atuando de fevereiro a maio. É um fenômeno tipicamente climático que acompanha o deslocamento aparente do sol com um atraso de aproximadamente dois meses, em média. Sua posição mais ao sul é de 2° sul, podendo atingir até 5° sul de latitude eventualmente (Chung, 1982; Hastenrath, 1984).

A Zona de Convergência Intertropical é um dos principais sistemas a influenciar a área mais ao norte do NEB, principalmente o estado do Ceará, oeste do Rio Grande do Norte e interior da Paraíba e Pernambuco. Atuando nos meses de fevereiro a maio.

Chung (1982) e Hastenrath (1984) sugeriram que o aumento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Atlântico Sul e o enfraquecimento dos alísios de sudeste permitem o deslocamento mais para sul da ZCIT, causando chuvas mais intensas no Norte do NEB. Segundo Aceituno (1989) durante episódios de El Niño há o deslocamento da ZCIT para o norte, por causa do enfraquecimento da Alta Subtropical do Atlântico Norte.

### 3.1.3 VÓRTICES CICLÔNICOS

São sistemas que atuam nos meses de novembro a fevereiro, ocorrem de forma muito irregular em termos de seu posicionamento, produzem tanto chuvas intensas como estiagem. As chuvas ocorrem nas bandas de nebulosidade que residem na sua periferia, enquanto que no centro, o movimento subsidente inibe a formação de nuvens, podendo atuar durante meses. Seu aparecimento está relacionado com a circulação geral da atmosfera, com a Alta da Bolívia (AB), com a posição da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a penetração de Frentes Frias do sul.

Inicialmente, os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) foram estudados no Hemisfério Norte (HN), chamados de “bacia fria”, por causa da sua temperatura fria em seu interior e um pouco mais quente em sua periferia; sua duração pode variar de algumas horas a algumas semanas (Palmer, 1951).

Um dos primeiros estudos abordando os VCAS na América do Sul (AS) foi feito por Aragão (1975), que observou uma circulação ciclônica fria próxima à costa leste do Nordeste do Brasil.

Vários estudos têm mostrado que a formação dos VCAS ocorre devido à intensificação da Alta da Bolívia (AB), associada à precipitação de sistemas frontais vindos das altas latitudes (Kousky e Gan, 1981; Rao e Bonatti, 1987) e como provável mecanismo dissipador, o aquecimento do continente sobre a área de atuação dos VCAS.

Kousky e Gan (1981) também observaram maior atuação dos VCAS nos meses de verão, por causa do padrão do escoamento nesta estação estar predominantemente associado a uma fonte de aquecimento no continente, mais precisamente na região amazônica. Já no caso dos meses de inverno não foi observado, pois a circulação em altos níveis torna-se um padrão zonal, por causa da falta da fonte de aquecimento. Eles notaram a existência de uma nebulosidade em forma de S associada à circulação em altos níveis sobre o Nordeste do Brasil e Ramirez (1996) explicou que o deslocamento dos VCAS pode ser regular e irregular, regular no sentido leste-oeste e irregular no caso contrário.

Para a sua manutenção, os VCAS, de acordo com Kousky e Gan (1981), transformam energia potencial em energia cinética, através do movimento descendente no centro frio e ascendente na sua periferia.

De acordo com o mecanismo de formação os VCAS, podem ser de quatro tipos: a formação clássica, que foi sugerida por Kousky e Gan (1981), a formação alta, gerada pela

intensificação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), causando a formação da Alta da Bolívia (AB), a formação África I, gerada pela intensificação da convecção na África e a formação África II e em certos casos encontra-se um mecanismo de formação atuando logo após o outro.

### **3.1.4 DISTÚRBIOS DE LESTE**

São sistemas que atuam desde o norte do Rio Grande do Norte até a Bahia, no período de maio a agosto. Seu deslocamento se dá de leste para oeste até atingir o continente adentro. São comuns na maioria dos anos, só que sua intensidade depende da temperatura da superfície do Mar (TSM), do cisalhamento do vento e dos efeitos da orografia e da circulação de brisa marítima e terrestre, de forma que intensificam ou dissipam esse tipo de sistema. Um dos primeiros autores a diagnosticar o distúrbio de leste foi Visher (1925).

A atuação dos distúrbios de leste tem duas regiões distintas no oceano Atlântico, uma no Atlântico Norte (ATN) e outro no Atlântico Sul (ATS). Apesar de centrados em latitudes distintas, os distúrbios ocorrem com maior amplitude na mesma época do ano nessas duas regiões, ou seja, em maio, junho, julho e agosto.

Segundo Ratisbona (1976) os distúrbios de leste têm o seu máximo em junho, atuando sobre o litoral leste do NEB, que vai do Rio Grande do Norte até o estado da Bahia. Essas massas de ar atuantes são instáveis, profundas e úmidas, por causa da atuação dos ventos alísios de sudeste.

Yamazaki e Rao (1977) utilizando imagens de satélites para o período de junho a agosto de 1967 observaram aglomerados de nuvens deslocando-se de leste para oeste sobre o ATS. A partir da observação de cerca de 20 linhas de aglomerados ocorridas nos três meses de análise, eles verificaram que elas apresentam, em média, velocidade de propagação de 10 m/s e comprimento de onda de 4000 km.

Mota (1997) verificou que ocorre acoplamento com brisas marítimas e terrestres e de vale-montanha, dependendo da hora e local, o que gera convecção e precipitação.

Paiva Neto (2003) observou que no Atlântico, em particular, as temperaturas da superfície do mar (TSM) podem influenciar diretamente o desenvolvimento dos distúrbios, já que anomalias de TSM positivas, aliadas a outros fatores, podem propiciar maior evaporação e, conseqüentemente, áreas de nebulosidade mais extensas e com nuvens mais profundas. Ele

afirmou também que os distúrbios de leste afetam a estrutura termodinâmica da atmosfera, em geral, com aumento na umidade e na espessura da camada. Por outro lado, a magnitude desse aumento depende das condições reinantes no ambiente por ocasião da chegada do distúrbio.

Por causa da interação dos sistemas atuantes no NEB, torna-se, então, clara a necessidade de um levantamento mais apurado com relação às características dos VCAS, da ZCIT, dos Distúrbios de Leste e dos Sistemas Frontais, haja vista que existem vários aspectos a serem esclarecidos entre os quais o mecanismo de formação, estrutura vertical e o comportamento do sistema.

### **3.2 CHUVAS INTENSAS**

As chuvas intensas, ou chuvas extremas são também conhecidas por chuvas máximas e tem distribuição irregular tanto temporal quanto espacialmente. Esse tipo de evento causa grande prejuízo nas cidades, erosão no solo, inundações, danos à agricultura e sérios problemas em reservatórios de armazenamento de água.

Osborn et al. (1980) utilizaram a distribuição de Gumbel para séries de valores máximos anuais de chuva, obtendo ótimo ajuste. De acordo com Nemeč (1987) chuvas intensas de 3 a 6 horas em certas regiões podem aumentar os riscos de enchentes.

Buzzi et al. (1995) afirmaram que eventos de chuvas intensas são favorecidos pelas condições meteorológicas de meso e grande escalas haja vista que atuam na intensificação e duração dos sistemas.

Brath (1994) observa que para se efetuar uma boa previsão de chuvas intensas é necessário levar em conta a extensão da área a ser inundada, o número de habitantes, a densidade da população e principalmente a topografia da região. Ele destacou também que as previsões com modelos de circulação geral (GCM) são limitadas pela resolução espacial. O autor defende que se obtêm melhores resultados na previsão de chuvas intensas quando se utiliza modelos de escalas menores (Limited Área Model – LAM), pois a composição desses modelos leva mais em consideração a topografia da região e a atuação de sistemas de escalas maiores.

Adamowski et al. (1996) destacaram que a única desvantagem em utilizar as curvas de intensidade-duração-frequência seria as características de espaço-tempo e a extrapolação da chuva pontual. Mesmo assim, identificaram áreas homogêneas e heterogêneas em relação à precipitação pluvial.

Clarke et al. (2004) sugeriu que no estudo da precipitação pluvial as séries de dados precisam ser suficientemente longas e representativas do local, pois só assim pode-se observar a variabilidade do comportamento climático de uma região, principalmente em relação a chuvas intensas. Grimm et al. (2004) observaram que eventos como El Niño e La Niña têm uma grande influência na ocorrência de chuvas extremas no Brasil, principalmente na região Nordeste.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a região Nordeste do Brasil, composta por nove estados: Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, com 1793 municípios (Figura 1). O NEB possui limites ao norte e leste com o Oceano Atlântico, ao sul com o estado de Minas Gerais e Espírito Santo e oeste com os estados do Pará, Tocantins e Goiás. Tendo uma área total de 1.561.177,8 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 18,27% da área total do país. Sua população está estimada em 53.081.510 habitantes (IBGE, 2010). A região Nordeste é dividida em quatro sub-regiões: 1 - Meio-norte, 2 - Sertão, 3 - Agreste e 4 - Zona da Mata. (Figura 2):

O **Meio-norte** é uma faixa de transição entre a Amazônia e o Sertão, nela estão contidos os Estados do Maranhão e Piauí. A sub-região do Meio-norte também é conhecida por Mata dos Cocais, haja vista as palmeiras de babaçu e carnaúba, das quais é extraído o óleo utilizado na fabricação de cosméticos, margarinas, sabões e lubrificantes. Apresenta clima úmido e vegetação exuberante à medida que avança para o oeste a pecuária é extensiva em campo aberto. Nessa sub-região, na agricultura, destacando-se a produção de arroz e soja, nos vales dos rios perenes, e a pecuária de bovinos, na área do cerrado. Na década de 80, no entanto, teve início o processo de industrialização da área, com a instalação de indústrias que constituem extensões dos projetos minerais da Amazônia (IBGE, 2010).

O **Sertão** fica localizado, geralmente, no interior do Nordeste, possui clima semiárido e nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte chega a alcançar o litoral, descendo mais ao sul, o Sertão alcança o norte de Minas Gerais, no Sudeste. As chuvas são irregulares e escassas, existem constantes períodos de estiagem, a vegetação típica é a caatinga, os solos desta sub-região são rasos e pedregosos. É considerada a sub-região mais tipicamente nordestina, pois não se encontra similar em outra parte do território brasileiro. Todo o Sertão possui um clima quente, com temperaturas médias anuais em torno de 25° C, e duas estações bem definidas: uma chuvosa, nos meses de verão e de outono e outra mais longa e seca, que se estende pelos meses correspondentes ao inverno e à primavera. O sertanejo está sempre preocupado com a seca, uma vez que, desde os tempos coloniais, com maior ou menor intensidade, ela vem ocorrendo sistematicamente. No Sertão existe a chamada ribeira do rio São Francisco, isto é, a presença do grande rio nordestino atravessando as áreas mais secas do

Nordeste. Esse rio possui um regime muito irregular, havendo, na época chuvosa, a inundação de ilhas e terras marginais. A fertilidade dessas terras, decorrentes de sua submersão, é aproveitada pelos agricultores ribeirinhos para a agricultura de vazante, que garante ao sertanejo o milho, o feijão, o amendoim, a fava, entre outros produtos agrícolas. Em algumas áreas mais úmidas do Sertão predomina, ainda, a agricultura de subsistência ou de mercado local. No vale do São Francisco, porém, com a utilização da irrigação, a produção de mamão, melão, melancia, uva (para a fabricação de vinho, destinado ao consumo interno e à exportação) manga, tomate, acerola, entre outros produtos, se apresenta como uma atividade bastante lucrativa para os empresários. A pecuária é a grande atividade econômica sertaneja, com a criação de bovinos para a produção de carne, de caprinos, para a produção do leite, e de asininos para a montaria (IBGE, 2010).

O **Agreste** é uma zona de transição entre a Zona da Mata e o Sertão, localizada no alto do Planalto da Borborema. É um obstáculo natural para a chegada das chuvas ao sertão, se estende do sul da Bahia até o Rio Grande do Norte. O principal acidente geográfico dessa sub-região é o Planalto da Borborema. Do lado leste do planalto estão as terras mais úmidas (Zona da Mata); do outro lado, para o interior, o clima vai ficando cada vez mais seco (Sertão). Nesta sub-região os terrenos mais férteis são ocupados por minifúndios, onde predominam as culturas de subsistência e a pecuária leiteira. Seus produtos abastecem o maior mercado consumidor do Nordeste. A escassez de água é o mais sério problema da população do Agreste, embora esta sub-região não seja tão profundamente atingida quanto o Sertão (IBGE, 2010).

A **Zona da Mata** recebeu este nome por ter sido coberta pela Mata Atlântica. Os cultivos de cana-de-açúcar e cacau substituíram as áreas de florestas. Essa Zona ocupa a parte oriental da região Nordeste, dominada pelo clima tropical úmido (quente e chuvoso). A pluviosidade é elevada, em torno de 1800 a 2000 mm/ano. É a sub-região mais povoada; é a que concentra o maior número de indústrias e a mais urbanizada. Estende-se do estado do Rio Grande do Norte ao sul do estado da Bahia, numa faixa litorânea de até 200 km de largura. É uma área que atrai muitos turistas de outras regiões do Brasil e do exterior, devido a suas belas praias. Possui clima tropical úmido, com chuvas mais frequentes na época do outono e inverno, exceto no sul do estado da Bahia, onde se distribuem uniformemente por todo o ano. O solo dessa área é fértil e a vegetação natural é a mata atlântica, já praticamente extinta (IBGE, 2010). As Figuras 1 e 2 localizam geograficamente a área de estudo e as sub-regiões do Nordeste do Brasil, respectivamente.



Figura 1. Localização do Nordeste, (Fonte: elaborado com base em mapa do IBGE).

<http://www.geoconceicao.blogspot.com.br/2010/07/regiao-nordeste.html>



Figura 2. Localização das sub-regiões do Nordeste do Brasil, (Fonte: IBGE, 2002).

## 4.2 DADOS

Foram utilizados dados diários de precipitação pluviométrica de 133 estações. Os dados de precipitação diária foram provenientes da Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) e Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), para o período de 1910 a 2012. As 133 estações pluviométricas estão distribuídas em quatro sub-regiões. A Tabela 1, Apêndice A, mostra as estações pluviométricas e a Figura 3 exibe a distribuição espacial dos postos pluviométricos da região em estudo.

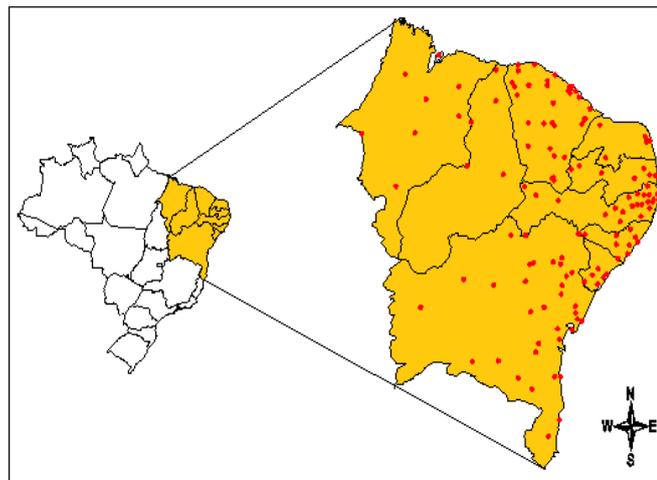


Figura 3. Distribuição espacial dos 133 postos pluviométricos na região Nordeste do Brasil.

## 4.3 METODOLOGIA

### 4.3.1 MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Os sistemas dinâmicos são responsáveis pelos processos geradores de eventos de chuva na região Nordeste do Brasil. Desta forma, foi gerada uma climatologia da região Nordeste para os meses de janeiro a dezembro, com base nas séries de dados anteriormente descritas.

A análise estatística foi realizada utilizando quatro técnicas distintas, Análise de Agrupamento (Cluster Analysis), distribuição de probabilidade de Gumbel, Teste de Mann-Kendall e o Teste T. O software utilizado para as análises dos dados foi a Microsoft Office Excel.

### 4.3.2 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

A análise de Agrupamento designa uma série de procedimentos estatísticos sofisticados que podem ser usados para classificar variáveis por observação das semelhanças e dessemelhanças entre elas. A análise de Agrupamento é organizada objetivando a formação de grupos relativamente homogêneos de uma determinada variável meteorológica.

O método da análise de Agrupamento pode ser descrito da seguinte forma: dado um conjunto de  $n$  indivíduos para os quais existem informações sobre a forma de  $p$  variáveis, o método agrupa os indivíduos em função da informação existente, de modo que os indivíduos de um grupo sejam tão semelhantes quanto possível e sempre mais semelhantes, aos elementos do mesmo grupo do que a elementos dos grupos restantes.

Alguns algoritmos de análise de agrupamento operam com os dados organizados numa matriz de dados  $n \times p$ , conforme ilustrado na matriz abaixo:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1f} & \dots & x_{1p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{if} & \dots & x_{ip} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nf} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Essa matriz representa os dados. Cada linha representa as coordenadas de um objeto  $i$ . Cada coluna representa os valores de um atributo assumidos por cada um dos  $n$  objetos.

Por outro lado, muitos algoritmos de agrupamento se aplicam a dados organizados numa matriz de dissimilaridade, onde o elemento da coluna  $j$  e linha  $i$  da matriz é o número  $d(i; j)$  que representa a distância entre os objetos  $i$  e  $j$ .

$$D = \begin{vmatrix} 0 & \dots & & & & \\ d(2,1) & 0 & & & & \\ d(3,1) & d(3,2) & 0 & & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\ d(n, 1) & d(n, 2) & d(n, 3) & \dots & 0 & \end{vmatrix} \quad (2)$$

Para que uma função  $d$  seja uma distância é necessário que as seguintes condições sejam satisfeitas, para quaisquer objetos  $i; j; k$ :

1.  $d(i; j) \geq 0$
2.  $d(i; i) = 0$
3.  $d(i; j) = d(j; i)$  (simetria)
4.  $d(i; j) \leq d(i; k) + d(k; j)$  (desigualdade triangular)

A propriedade (1) implica que todos os elementos da matriz de dissimilaridade são não negativos, a propriedade (2) indica que a diagonal da matriz de dissimilaridade é formada por zeros. A propriedade (3), por sua vez, mostra que a matriz de dissimilaridade é simétrica com relação à diagonal e por isso, só se registra nela os elementos abaixo da diagonal.

### 4.3.3 DISTÂNCIA EUCLIDIANA

De acordo com Wilks (1995) a ideia central do agrupamento de um conjunto de dados distribuídos em pontos é o conceito de distância. A mais utilizada é a distância euclidiana em dados de vetores num espaço  $p$ -dimensional. Assim, a distância entre dois pontos  $x_i$  e  $x_j$  é:

$$d_{ij} = \|x_i - x_j\| = \left[ \sum_{k=1}^P (x_{i,k} - x_{j,k})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

Quando se usam grandezas que não são diretamente comparáveis (com unidades e naturezas diferentes) a mudança de uma das unidades de medida pode alterar completamente o significado e o valor do coeficiente de semelhança. Essa é uma das razões pela qual a padronização ou redução das variáveis se torna necessária. A redução é feita da seguinte forma: a matriz  $\mathbf{X}$  ( $n \times p$ ) é transformada numa outra  $\mathbf{Z}$  ( $n \times p$ ) tal que:

$$Z_{i,k} = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{S_k} \quad (4a)$$

$$Z_{j,k} = \frac{x_{jk} - \bar{x}_k}{S_k} \quad (4b)$$

Sendo  $\bar{x}_k$  e  $s_k$  a média e o desvio padrão dos valores na  $k$ -ésima coluna. Feita a transformação, a distância euclidiana passa a ser:

$$d_{ij} = \|z_i - z_j\| = \left[ \sum_{k=1}^P (x_{i,k} - x_{j,k})^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

Ou, substituindo (4a) e (4b) em (5), tem-se:

$$d_{ij} = \|x_i - x_j\| = \left[ \sum_{k=1}^P \frac{(x_{i,k} - x_{j,k})^2}{S_k} \right]^{1/2} \quad (6)$$

que é a média dos desvios quadráticos dos dados padronizados.

Tanto a distância euclidiana (medida de dissimilaridade) quanto o coeficiente de correlação (medida de similaridade) podem ser usados na determinação dos grupos. Para este fim existem dois métodos de agrupamento, o hierárquico e o não hierárquico. No método hierárquico várias técnicas ou critérios de agrupamentos são possíveis. Dentre eles podem-se destacar os descritos por Wilks (1995), que são os seguintes: o método da ligação simples ou

vizinho mais próximo, o da ligação completa ou vizinho mais distante, o método do centroide e o método de Ward.

**a) Método da ligação simples ou vizinho mais próximo.**

Este método usa como medida de semelhança entre dois grupos a similaridade e a distância. Por este método a distância entre os grupos é definida como a distância entre seus componentes mais próximos, ou seja, os grupos com menor distância se estabelecem primeiro. Assim, a distância entre duas regiões  $R1$  e  $R2$  será definida por:

$$d_{R1R2} = \min[d_{ij}] \quad (7)$$

Em que  $i \in R1, j \in R2$

No caso de similaridade (definida por  $s$ )

$$S_{R1R2} = \max[S_{ij}] \quad (8)$$

Em que  $i \in R1, j \in R2$

**b) Método da ligação completa ou vizinho mais distante.**

É precisamente contrário ao método da ligação simples. Os grupos são constituídos fundindo-se os membros mais distantes entre os grupos. No caso da similaridade definida pela distância, esta é calculada por:

$$d_{R1R2} = \max[d_{ij}] \quad (9)$$

Em que  $i \in R1, j \in R2$

No caso de similaridade (definida por  $s$ )

$$S_{R1R2} = \min[S_{ij}] \quad (10)$$

Em que  $i \in R1, j \in R2$

### c) Método do centroide

Este método é o mais direto, pois substitui cada fusão de grupos por um único ponto representado pelas coordenadas de seu centro. A distância entre os grupos é definida pela distância entre os centros. Em cada etapa procura-se fundir grupos que tenham a menor distância entre si. A distância entre  $R1$  e  $R2$  é dada por:

$$d_{R1R2} = \|\bar{X}_{R1} - \bar{X}_{R2}\| \quad (11)$$

Em que os vetores médios são definidos conforme equação abaixo:

$$\bar{X}_r = 1/n_r [X_r]^T \quad (12)$$

### d) Método de Ward

O método de Ward é um método de agrupamento de dados que forma grupos de maneira a atingir sempre o menor erro interno entre os vetores que compõe cada grupo e o vetor médio do grupo. Isto equivale a buscar o mínimo desvio padrão entre os dados de cada grupo. No método de Ward, os grupos de dados são formados em etapas. No início, têm-se  $m$  grupos; ou seja, um grupo para cada vetor componente da base de dados. Neste estágio inicial o erro interno é nulo para todos os grupos, pois o vetor que compõe cada grupo é o próprio vetor médio do grupo. Igualmente o desvio-padrão de cada grupo é nulo.

Na etapa subsequente, cada possibilidade de aglutinação entre os grupos 2 a 2 é verificada, e é escolhido o agrupamento que causa o menor aumento no erro interno do grupo. São  $m \times m$  verificações. Desta forma, para uma base de dados com  $m$  muito grande, essas verificações exigem um grande esforço computacional caso o método seja implementado em computador. Nota-se que a cada iteração tem-se  $m_i$  grupos ( $i$  = número de iterações), no entanto, como o número de elementos pertencentes a cada grupo aumenta, é maior o número de cálculos para o erro interno de cada grupo. O agrupamento é feito diretamente através da equação:

$$W = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \quad (13)$$

Os métodos de agrupamentos têm por objetivo agrupar indivíduos em número restrito de classes de maneira que os indivíduos pertencentes a essas classes sejam semelhantes em algum aspecto.

Essas classes são obtidas por meio de algoritmos formalizados. Essa técnica evidencia os grupos homogêneos e heterogêneos de uma população.

O método utilizado nesta pesquisa foi o hierárquico, que consiste no número de classes gerado pelo critério de agrupamento de Ward para os dados diários de precipitação pluviométrica de 133 estações meteorológica distribuída no NEB para o período de 1910 a 2012.

#### 4.3.4 DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL

A distribuição de probabilidade Gumbel é a que melhor se ajusta aos eventos extremos ocorridos na natureza. É conhecida, também, como distribuição de valores extremos ou distribuição tipo I de Fisher-Tippett (Coronado, 2000). Essa distribuição apresenta como casos particulares, os três tipos de distribuição de valores extremos e tem função de distribuição acumulada de probabilidade dada por:

$$F(x) = \{-[1 + k(x - \alpha/\beta)]^{-1/k}\} \quad (14)$$

definida para  $-\infty < x < \alpha - \beta/k$  para  $k < 0$ ,  $-\infty < x < +\infty$  com  $k$  tendendo a zero,  $\alpha - \beta/k < x < +\infty$  para  $k > 0$ , sendo  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $k$  os parâmetros de locação, escala e forma, respectivamente, com  $\beta > 0$ . As distribuições de valores extremos de Fréchet e de Weibull correspondem aos casos particulares de (14) em que  $k > 0$  e  $k < 0$ , respectivamente. Com limite de  $F(x)$  com  $k$  tendendo a zero tem-se que:

$$F(x) = \exp\{-\exp[(x - \alpha/\beta)]\} \quad (15)$$

A Equação (15) é a função de distribuição acumulada de Gumbel com parâmetros de locação ( $\alpha$ ) e de escala ( $\beta$ ), com  $\beta > 0$ .

Derivando-se (14) em relação à  $x$ , obtém-se a função densidade de probabilidade da distribuição de Valores Extremos Generalizados (GEV), dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\beta} [1 + k(x - \alpha/\beta)]^{-(1+k/k)} \exp \{-[1 + k(x - \alpha/\beta)]^{-1/k}\} \quad (16)$$

definida para  $-\infty < x < \alpha - \beta/k$  para  $k < 0$  e  $\alpha - \beta/k < x < +\infty$  para  $k > 0$ , cujo limite para  $k$  tendendo a zero é:

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \exp \{-\exp[x - \alpha/\beta] - [x - \alpha/\beta]\} \quad (17)$$

definida para o intervalo  $-\infty < x < +\infty$ .

Estimativa dos parâmetros (método dos momentos):

$$\beta = \frac{S \times \sqrt{6}}{\pi} \quad (18)$$

$$\alpha = \bar{X} - \gamma\beta \quad (19)$$

Sendo  $\gamma = 0,5772$  (constante de Euler).

A função distribuição de Valores Extremos Generalizados (GEV) pode ser expressa pela Eq. (20). A probabilidade de excedência e o período de retorno da precipitação máxima diária e anual podem ser estimadas usando as Eqs. (21) e (22), respectivamente.

$$F(x) = \exp \left[ -\exp \left\{ -\left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right\} \right] \quad (20)$$

$$P(x) = 1 - F(x) \quad (21)$$

$$T_r = \frac{1}{P(x)} \quad (22)$$

Em que  $x$  é a precipitação máxima diária e anual;  $\mu$  e  $\sigma$  é a média e o desvio-padrão da precipitação máxima diária e anual, respectivamente;  $F(x)$  é a distribuição acumulada de probabilidade;  $P(x)$  é a distribuição de probabilidade e  $T_r$  o período de retorno.

#### 4.3.5 RISCO CLIMÁTICO

O risco ( $R$ ) de um evento ser igualado ou superado pelo menos uma vez em  $N$  anos é:

$$R = 1 - [1 - P(x)]^N \quad (23)$$

Em que  $P(x)$  é probabilidade de excedência. Estimando-se a média e desvio-padrão amostrais dos valores da precipitação máxima diária e anual e utilizando a Eq. (20) pode-se estimar o período de retorno ( $T_r$ ) desses eventos extremos de precipitação por:

$$T_r = \left[ 1 - \exp \left[ -\exp \left\{ -\left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right\} \right] \right]^{-1} \quad (24)$$

Em resumo, o risco é a probabilidade de perda esperada para uma área habitada em um determinado tempo, devido à presença iminente de um perigo (UNDP, 2004). Como se sabe o perigo e a vulnerabilidade do sistema que está preste a ser impactado depende da densidade demográfica, da infraestrutura, da pobreza da população, etc.

#### 4.3.6 TESTE DE MANN-KENDALL (TMK)

Os testes de tendências para variáveis hidrometeorológicas tais como temperatura, precipitação e vazão têm sido de particular interesse para hidrólogos e outros pesquisadores há várias décadas. Helsel e Hirsch (1995) fazem uma revisão ampla da abordagem estatística para a análise de tendência de séries temporais. Estudos recentes indicam que o método mais amplamente utilizado para as séries temporais hidrometeorológicas é o teste não-paramétrico de Mann-Kendall. Mann (1945) originalmente propôs o teste e Kendall (1975) o popularizou como a estatística Tau de Kendall, segundo Yue et al. (2003). Atualmente esse teste é recomendado para uso geral pela Organização Meteorológica Mundial.

O teste de Mann-Kendall foi aplicado aqui aos dados de precipitação máxima diária. O teste de Mann-Kendall consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial. É contado o número de vezes que os termos restantes

são maiores do que o valor analisado. A estatística  $S$  é obtida pela soma de todas as contagens, dado como segue (Fu et al., 2010):

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sinal}(x_i - x_j) \quad (25)$$

O sinal pode ser calculado de acordo com as equações (21), (22) e (23):

$$\text{sinal}(x_i - x_j) = 1 \text{ se } x_i - x_j > 0 \quad (26)$$

$$\text{sinal}(x_i - x_j) = 0 \text{ se } x_i - x_j = 0 \quad (27)$$

$$\text{sinal}(x_i - x_j) = -1 \text{ se } x_i - x_j < 0 \quad (28)$$

A estatística  $S$  aproxima-se da normalidade à medida que  $n$  cresce, com média e variância definidas pelas equações (24) e (25).

$$E[S] = 0 \quad (29)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5)], \quad (30)$$

em que  $n$  é o tamanho da série temporal. Assim, o teste estatístico  $Z$  serve para calcular a tendência de uma série temporal e pode ser obtido de acordo com a equação (26).

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (31)$$

A partir do valor de  $Z$  encontrado e do nível de significância adotado ( $\alpha$ ) e comparando com ( $p$ -valor) Tabelado, pode-se tomar as seguintes decisões:

Se  $Z > 0$  e  $p$ -valor ( $p > \alpha$ ) há uma tendência positiva não significativa;

Se  $Z > 0$  e  $p$ -valor ( $p \leq \alpha$ ) há uma tendência positiva significativa;

Se  $Z < 0$  e  $p$  - valor ( $p > \alpha$ ) há uma tendência negativa não significativa;  
Se  $Z < 0$  e  $p$  - valor ( $p \leq \alpha$ ) há uma tendência negativa significativa;  
Se  $Z = 0$  não há tendência.

#### 4.3.7 TESTE T

O pesquisador depara-se, muitas vezes, com a necessidade de comparar duas médias populacionais. Nesse caso, cada população na experimentação é conhecida por tratamento. Tais estudos comparativos podem ser feitos por meio de duas formas básicas: (a) comparações pareadas, em que a amostra selecionada na população é avaliada antes e após a aplicação de um tratamento; e (b) comparações independentes, em que as duas populações que se deseja comparar são amostradas de forma independente. O segundo caso é mais frequente nas mais diversas áreas de pesquisa.

Para o caso das comparações independentes existe uma pressuposição básica para garantir que o teste  $t$  seja exato. Essa pressuposição refere-se à homocedasticidade das variâncias populacionais, ou seja,  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  (Snedecor & Cochran, 1980). Independentemente dessa pressuposição, um estimador sem viés da variância da diferença entre duas médias amostrais independentes ( $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$ ) é dado por:

$$S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}^2 = \frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2} \quad (32)$$

Em que  $S_1^2$  e  $S_2^2$  são os estimadores das variâncias das populações 1 e 2, obtidos em amostras de tamanhos  $n_1$  e  $n_2$ , respectivamente.

Se as variâncias são homogêneas, ou seja,  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$  um melhor estimador ( $S_p^2$ ) da variância comum  $\sigma^2$  é dada pela média ponderada dos estimadores  $S_1^2$  e  $S_2^2$ , usando como peso os graus de liberdade, dado por:

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (33)$$

Com esse estimador substituído na expressão (27) o teste  $t$  é considerado exato e adequado para a hipótese de igualdade das médias das duas populações. O problema ocorre quando  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ , nesse caso o teste depende da razão entre as variâncias populacionais ( $\sigma_2^2/\sigma_1^2$ ) que é desconhecida. Ainda para o caso de heterogeneidade, porém sob normalidade, esse teste é apenas aproximado e é conhecido como problema de Behrens-Fisher (Moreno et al. 1999; Akahira, 2002). Para grandes ou pequenos valores da razão  $\sigma_2^2/\sigma_1^2$  o teste da hipótese  $H_0: \mu_1=\mu_2$  e os intervalos de confiança podem ser seriamente comprometidos (Borges & Ferreira, 1999). Os riscos de se cometer o erro tipo I, ou seja, de rejeitar uma hipótese verdadeira, e o do tipo II, de aceitar uma hipótese falsa, aumentam consideravelmente. Com o aumento desses erros, o pesquisador tem grande chance de tomar decisões erradas.

Nesse caso, a hipótese  $H_0: \mu_1=\mu_2$  pode ser avaliada, usando-se a estatística:

$$t' = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (34)$$

No entanto, essa estatística dada por (30) não segue a distribuição exata  $t$  - Student, sob a hipótese de igualdade das médias populacionais e com variâncias populacionais heterogêneas. Na avaliação dessa estatística, duas aproximações são bastante comuns na literatura. A primeira derivada por Satterthwaite (1946) refere-se ao cálculo do número de graus de liberdade associado a  $t'$  de tal forma que a distribuição  $t$  - Student possa ser usada. Nesse caso, o número de graus de liberdade ( $v$ ) é estimado por:

$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}} \quad (35)$$

$v$  pode ser arredondado para o inteiro mais próximo quando se utilizar valores tabelados da distribuição  $t$  de Student.

A segunda aproximação é a de Cochran & Cox (1957). Essa estatística usa o valor médio ponderado para a estatística  $t'$ , cujo estimador é:

$$t^* = \frac{w_1 t_1 + w_2 t_2}{w_1 + w_2} \quad (36)$$

em que  $t^*$  refere-se ao valor determinante da região de rejeição da hipótese de igualdade das médias populacionais;  $W_1 = \frac{S_1^2}{n_1}$  e  $W_2 = \frac{S_2^2}{n_2}$ ;  $t_1$  e  $t_2$  são os valores críticos (tabelados) da distribuição  $t$  (unilateral), com  $n_1 - 1$  e  $n_2 - 1$  graus de liberdade, respectivamente, para o valor nominal de significância estipulado previamente.

Confrontando essas alternativas, Borges & Ferreira (1999) demonstraram por simulação que os dois tipos de aproximações não diferiram quanto ao poder do teste e nem quanto às taxas de erro do tipo I.

Uma terceira alternativa é considerar os graus de liberdade (Triola, 1999) como sendo estimados por:

$$v = \min(n_1 - 1, n_2 - 1) \quad (37)$$

Essa alternativa é pouco usada e nenhum estudo é conhecido confrontando-a com as demais. Esse critério parece ser mais conservador por fornecer menores valores para o número de graus de liberdade do que o critério de Satterthwaite (1946), mas nenhuma comprovação científica foi encontrada na literatura consultada.

O método utilizado nesta pesquisa foi o Teste  $T$  para comparações independentes, em que as duas populações que se deseja comparar são amostradas de forma independente.

#### 4.3.8 ANÁLISE DA VARIÂNCIA (ANOVA)

Quando existe a necessidade de se efetuar uma pesquisa para comparar três ou mais tratamentos, a análise de variância (*Analysis of Variance* - ANOVA) é um teste utilizado. Devore (2006) define ANOVA como sendo um teste que contempla um conjunto de situações experimentais e procedimentos estatísticos para a análise de respostas quantitativas de unidades experimentais. Segundo Freund e Simon (2000), a análise da variância expressa uma medida da variação total em um conjunto de dados, como uma soma de termos, cada um dos quais é atribuído a uma fonte ou causa específica.

O teste ANOVA que será abordado nesse estudo diz respeito apenas ao de fator único, embora existam diversos tipos de ANOVA que podem ser aplicados, tendo em vista os diferentes tipos de experimentos que podem ser realizados. Classificação única ou ANOVA unidirecional são nomes diferentes que se pode atribuir ao fator único.

Existem algumas considerações importantes a serem feitas antes de aplicar a ANOVA propriamente dita. As amostras analisadas devem ser escolhidas de maneira aleatória, assim como serem independentes. Por exemplo, se em um experimento com voluntários, forem obtidos um dado de cada um destes, é razoável admitir que tais dados sejam independentes. Essa aleatoriedade entre os níveis do fator proporcionará resultados válidos do teste. Por outro lado, se o pesquisador obtiver vários dados do mesmo voluntário, é razoável considerar que tais dados sejam dependentes, e nesse caso, a aplicação da ANOVA não é adequada (Vieira, 2006).

Outra consideração, muitas vezes não respeitada é a normalidade das amostras. É necessário verificar se os fatores produzem mudanças sistemáticas em alguma variável de interesse. Para saber se é razoável pressupor que os dados de um experimento têm distribuição normal, o pesquisador pode fazer um gráfico de probabilidades normais. Se as pressuposições a respeito dos erros forem válidas e se não existirem valores discrepantes, então os resíduos padronizados parecerão observações independentes de uma distribuição normal padronizada (Vieira, 2006). Teste de Adequação e Teste de Normalidade são alguns dos testes utilizados para tal verificação. A Figura 1 apresenta um conjunto de dados ajustado à distribuição normal. Porém são os testes de normalidade que indicarão o aceite ou não dessa hipótese.

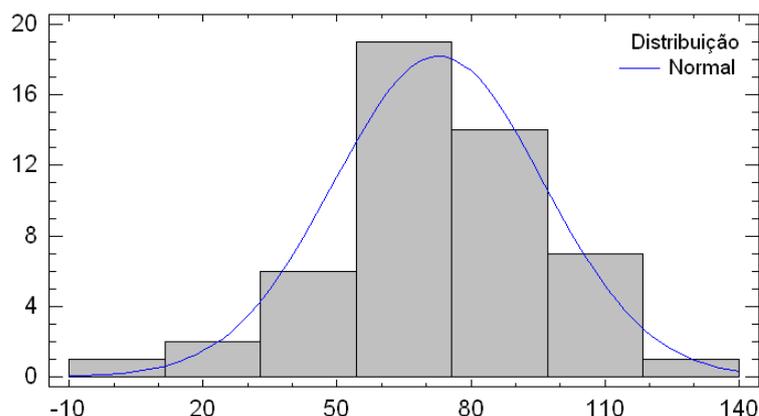


Figura 4 – Teste de normalidade.

Por fim, mas não menos importante, as populações devem ter variância iguais – ou como preferem alguns estatísticos, deve existir homocedasticidade. Isso pode ser constatado desde que os tratamentos sejam similares e tenham o mesmo número de repetições. Aliás, o uso de número igual de repetições é a melhor proteção contra os efeitos de variâncias desiguais, ou como dizem os estatísticos, da heterocedasticidade (Vieira, 2006).

Se alguma amostra não atender a uma dessas três considerações, a análise de variância, teoricamente, não deve ser aplicada. Nesse momento, é propícia a introdução do conceito de robustez do teste ANOVA.

A robustez do método é a medida da sua capacidade de permanecer inalterado sob pequenas, mas deliberadas variações nos parâmetros do método e fornecer indicação da sua dependência durante o uso normal (ICH, 2011).

Os testes de robustez, em geral, servem para indicar os fatores que podem influenciar, significativamente, a resposta do método estudado. Tal fato fornece a dimensão do problema que ocorre quando o método é repetido em diferentes condições (Brito et al, 2003).

A Tabela 2 ilustra como são, geralmente, resumidos os resultados de um teste ANOVA. Apresentam-se as somas de quadrados, seus graus de liberdade, variância do quadrado médio e a estatística  $F$ .

A razão (ou distribuição)  $F$  trata-se de um modelo de distribuição contínua útil para inferências estatísticas e é dada pelo quociente entre duas variáveis aleatórias independentes com distribuições qui-quadrado (Fonseca e Martins, 1996).

Alguns *softwares* apresentam a probabilidade da cauda (valor  $p$ ), isto é, a probabilidade de obter-se um valor, no mínimo, igual ao valor  $F$  observado quando a hipótese nula é verdadeira (Freund e Simon, 2000).

Tabela 2 – ANOVA para  $m$  grupos distintos, cada um com  $n$  elementos.

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de liberdade	Variância do quadrado médio	Razão F
Entre médias (tratamento)	$SQRT = n \sum_{j=1}^m (\bar{x}_j - \bar{\bar{x}})^2$	$m - 1$	$\frac{SQTR}{m - 1}$	$\frac{SQTR/(m - 1)}{SQER/[m(n - 1)]}$
Dentro de amostras (erro)	$SQER = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$	$m(n - 1)$	$\frac{SQER}{m(n - 1)}$	
Total	$STQ = SQRT + SQER$	$mn - 1$		

O teste ANOVA é aplicado para testar se vários grupos de observações provêm de distribuições com a mesma média; na análise de variância calcula-se uma estatística  $F$ ; se a hipótese nula é verdadeira e as médias de todos os grupos são realmente iguais, então a estatística  $F$  terá distribuição  $F$  e; se a estatística  $F$  calculada é superior ao valor crítico, então se rejeita a hipótese nula, de que as médias dos grupos sejam as mesmas (Downing e Clark, 2000).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

Neste estudo utilizou-se a Análise de Agrupamentos para se obter os grupos homogêneos das estações, com base no total médio diário de precipitação. A Figura 4 exibe os resultados iniciais da Análise de Agrupamento. Nela pode ser visto que a região homogênea RH2 não se verifica em área contínua. Ao contrário da região homogênea RH1, a RH2 se subdivide em núcleos ao norte e centro da região RH1 e na faixa litorânea. Utilizando a Análise de Variância – ANOVA, com um nível de significância de 5% foi estimado diferenças estatísticas entre as regiões RH1 e RH2 e também diferenças entre a região RH1 e os núcleos RH2 nela contidos. Os núcleos RH2 contidos na RH1 podem ser explicados pelas características microclimáticas dessas áreas. Em consequência da aplicação da ANOVA os núcleos RH2 contidos na região homogênea RH1 foram denominados de RH3 (Figura 5).

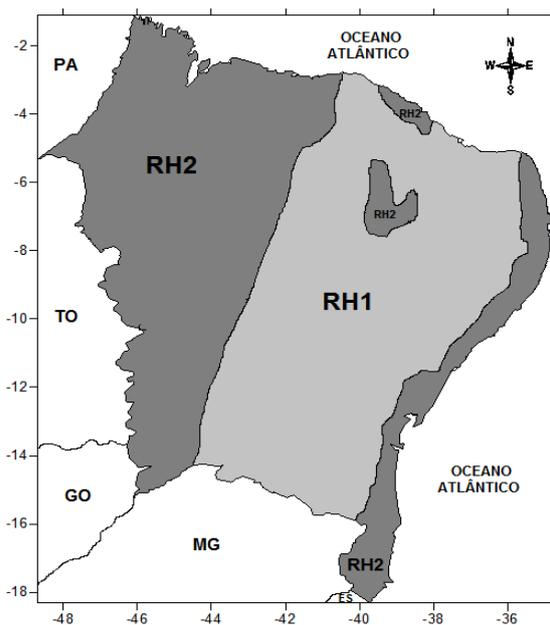


Figura 5. Regiões homogêneas em relação à variabilidade espacial da precipitação. Com dois grupos.

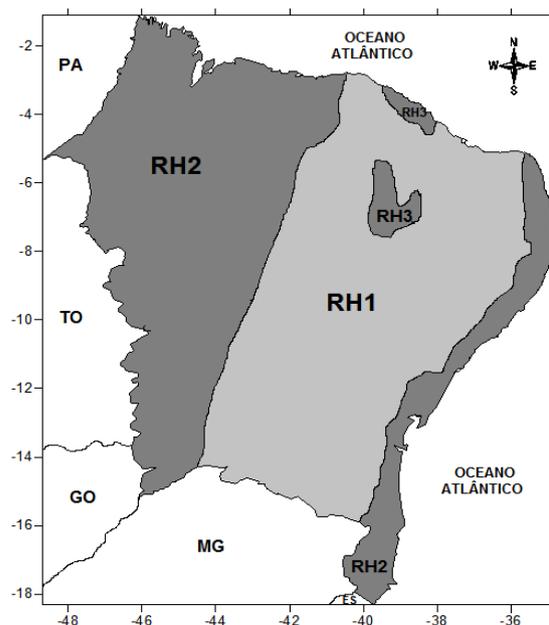


Figura 6. Regiões homogêneas em relação à variabilidade espacial da precipitação. Com três grupos.

No primeiro quadrimestre do ano, de janeiro a abril, as chuvas se concentram nos setores leste, oeste e centro-sul do Nordeste. Os principais sistemas atmosféricos que atuam nesse quadrimestre são: os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Segundo Kousky e Gan (1981) os VACS ocorrem com mais intensidade nos meses de verão, enquanto que a atuação da ZCIT se dá nos meses de março e abril, de acordo com Uvo (1989). Em contra partida, no segundo quadrimestre, de maio a agosto, os maiores valores de precipitação são observados no setor leste, devido à atuação dos Distúrbios de Leste (DL), de acordo com Yamazaki e Rao (1977). Já no terceiro quadrimestre, de setembro a dezembro, ocorrem chuvas mais intensas no setor leste, principalmente nos meses de setembro e outubro. Nos meses de novembro e dezembro os maiores valores de precipitação são observados nos setores leste, oeste e centro-sul, como no primeiro quadrimestre. A Tabela 3 estima as chuvas máximas para o período de retorno de 100 anos em cada uma das regiões homogêneas. Período de retorno ( $T$ ) é o período de tempo médio que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez. “É um parâmetro fundamental para a avaliação e projeto de sistemas hídricos, como reservatórios, canais, vertedores, bueiros, galerias de águas pluviais, etc”.

Tabela 3 - Precipitação máxima para o período de retorno de 100 anos nas regiões homogêneas.

Região	Municípios	P <sub>100</sub> anos (mm)
RH1	Delmiro Gouveia, Palmeira dos Índios, União dos Palmares, Arapiraca, Lagarto, Itabaiana, Tobias Barreto, Patos, Campina Grande, Mossoró, Caicó, Picos, Acaraú, Granja, Sobral, Itapipoca, Itapajé, Canindé, Quixadá, Aracati, Russas, Crateús, Boa Viagem, Quixeramobim, Morada Nova, Limoeiro do Norte, Tauá, Casa Nova, Juazeiro, Paulo Afonso, Senhor do Bonfim, Campo Formoso, Barra, Irecê, Jacobina, Itaberaba, Jequié, Guanambi, Brumado, Vitória da Conquista, Monte Santo, Euclides da Cunha, Ribeira de Pombal, Tucano, Araci, Serrinha, Ipirá, Feira de Santana, Santo Antônio de Jesus, Juaquara, Itapetinga, Araripina, Ouricuri, Petrolina, Santa Cruz do Capibaribe, Surubim, Salgueiro, Pesqueira, Bezerros Gravatá, Caruaru, Moreno São Bento da Uma, Garanhuns.	145,1
Região	Municípios	P <sub>100</sub> anos (mm)
RH2	Rio Largo, São Miguel dos Campos, Maceió, Penado, Coruripe, Aracaju, São Cristóvão, Estância, Guarabira, Sapé, Santa Rita, João Pessoa, Ceará-Mirim, São Gonçalo do Amarante, Natal, Macaíba, Piri-piri, Teresina, Floriano, Zé Doca, São Luis, Imperatriz, Chapadinha, Caxias, Barra do Corda, Balsas, Bacabal, Camocim, Viçosa do Ceará, Tianguá, São Benedito, Barreiras, Alagoinhas, Catu, Cruz das Almas, Dias D'Ávila, Valença, Salvador, Itabuna, Ilhéus, Porto Seguro, Itamaraju, Timbauba, Limoeiro, Carpina, São Lourenço da Mata, Vitória de Santo Antão, Buíque, Escada, Palmares, Igarassu, Recife.	170,5
Região	Municípios	P <sub>100</sub> anos (mm)
RH3	Cajazeiras, Sousa, Parnaíba, Trairi, Caucaia, Fortaleza, Maranguape, Maracanaú, Pacatuba, Aquiraz, Cascavel, Acopiara, Iguatu, Icó, Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha.	169,6

As Tabelas 4, 5 e 6 exibem as chuvas máximas para os períodos de retornos de 50 e 100 anos dos 133 municípios estudados.

Tabela 4. Períodos de retorno dos municípios da região RH1 para chuvas máximas (mm).

Municípios	Período de retorno de 50 anos	Período de retorno de 100 anos
Delmiro Gouveia	134,5	146,6
Palmeira dos Índios	91,8	98,6
União dos Palmares	152,7	168,1
Arapiraca	115,8	126,0
Lagarto	119,9	130,7
Itabaiana – SE	88,0	94,5
Tobias Barreto	112,3	121,9
Patos	160,8	176,0
Campina grande	150,1	165,4
Mossoró	141,9	155,3
Caicó	143,6	156,8
Picos	133,7	145,9
Acaraú	146,1	159,4
Granja	135,7	148,1
Sobral	109,8	118,9
Itapipoca	133,2	145,2
Itapajé	115,5	125,4
Canindé	113,4	123,0
Quixadá	113,9	123,7
Aracati	152,1	166,1
Russas	126,3	137,5
Crateús	136,7	149,2
Boa Viagem	120,9	131,3
Quixeramobim	148,7	163,1
Morada Nova	143,2	156,4
Limoeiro do Norte	130,0	141,4
Tauá	138,1	150,8
Casa Nova	157,0	172,2
Juazeiro	148,1	162,3
Paulo Afonso	148,9	163,1
Senhor do Bonfim	122,7	133,5
Campo Formoso	173,3	190,8
Barra	133,2	145,3

Tabela 4 (continuação)

Irecê	131,0	142,9
Jacobina	140,1	153,0
Itaberaba	161,5	176,8
Jequié	144,9	158,9
Guanambi	138,5	151,1
Brumado	127,0	138,3
Vitória da Conquista	126,7	138,1
Monte Santo	137,6	150,0
Euclides da Cunha	128,7	140,4
Ribeira de Pombal	133,7	146,0
Tucano	133,9	146,3
Araci	138,1	151,1
Serrinha	125,4	136,6
Ipirá	144,1	157,8
Feira de Santana	128,6	140,5
Sto. Antônio de Jesus	129,6	141,6
Jaguaquara	120,7	132,1
Itapetinga	129,8	141,8
Araripina	132,2	143,9
Ouricuri	128,4	139,6
Petrolina	146,5	160,4
Sta. Cruz do Capibaribe	140,8	154,5
Surubim	134,3	147,0
Salgueiro	154,0	168,8
Pesqueira	132,5	144,7
Bezerros	124,2	135,5
Gravatá	121,0	131,7
Caruaru	115,4	125,2
Moreno	129,4	142,2
São Bento da Una	127,0	138,4
Garanhuns	109,3	118,7

Tabela 5. Períodos de retorno dos municípios da região RH2 para chuvas máximas (mm).

Municípios	Período de retorno de 50 anos	Período de retorno de 100 anos
Rio Largo	172,1	172,1
São Miguel dos Campos	132,0	143,9
Maceió	168,1	184,5
Penedo	152,8	167,4
Coruripe	189,0	208,3
Aracaju	179,8	198,5
São Cristovão	148,8	163,1
Estância	142,0	155,1
Guarabira	155,2	170,3
Sapé	145,2	158,8
Santa Rita	215,7	239,4
João Pessoa	174,3	191,1
Ceará-Mirim	142,5	155,7
São Gonçalo do Amarante	137,8	150,1
Natal	165,8	181,3
Macaíba	140,7	153,5
Piripiri	138,1	149,9
Teresina	179,7	197,5
Florianópolis	149,6	164,0
Zé Doca	158,5	173,7
São Luis	198,6	218,0
Imperatriz	145,6	158,7
Chapadinha	163,1	178,5
Caxias	155,2	169,8
Barra do Corda	144,4	157,7
Balsas	143,9	157,2
Bacabal	147,5	160,8
Camocim	158,5	173,7
Viçosa do Ceará	147,0	160,5
Tianguá	142,7	155,7
São Benedito	164,3	179,8
Barreiras	136,8	149,3
Alagoinhas	98,9	106,7
Catu	143,1	157,3
Cruz das Almas	124,6	135,9
Dias D'Ávila	144,5	158,0
Valença	170,3	187,1
Salvador	191,5	210,9
Itabuna	149,7	164,4

Tabela 5 (continuação)

Ilhéus	175,3	193,0
Porto Seguro	172,7	189,6
Itamaraju	150,4	164,8
Timbauba	128,5	140,1
Limoeiro	131,1	143,2
Carpina	135,7	148,3
São Lourenço da Mata	137,2	149,4
Vitória de Santo Antão	140,2	153,4
Buíque	172,8	189,6
Escada	138,8	151,9
Palmares	139,6	152,5
Igarassu - PE	224,3	247,9
Recife	203,8	224,5

Tabela 6. Períodos de retorno dos municípios da região RH3 para chuvas máximas (mm).

Municípios	Período de retorno de 50 anos	Período de retorno de 100 anos
Cajazeiras	172,6	189,4
Sousa	148,9	162,5
Parnaíba	164,5	180,0
Trairi	157,1	172,1
Caucaia	173,0	189,4
Fortaleza	172,2	188,3
Maranguape	148,5	162,0
Maracanaú	157,9	173,4
Pacatuba	140,3	152,8
Aquiraz	170,1	185,8
Cascavel	173,0	189,4
Acopiara	131,0	142,3
Iguatu	141,8	154,5
Icó	137,3	149,5
Crato	153,5	167,5
Juazeiro do Norte	131,3	142,8
Barbalha	165,5	181,4

Pelo exposto nas Tabelas de 4, 5 e 6 pode ser visto que em Igarassu - PE, RH2, a chuva de 50 anos é de 224,3 mm e em 100 anos pode-se esperar uma chuva de 247,9 mm. Já em Itabaiana - SE, RH1, a chuva de 88 mm é esperada para o período de retorno de 50 anos e a de 94,5 mm pode ocorrer em 100 anos.

## 5.2 ANÁLISES DO TESTE T

As Tabelas 7, 8 e 9 exibem as comparações entre as médias de  $\alpha$  e  $\beta$  dos municípios das regiões: RH1, RH2 e RH3 com os respectivos valores de  $\alpha$  e  $\beta$  de cada município, pelo teste  $t$ , com um nível de significância de 5%. Os valores de  $\alpha$  e  $\beta$  foram calculados pelas estimativas dos parâmetros da distribuição de Gumbel.

Tabela 7. Estatísticas do Teste  $T$  para  $\alpha$  e  $\beta$  da região RH1.

Região	Municípios	$\alpha$	$\beta$	Média	DP	Amostras
RH1	Largato	41,70	15,46	50,63	19,83	64
	Itabaiana - SE	41,10	9,28	46,46	11,90	71
	Tobias Barreto	42,89	13,73	50,82	17,61	68
	Mossoró	45,60	19,06	56,60	24,44	85
	Caicó	47,92	18,92	58,84	24,26	81
	Picos	45,42	17,46	55,50	22,39	52
	Araripina	46,99	16,84	56,71	21,60	59
	Ouricuri	47,03	16,09	56,31	20,63	73
	Petrolina	46,35	19,81	57,78	25,41	74
	Sta. Cruz do Capibaribe	41,49	19,64	52,83	25,19	42
	Surubim	42,13	18,22	52,65	23,37	70
	Salgueiro	46,49	21,26	58,76	27,27	77
	Pesqueira	43,86	17,53	53,98	22,48	65
	Bezerros	42,60	16,14	51,91	20,70	29
	Gravatá	43,33	15,36	52,20	19,70	51
	Caruaru	44,26	14,07	52,39	18,05	53
	Moreno	36,68	18,34	47,26	23,52	23
	São Bento da Una	43,96	16,41	53,44	21,05	68
	Garanhuns	41,61	13,39	49,33	17,17	47
	Campo Formoso	46,28	25,11	60,77	32,21	33
	Patos	50,40	21,83	63,00	28,00	74
	Campina Grande	39,26	21,92	51,91	28,11	75
	Acaraú	49,51	19,10	60,54	24,50	62
	Granja	46,06	17,74	56,29	22,75	69
	Sobral	43,80	13,06	51,34	16,74	59
	Itapipoca	46,31	17,19	56,23	22,05	69
	Itapaje	43,93	14,16	52,10	18,16	78
	Canindé	43,73	13,78	51,68	17,67	19
Quixadá	42,77	14,06	50,88	18,04	38	
Aracati	51,13	19,97	62,66	25,62	63	
Russas	45,03	16,07	54,30	20,61	15	

Tabela 7 (continuação)

	Crateús	46,24	17,89	56,57	22,94	75
	Boa Viagem	45,17	14,97	53,81	19,21	76
	Quixaranobim	44,55	20,59	56,44	26,41	72
	Morada Nova	47,77	18,88	58,67	24,21	72
	Limoeiro do Norte	47,76	16,27	57,15	20,87	73
	Paulo Afonso	45,90	20,37	57,65	26,12	66
	Tauá	45,87	18,24	56,40	23,40	28
	Casa Nova	46,49	21,85	59,10	28,02	81
	Juazeiro	45,77	20,24	57,46	25,96	71
	Senhor do Bonfim	45,16	15,34	54,02	19,68	74
	Barra	45,97	17,26	55,93	22,13	74
	Irecê	45,00	17,01	54,82	21,82	42
	Jacobina	46,60	18,49	57,28	23,72	70
	Itaberaba	50,92	21,88	63,54	28,06	62
	Jequié	43,42	20,08	55,01	25,75	67
	Guanambi	47,33	18,02	57,73	23,12	55
	Brumado	45,35	16,15	54,68	20,71	66
	Vitória da Conquista	44,21	16,32	53,63	20,93	50
	Monte Santo	47,30	17,85	57,60	22,90	74
	Euclides Cunha	43,79	16,79	53,48	21,53	79
	Ribeira de Pombal	44,61	17,61	54,77	22,59	45
	Tucano	44,26	17,73	54,50	22,73	56
	Araci	43,81	18,65	54,58	23,91	79
	Serrinha	44,84	15,94	54,04	20,44	59
	Ipirá	45,08	19,58	56,38	25,11	74
	Feira de Santana	41,85	17,15	51,75	22,00	53
	Santo Antônio de Jesus	42,31	17,26	52,28	22,14	44
	Jaguacara	37,50	16,45	46,99	21,09	39
	Itapitinga	42,65	17,23	52,59	22,10	24
	Delmiro Gouveia	46,46	17,40	56,51	22,32	49
	Palmeira dos Índios - AL	42,51	9,75	48,14	12,51	72
	União dos Palmares	41,39	22,02	54,10	28,24	73
	Araripina	41,68	14,66	50,14	18,80	22
Médias		44,67	17,45	54,75	22,38	60

Tabela 8. Estatísticas do Teste  $T$  para  $\alpha$  e  $\beta$  da região RH2.

Região	Municípios	$\alpha$	$\beta$	Média	DP	Amostras
RH2	Estância	46,95	18,79	57,80	24,10	65
	São Cristovão	45,38	20,45	57,19	26,23	28
	Aracaju	44,97	26,67	60,36	34,21	65
	Ceará-mirim	46,97	18,89	57,87	24,23	55
	S. Gonçalo do Amarante	48,92	17,58	59,06	22,54	20
	Natal	53,26	22,26	66,11	28,55	52
	Macaíba	47,88	18,36	58,48	23,55	81
	Piripiri	53,06	16,82	62,77	21,58	61
	Teresina	50,54	25,54	65,28	32,75	64
	Florianópolis	44,82	20,71	56,78	26,57	30
	Coruripe	49,46	27,60	65,40	35,40	49
	Timbaúba	44,67	16,58	54,24	21,26	79
	Limoeiro	43,62	17,31	53,61	22,20	34
	Carpina	44,83	17,97	55,21	23,05	54
	S. Lourenço da Mata	48,39	17,56	58,52	22,52	35
	Vitória de Santo Antão	44,83	18,87	55,72	24,20	68
	Buíque	50,65	24,15	64,59	30,98	66
	Palmares	46,34	18,44	56,99	23,65	62
	Recife	54,12	29,61	71,21	37,97	101
	Maceió	49,37	23,48	62,92	30,11	72
	Guarabira	45,60	21,67	58,10	27,79	72
	Sapé	47,03	19,42	58,24	24,91	68
	Santa Rita	44,02	33,95	63,61	43,54	79
	João Pessoa	52,17	24,15	66,10	30,97	70
	Barra do Corda	47,62	19,13	58,67	24,54	50
	Balsas	47,42	19,08	58,43	24,48	36
	Zé Doca	48,93	21,68	61,44	27,80	37
	Viçosa do Ceará	48,66	19,44	59,88	24,93	72
	Tianguá	48,35	18,66	59,12	23,93	75
	Salvador	51,03	27,78	67,06	35,63	83
	Ilhéus	46,75	25,42	61,42	32,60	19
	Porto Seguro	49,96	24,27	63,97	31,12	20
	Escada	44,41	18,67	55,19	23,95	72
	Igarassu	53,64	33,76	73,12	43,30	25
Camocim	48,93	21,68	61,44	27,80	71	
São Luis	57,84	27,83	73,91	35,70	46	
Imperatriz	50,76	18,75	61,58	24,05	46	
Chapadinha	52,22	21,94	64,88	28,14	36	
Caxias	50,07	20,80	62,08	26,67	47	
Bacabal	51,68	18,96	62,62	24,31	36	
São Benedito	51,90	22,22	64,72	28,50	73	

Tabela 8 (continuação)

	São Miguel dos Campos	45,98	17,02	55,81	21,83	65
	Rio Largo	42,00	22,61	55,04	28,99	22
	Penedo	46,62	21,00	58,73	26,93	73
	Barreiras	45,99	17,95	56,35	23,02	66
	Alagoinhas	42,19	11,21	48,66	14,37	33
	Catu	40,35	20,32	52,08	26,06	25
	Cruz das Almas	42,84	16,16	52,17	20,73	30
	Dias D' Ávila	46,16	19,44	57,38	24,94	24
	Valença	48,55	24,07	62,45	30,88	27
	Itabuna	42,85	21,13	55,05	27,10	25
	Itamaraju	46,65	20,52	58,49	26,32	24
Médias		47,85	21,31	60,15	27,34	52

Tabela 9. Estatísticas do Teste T para  $\alpha$  e  $\beta$  da região RH3.

Região	Municípios	$\alpha$	$\beta$	Média	DP	Amostras
RH3	Cajazeiras	50,78	24,09	64,69	30,90	83
	Souza	50,49	19,46	61,72	24,96	75
	Parnaíba	52,34	22,18	65,15	28,44	34
	Trairi	48,30	21,52	60,72	27,60	29
	Caucaia	54,36	23,46	67,90	30,09	76
	Fortaleza	55,56	23,06	68,88	29,58	87
	Maranguape	50,30	19,42	61,51	24,90	81
	Maracanaú	46,15	22,11	58,91	28,36	26
	Pacatuba	49,95	17,87	60,27	22,92	48
	Aquiraz	56,52	22,46	69,49	28,81	53
	Cascavel	54,34	23,47	67,89	30,10	74
	Acopiara	49,20	16,18	58,54	20,76	49
	Iguatu	49,23	18,30	59,79	23,47	69
	Icó	48,28	17,60	58,44	22,57	63
	Crato	52,28	20,02	63,84	25,68	79
	Juazeiro do Norte	47,72	16,53	57,26	21,20	26
Barbalha	50,20	22,81	63,36	29,25	29	
Médias		50,94	20,62	62,84	26,45	58

Tabela 10. Teste T para amostras independentes em Palmeira dos Índios - AL

T	2,4906
Graus de Liberdade	130
P-valor	0,0140
Média da RH1	17,45
Média da RH2	9,75
Desvio-padrão amostral da RH1	22,38
Desvio-padrão amostral da RH2	12,51
Desvio-padrão agrupado	17,68
Hipótese alternativa	0
Intervalo de Confiança	95%
Limite Inferior	1,5838
Limite Superior	13,8161

Tabela 11. Teste T para amostras independentes em Itabaiana - SE

T	2,6637
Graus de Liberdade	129
P-valor	0,0087
Média da RH1	17,45
Média da RH2	9,28
Desvio-padrão amostral da RH1	22,38
Desvio-padrão amostral da RH2	11,90
Desvio-padrão agrupado	17,4905
Hipótese alternativa	0
Intervalo de Confiança	95%
Limite Inferior	2,1015
Limite Superior	14,2384

Conforme os resultados das análises estatísticas apresentados nas tabelas 10 e 11 pelo teste t, ao nível de significância de 5%, se detectaram a diferença estatística em apenas dois indicadores: Itabaiana - SE e Palmeira dos Índios - AL. A estatística do teste t para Itabaiana - SE é de 2,66. Como o p-valor foi de 0,0087 rejeitou-se a hipótese nula de igualdade das médias das duas populações, com base nos valores de  $\beta$  (Tabela 7). Já para Palmeira dos Índios - AL, o teste t foi de 2,49 e o p-valor de 0,0140. Também rejeitou a hipótese de igualdade das médias, com base nos valores de  $\beta$  (Tabela 7).

Os únicos postos que apresentaram diferença significativa foram Itabaiana - SE e Palmeira dos Índios - AL, os outros postos das regiões RH1, RH2 e RH3 apresentaram igualdades das médias de  $\alpha$  e  $\beta$ .

### 5.3 ANÁLISES DAS TENDÊNCIAS DOS ÍNDICES CLIMÁTICOS

Foi aplicado o teste de Mann-Kendall, com uma taxa de rejeição de 5%, às séries de precipitação máxima diária dos 133 municípios do NEB no período de 1910 a 2012. A Tabela 12 resume os resultados dessa análise de tendência. Setenta e dois postos (cerca de 54%) apresentaram tendência ascendente. Quarenta e oito postos (cerca de 36%) apresentaram tendência descendente e treze postos (cerca de 10%) apresentaram estacionariedade. De acordo com os resultados (Tabela 12), a maior parte das séries temporais dos municípios apresentou tendência ascendente no período de 1910 a 2012, mas em cerca de 46% dessas séries os resultados foram descendentes ou estacionários.

Tabela 12. Estatísticas do teste de Mann-Kendall no período de 1910 – 2012.

Postos	Nome do Município	Média	Desvio-padrão	Teste S	Tendência
1	Acaraú	22,8	10,1	1,242	Ascendente
2	Acopiara	26,3	7,4	0,390	Ascendente
3	Alagoinhas	26,1	5,1	0,362	Ascendente
4	Aquiraz	33,5	6,5	1,174	Ascendente
5	Aracaju	33,3	9,1	1,955	Ascendente
6	Aracati	24	7,1	1,448	Ascendente
7	Araci	21,8	6,2	0,447	Ascendente
8	Arapiraca	17,3	3,2	0,368	Estacionária
9	Araripina	22,6	6,6	0,009	Estacionária
10	Bacabal	37,5	4,4	1,436	Ascendente
11	Balsas	30,9	3,9	-1,128	Descendente
12	Barbalha	29,2	4,5	-0,120	Descendente
13	Barra	22,5	5,3	-1,576	Descendente
14	Barra do Corda	30	4,6	0,020	Estacionária
15	Barreiras	25,9	5,9	0,744	Ascendente
16	Bezerros	20,1	3,5	-0,672	Descendente
17	Boa Viagem	20,4	7,2	0,903	Ascendente
18	Brumado	21,2	5,2	-0,459	Descendente
19	Buíque	29	8,8	0,487	Ascendente
20	Caicó	21,3	6,6	1,536	Ascendente

Tabela 12 (continuação)

21	Cajazeiras	26,5	8,8	0,180	Ascendente
22	Camocim	26,5	13,1	3,229	Ascendente
23	Campina Grande	16,9	7,2	-1,886	Descendente
24	Campo Formoso	28,1	5,4	-0,333	Descendente
25	Canindé	19,3	3	0,333	Estacionária
26	Carpina	26,5	8,5	0,265	Ascendente
27	Caruaru	17,2	6,7	0,271	Ascendente
28	Casa Nova	19,9	6,6	0,872	Ascendente
29	Cascavel	30,2	9,4	-0,302	Descendente
30	Catu	28,9	6,4	-0,365	Descendente
31	Caucaia	30,1	8,1	1,063	Ascendente
32	Caxias	34,6	5,7	-0,237	Descendente
33	Ceará-Mirim	28,5	6,1	0,359	Ascendente
34	Chapadinha	37	4,7	0,000	Estacionária
35	Coruripe	34,2	6,4	0,624	Ascendente
36	Crateús	20,1	6,5	0,142	Ascendente
37	Crato	29,1	8	0,778	Ascendente
38	Cruz das Almas	27,4	3,6	-0,559	Descendente
39	Delmiro Gouveia	18,4	4,2	-0,123	Descendente
40	Dias D' Ávila	33,1	5,4	-0,134	Descendente
41	Escada	33,5	10,4	1,046	Ascendente
42	Estância	30	8,5	0,923	Ascendente
43	Euclides da Cunha	21,6	6,1	1,419	Ascendente
44	Feira de Santana	23	4	0,094	Estacionária
45	Florianópolis	27,9	5,2	-0,863	Descendente
46	Fortaleza	31,5	9,7	1,316	Ascendente
47	Garanhuns	16,1	5,3	-1,758	Descendente
48	Granja	23,7	7,8	0,818	Ascendente
49	Gravatá	18,1	5,1	0,530	Ascendente
50	Guanambi	19,2	5,5	0,524	Ascendente
51	Guarabira	28	9,4	2,012	Ascendente
52	Icó	23,3	6,8	1,177	Ascendente
53	Igarassu	43	5,5	0,145	Estacionária
54	Iguatu	25,1	7,8	1,903	Ascendente
55	Ilhéus	47	4,6	0,043	Estacionária
56	Imperatriz	35,9	4,8	-1,459	Descendente
57	Ipirá	22,7	6,5	1,339	Ascendente
58	Irecê	20,7	6,8	0,097	Ascendente
59	Itabaiana	17	4,6	-4,009	Descendente
60	Itaberaba	23,8	5,7	-0,407	Descendente
61	Itabuna	29,7	4	-0,342	Descendente
62	Itamaraju	30,7	4,7	-0,265	Descendente
63	Itapajé	18,7	6,3	1,658	Ascendente
64	Itapetinga	20,6	3,7	0,191	Ascendente
65	Itapipoca	23,5	6,3	-0,464	Descendente
66	Jacobina	22,8	8,7	-0,185	Descendente
67	Jaguaquara	21,2	3,8	-0,028	Descendente

Tabela 12 (continuação)

68	Jequié	19,6	6,4	0,473	Ascendente
69	João Pessoa	31	13,5	-3,063	Descendente
70	Juazeiro	16,6	6,8	-0,145	Descendente
71	Juazeiro do Norte	27,3	4,9	0,177	Estacionária
72	Lagarto	21,3	6,2	0,989	Ascendente
73	Limoeiro	24	4,8	1,009	Ascendente
74	Limoeiro do Norte	21	7,1	1,963	Ascendente
75	Macaíba	28,3	6,5	0,271	Ascendente
76	Maceió	28,8	11,7	-0,863	Descendente
77	Maracanaú	26,9	4,5	0,365	Ascendente
78	Maranguape	28,5	8,2	0,259	Ascendente
79	Monte Santo	20,7	5,6	0,459	Ascendente
80	Morada Nova	17,8	7,8	-2,379	Descendente
81	Moreno	20,4	3,4	-1,291	Descendente
82	Mossoró	20,3	9,8	2,080	Ascendente
83	Natal	34,9	7,2	0,530	Ascendente
84	Ouricuri	20,5	6,5	0,527	Ascendente
85	Pacatuba	30	5,7	1,525	Ascendente
86	Palmares	32,2	6,5	0,174	Ascendente
87	Palmeira dos Índios	20,3	7,9	-2,257	Descendente
88	Parnaíba	26,8	6,6	-0,670	Descendente
89	Patos	14,7	10,4	0,054	Ascendente
90	Paulo Afonso	25,4	8,8	-1,240	Descendente
91	Penedo	27,1	7,5	0,413	Ascendente
92	Pesqueira	20,4	6,7	0,188	Ascendente
93	Petrolina	16,8	5,8	2,909	Ascendente
94	Picos	20,9	6,6	-0,410	Descendente
95	Piripiri	32,2	8,2	0,083	Ascendente
96	Porto Seguro	39,2	4,2	-0,279	Descendente
97	Quixadá	17,3	6	-2,100	Descendente
98	Quixeramobim	21,8	5,3	0,918	Ascendente
99	Recife	34,8	18,4	7,680	Ascendente
100	Ribeira de Pombal	20,5	5,5	0,202	Ascendente
101	Rio Largo	28,4	6,6	-0,339	Descendente
102	Russas	22,6	3,2	-0,068	Descendente
103	S. Antônio de Jesus	24,1	5,1	-0,724	Descendente
104	S. C. do Capibaribe	15,4	4,1	-0,795	Descendente
105	S. G. do Amarante	33	3,3	-0,205	Descendente
106	S. L. da Mata	32,8	4	0,151	Estacionária
107	S. M. dos Campos	31,9	6,1	0,841	Ascendente
108	Salgueiro	21,1	6,2	1,715	Ascendente
109	Salvador	43,7	9,6	1,040	Ascendente
110	Santa Rita	28,3	16,3	1,579	Ascendente
111	São Benedito	36,1	10,2	1,148	Ascendente
112	São Bento da Una	20,1	5,2	0,245	Ascendente
113	São Cristovão	30	3,4	-0,490	Descendente
114	São Luis	42,3	8,3	1,385	Ascendente

Tabela 12 (continuação)

115	Sapé	27	6,4	0,547	Ascendente
116	Senhor do Bonfim	24,5	5,8	0,798	Ascendente
117	Serrinha	24,4	4,7	0,456	Estacionária
118	Sobral	19,1	3,9	-0,046	Descendente
119	Sousa	23,2	8,4	0,727	Ascendente
120	Surubim	17,7	5,7	0,721	Ascendente
121	Tauá	19,9	6,5	-2,285	Descendente
122	Teresina	32,4	12,2	0,940	Ascendente
123	Tianguá	26,2	6,1	0,687	Estacionária
124	Timbauba	26	6,9	1,656	Ascendente
125	Tobias Barreto	21,3	5,5	-1,260	Descendente
126	Trairi	31,1	6,7	-0,137	Descendente
127	Tucano	18,7	5,2	-0,419	Descendente
128	União dos Palmares	23,2	6,1	1,658	Ascendente
129	V. da Conquista	20,2	4,4	-0,066	Descendente
130	V. de Santo Antônio	24,5	6,2	1,185	Ascendente
131	Valença	30	5	-0,311	Descendente
132	Viçosa do Ceará	28,4	5,6	0,576	Estacionária
133	Zé Doca	37,8	5	-0,570	Descendente

#### 5.4 RISCOS NA REGIÃO NORDESTE

A ocupação dos cenários de riscos no Nordeste é resultado do modo de produção capitalista, da expansão urbana e da histórica má distribuição de renda do país. Para sobreviver na cidade dominada pelas relações de produção e de propriedades capitalistas, o homem expulso do campo e de dentro da própria cidade não tem outra escolha se não habitar as áreas de encostas e de várzeas, já que de alguma maneira é preciso morar. Em todo período chuvoso, principalmente quando as chuvas são mais rigorosas, há ocorrência de casos de inundações, interdição de moradias com risco de desabamento e deslizamentos.

De acordo com a análise dos cenários de riscos do Nordeste, pode-se observar a existência de vários fatores condicionantes que demonstram a susceptibilidade da área quanto aos riscos ambientais de enchentes e deslizamentos.

Em resumo, o risco é a probabilidade de perda esperada para uma área habitada em um determinado tempo, devido à presença iminente de um perigo (UNDP, 2004). Como se sabe o perigo e a vulnerabilidade do sistema que está preste a ser impactado depende da densidade

demográfica, da infraestrutura, da pobreza da população etc. O risco é calculado pela seguinte equação:

$$R = 1 - \left[ 1 - \left( \frac{1}{T} \right)^n \right] \quad (38)$$

Com base nos dados de precipitação máxima diária no NEB para os períodos de 1910 a 2012, um total de 103 anos, foram selecionados valores de chuvas máximas superiores a 30 mm/dia. As Figuras 7, 8 e 9 exibem a porcentagem dos riscos de eventos máximos de chuvas para os próximos cinco anos, de 2013 à 2017, para as cidades de Salvador - BA, Recife - PE e Fortaleza - CE. Nessas Figuras nota-se que à medida que o tempo passa o risco aumenta.

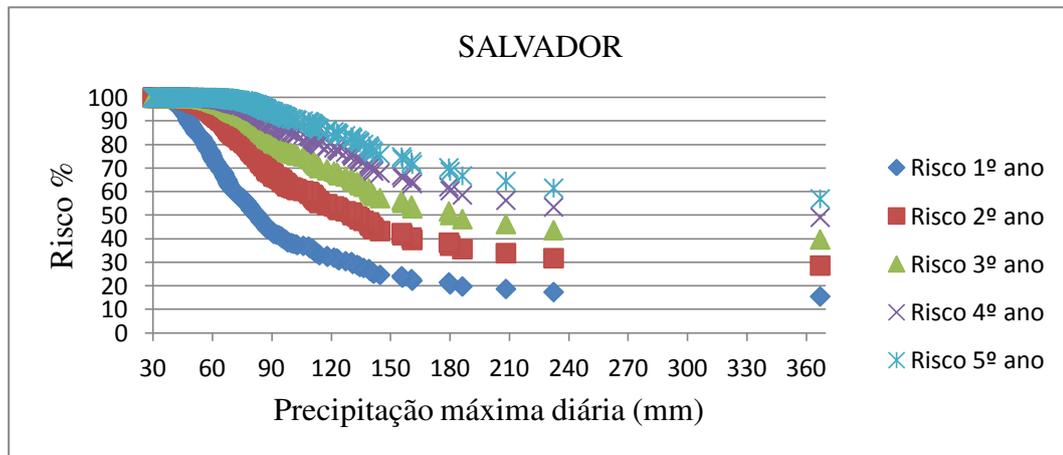


Figura 7. Porcentagem dos riscos de chuvas máximas diárias para a cidade de Salvador - BA.

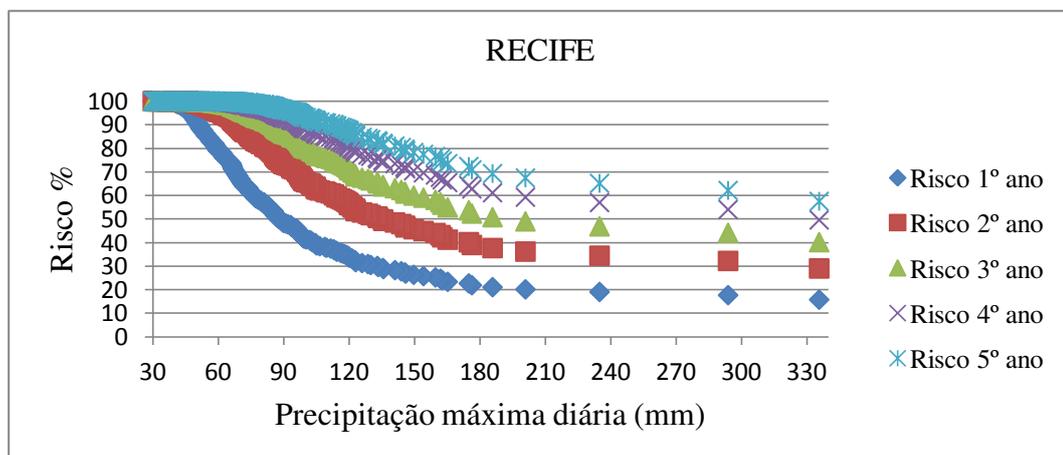


Figura 8. Porcentagem dos riscos de chuvas máximas diárias para a cidade de Recife - PB.

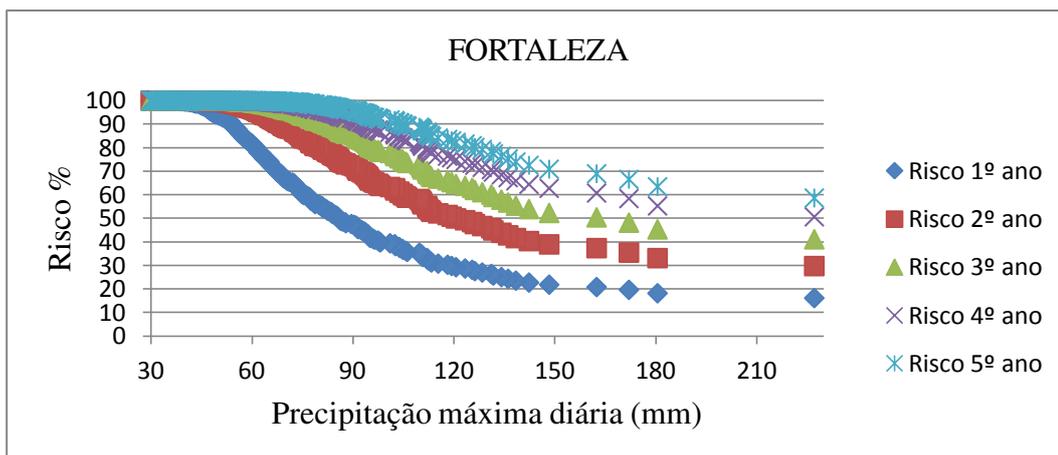


Figura 9. Porcentagem dos riscos de chuvas máximas diárias para a cidade de Fortaleza - CE.

De acordo com os resultados obtidos as chuvas máximas iguais ou inferiores a 36 mm/dia ocorrem com 100 % de probabilidade em qualquer um dos cinco anos, nos meses de pico de chuvas nas cidades de Salvador - BA, Recife - PE e Fortaleza - CE. O risco de uma chuva máxima de 90,2 mm/dia ocorrer em Salvador - BA varia de 43,2% no primeiro ano a 94,1% no quinto ano. Já a ocorrência de uma chuva máxima de 70,1 mm/dia em Recife - PE tem risco associado de 66,9% no primeiro ano a 99,6% no quinto ano. E o risco de uma chuva máxima de 80,0 mm/dia ocorrer em Fortaleza - CE varia de 55,8% no primeiro ano a 98,3% no quinto ano. Esses fatos explicam, em parte, o sofrimento da população carente que ocupa as áreas de médio e alto riscos de inundação e de deslizamento de terra.

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Foram verificadas tendências crescente ou decrescente de chuvas para quase todos os municípios analisados da região Nordeste. A região RH2 foi a que apresentou os períodos de retornos de chuva mais elevados, sendo representado por Igarassu - PE, cuja estimativa de chuvas é de 224,3 mm para o período de retorno de 50 anos e 247,9 mm para 100 anos. Itabaiana - SE com 88 mm para o período de retorno de 50 anos e 94,5 mm para 100 anos, na região RH1, foi o município onde se registrou o menor período de chuva no estudo. Os dados faltosos em algumas séries temporais foram à limitação para a realização deste estudo.

A probabilidade do risco de chuvas extremas, nas cidades de Salvador - BA, Recife - PE e Fortaleza - CE, iguais ou inferiores a 36 mm/dia é de 100 % em qualquer um dos cinco anos, nos meses de pico de chuvas.

Os resultados das análises de riscos para o 1º ano, 2º ano, 3º ano, 4º ano e 5º ano podem ser vistos no Apêndice B. Aqui foram analisados todos os 133 municípios da região estudada. Por motivo de falhas nos dados observados foram considerados apenas os valores de precipitação máxima superiores a 30 mm/dia.

A ocorrência de chuvas com magnitudes entre 70,1 e 90,2 mm/dia, causa sérios transtornos às populações das cidades de Salvador, Recife e Fortaleza, principalmente à população excluída dos serviços básicos de infraestrutura.

Os sistemas que atuam no NEB, no primeiro quadrimestre do ano, os VCAS e a ZCIT, de meso e grande escalas, podem ser intensificados por efeitos locais e causar intensidade na precipitação, principalmente no litoral e na zona de transição do agreste para a região central do Nordeste.

Os maiores problemas de riscos ambientais no NEB resultam da ocupação das várzeas pela população carente. Neste caso, as ações e inações antrópicas são responsáveis diretas pelas consequências dos desastres naturais.

Os resultados obtidos permitem sugerir em estudos futuros:

- Aplicar a metodologia em uma série de dados maior, com distribuição espacial mais abrangente e mais específica para cada sub-região do NEB;

- Evidenciar outros tipos de sistemas causadores de chuvas intensas na região do NEB, fenômenos esses de escalas menores, como brisa marítima e a influência mais elaborada do efeito local;
- Analisar a climatologia dinâmica das chuvas intensas com o auxílio de imagens de satélite a fim de identificar o sistema gerador desses eventos e estudar casos particulares;
- Implementar serviços de fiscalização do uso do solo em locais inadequados, por parte dos órgãos públicos competentes, para contenção da expansão urbana sobre os locais com alta susceptibilidade à enchente e deslizamento, evitando o surgimento de novos adensamentos populacionais em condições de risco e exposição ao perigo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEITUNO, P. On the Functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Parte II: Upper-air Circulation. **Journal of Climate**, 4 (2): 341-355, 1989.

ADAMOWSKI, K.; ALILA, T.; PILON N, P. J. Regional rainfall distribution for Canada. **Atmospheric Research**, 42, 75-88, 1996.

AHAMMED, F, HEWA, G. A., ARGUE, J. R. Variability of annual daily maximum rainfall of Dhaka, Bangladesh. **Atmospheric Research**. 137, 176 – 182, 2014.

AKAHIRA, M. Confidence interval for the difference of means: application to the Behrens-Fisher type problem. **Statistical Papers**, v. 43, n. 2, p. 273-284, 2002.

ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A. M. G.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; RUPA KUMAR, J.; REVADEKAR, K. ; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET,; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M. and Vazquez-Aguirre, J. L., 2006. Global observed changes in daily climatic extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, D05109, doi:10.1029/2005JD006290, 2006.

ARAGÃO, J. O. Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do nordeste do Brasil. Tese de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1975.

BENISTON, M., STEPHENSON, D.B. Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. **Global Planet. Change** 44, 1–9, 2004.

BOCHEVA, L.; MARINOVA, T.; SIMEONOV, P.; GOSPODINOV, I. Variability and trends of extreme precipitation events over Bulgaria (1961–2005). **Atmospheric Research**. v.93, 490 – 497p., 2009.

BORGES, L. C; FERREIRA, D. F. Comparação de duas aproximações do teste t com variâncias heterogêneas através de simulação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 390-403, abr./jun. 1999.

BRATH, A. Hydrometeorological aspect of the 1994 flooding in the upper Po river basin: frequency characteristics and real- time predictability. University of Bologna. U.S.- Italy.

BRITO, N.M.; JUNIOR, O.P. de A.; POLESE, L. & RIBEIRO, M.L. **Validação de métodos analíticos: estratégia e discussão**. Pesticidas: R.Ecotoxicol. e Meio Ambiente, Curitiba, v. 130 13, jan./dez. 2003.

BRUNETTI, M.; COLACINO, M.; MAUGERI, M.; NANNI, T. Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996. **International Journal of Climatology**. v.21, 299–316p., 2001.

BUZZI, A., N. TARTAGLIONE, C. CACCIAMANI, T. PACCAGNELLA E P. Patruno. Preliminary meteorological analysis of the Piedmont fold of November 1994. **Mesoscale Alpine Programme Newsletter**. 1995.

CHRISTENSEN, O. B.; CHRISTENSEN, J. H. Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. **Global and Planetary Change**. v.44, 107– 117p., 2004.

CHU, P. S. Diagnostic studies of rainfall anomalies in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, 111: 1655-1664, 1983.

CHUNG, J. C. Correlations between the tropical Atlantic trade winds and precipitation in Northeastern Brazil. **Journal of Climatology of Northeast Brazil**. Journal of climatology, 2: 35-46, 1982.

CLARKE, R. T.; SILVA, B. C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.3, 265-272, 2004.

COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental designs**. 2. ed. Singapore: John Wiley & Sons, 611 p, 1957.

CORONADO, M. Extreme value theory (EVT) for risk managers pitfall and opportunities in the use of EVT in measuring EVT. [Http: //www.gloriamundi.org/var/pub/coronadoEVT.pdf](http://www.gloriamundi.org/var/pub/coronadoEVT.pdf) (10 dez 2000).

DEVORE, JAY L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. 1ª Ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

DOWNING, D. & CLARK, J. **Estatística Aplicada**. 1ª Ed. São Paulo: Saraiva, 2000.

ESPINOZA, E. S. Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico tropical. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos, INPE, 1996.

FONSECA, J.S. & MARTINS, G.A. **Curso de Estatística**. 6ª Ed. São Paulo: Atlas, 1996.

FOWLER, H. J.; KILSBY, C. G. A regional frequency analysis of United Kingdom extreme rainfall from 1961 to 2000. **International Journal Climatology**. v.23, 1313 – 1334p., 2003.

FREUND, J.E. & SIMON, G.A. **Estatística Aplicada**. 9ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.

FRICH, P.; ALEXANDER, L.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; KLEIN TANK, A. M. G.; PETERSON, T.C. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**. v.19, 193 – 212p., 2002.

FU, G. B.; BARBER, M.B.; CHEN, S. L. Hydro-climatic variability and trends in Washington State for the last 50 years. **Hydrological Processes**. v.24, 866 – 878p. 2010, DOI:10.1002/hyp.7527. 2010.

GHOSH, S., DAS, D., KAO, S. C., GANGULY, A. R. Lack of uniform trends but increasing spatial variability in observed Indian rainfall extremes. **Nature Climate Change**, 02, 86 – 91, 2011.

GROISMAN, P. Y.; KNIGHT, R.W.; EASTERLING, D. R.; KARL, T. R.; HEGERL, G. C.; RAZUVAEV, V. N. Trends in intense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**. v.18, 1326 – 1350p., 2005.

HASTENRATH, S. Predictability of Northeast Brazil Drought. **Nature**, 307: 531-533, 1984.

HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. Statistical Methods in Water Resources. **Elsevier Science**, 529 p., 1995.

HENNESSY, K. J.; SUPPIAH, R.; PAGE, C. M. Australian rainfall changes, 1910 – 1995. **Australian Meteorology Magazine**. v. 48, 1 – 13p., 1999.

JENA, P. P., CHATTERJEE, C., PRADHAN, G., MISHRA, A. Are recent frequent high floods in Mahanadi basin in eastern India due to increase in extreme rainfalls? **Journal of Hydrology**. 517, 847–862, 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. <http://www.ibge.gov.br>

ICH Harmonised Tripartite Guideline, Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology. In: THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON HARMONISATION OF TECHNICAL REQUIREMENT FOR REGISTRATION OF PHARMACEUTICALS FOR HUMAN USE. p.5, 1996. Disponível em: [http://www.ich.org/fileadmin/Public\\_Web\\_Site/ICH\\_Products/Guidelines/Quality/Q2\\_R1/Step4/Q2\\_R1\\_Guideline.pdf](http://www.ich.org/fileadmin/Public_Web_Site/ICH_Products/Guidelines/Quality/Q2_R1/Step4/Q2_R1_Guideline.pdf). Acesso em: 14 de dezembro, 2011.

KARL, T. R.; KNIGHT, R. W.; PLUMMER, N. Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century. **Nature**. v. 377, 217 – 220p., 1995.

KARL, T. R.; KNIGHT, R.W. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v.79, 231–241p., 1998.

KENDALL, M. G. Rank Correlation Methods, Griffin, London, U.K., 1975.

KHAN, S., KUHN, G., GANGULY, A.R., ERICKSON III, D. J., OSTROUCHOV, G. Spatio-temporal variability of daily and weekly precipitation extremes in South America. **Water Resources Research.** 43, p.W11424 <http://dx.doi.org/10.1029/2006WR005384>, 2007.

KOBIYAMA, M., MENDONÇA, M., MORENO, D. A., MARCELINO, I. P. V. DE O., MARCELINO, E. V., GONÇALVES, E. F., BRAZETTI, L. L. P., GOERL, R. F., MOLLERI, G. S. F., RUDORFF, F. M. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos**, primeira edição. Curitiba, Ed. Organic Trading, 109 p, 2006.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, 107: 1140-1153. 1979.

KOUSKY, V. E.; GAN M.A. Upper tropospheric cyclones vórtices in the tropical south atlantic. **Tellus**, 33: 538-551. 1981.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica.** v. 13, 245–259p. 1945.

Ministério das Cidades (MINC-Brasil) / IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Organizadores: Carvalho, C.S., MACEDO, E. S., OGURA, A.T.; Brasília - DF, 2007.

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

MOTA, G. V. Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no nordeste brasileiro. Dissertação de Mestrado. São Paulo, USP, 1997.

MORENO, E.; BERTOLINO, F.; RACUGNO, W. Default bayesian analysis of the behrens-fisher problem. **Journal of Statistical Planning and Inference**, Amsterdam, n. 81, v. 2, p. 323-333, nov., 1999.

NEMEC, J. Hydrological forecasting. **Dordrecht**. 1987.

NICHOLLS, N. Long-term climate monitoring and extreme events. **Climatic Change**. v. 31, 231–245p., 1995.

O’GORMAN, P. A.; SCHNEIDER, T. The physical basis for increases in precipitation extremes in simulations of 21st-century climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 106, 14773–14777p., 2009.

OSBORN, H. B.; LANE, L. J.; MYERS, V. A. Rainfall watershed relationships for southwestern thunderstorms. **Transactions of the ASAE**, v. 23, n. 1, p. 82-87, 1980.

PAIVA NETO, A. C. Distúrbios de leste: Diagnóstico e relação com a precipitação no estado da Paraíba em períodos de contraste. Dissertação de Mestrado. Campina Grande, Paraíba, 2003.

PALMER, C. E. On high-level cyclones originating in the tropics. **Transaction of American Geophysics Union**, 32 (5), 683-695, 1951.

PATRA, J. P., MISHRA, A., SINGH, R., RAGHUWANSHI, N. S. Detecting rainfall trends in twentieth century (1871–2006) over Orissa State, India. **Climatic Change**, 111, 801 –817, 2012.

PLUMMER N.; SALINGER M.J.; NICHOLLS, N.; SUPPIAH, R, HENNESSY, K.J.; LEIGHTON, R. M.; TREWIN B.; LOUGH, J. M. Twentieth century trends in climate extremes over the Australian region and New Zealand. **Climatic Change**. v. 42, 183 – 202p., 1999.

RAJEEVAN, M., BHATE, J., JASWAL, A. K. Analysis of variability and trends of extreme rainfall events over India using 104 years of gridded daily rainfall data. **Geophysical Research Letters**. 35, p. L18707 <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL035143>, 2008.

RAMIREZ, M.C.V. Padrões dos vórtices ciclônicos em altos níveis no nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.

RAO, V. B.; BONATTI, J. P. On the origin of upper tropospheric cyclonic vórtice in the south atlantic ocean and adjoining Brazil during the summer. **Meteorol. Atmos. Phys.**, 37, 11-16, 1987.

RATISBONA, C. R. The climate of Brazil. In: *Climates of Central and South America. World Survey of Climatology*, Elsevier, 12: 219-293, 1976.

SATTHELTHWAITE, F. E. An approximate distribution of estimates of variance components. **Biometric Bulletin**, London, v. 2, p. 110-114, 1946.

SEN ROY, S., BALLING, R.C. Trends in extreme daily precipitation indices in India. **International Journal of Climatology**. 24, 457–466, 2004.

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical methods**. 7. ed. Ames: The Iowa State University, 507 p, 1980.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística: livros técnicos e científicos**. 7. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 410 p, 1999.

United Nations Development Programme (UNDP). *Reducing disaster risk: a challenge for development*. New York, USA: UNDP, 146 p, 2004.

UVO, C. R. B. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte e nordeste brasileiro. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. INPE. São José dos Campos, 1989.

VIEIRA, S. **Análise de variância (ANOVA)**. 1ª Ed. São Paulo: Atlas, 2006.

VISHER, S. S. Tropical cyclones of the Pacific. Honolulu, Bernice T.Bissop Museum. Bulletin nº 20, 163, 1925.

WAN ZIN, W. Z., JAMALUDIN, S., DENI, S.M., JEMAIN, A. A. Recent changes in extreme rainfall events in Peninsular Malaysia: 1971–2005. **Theoretical and Applied Climatology**. 99, 303–314, 2010.

WEGGEL, J. R. Are floods on the Delaware River getting worse? **Journal of Hydrologic Engineering**, 16, 263 – 265, 2011.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. San Diego– CA: Academic Press, 467p, 1995.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V. B. Tropical cloudiness South Atlantic Ocean. **Journal of Meteorological Society of Japan**, 55: 205-207, 1977.

YOUNG, C. B.; MCENROE, B. M. Updated precipitation frequency estimates for Kansas City: Comparison with TP-40 and HYDRO-35. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.11, 206 –213p., 2006.

YUE, S; PILON P; PHINNEY B. Canadian stream flow trend detection: impacts of serial and cross-correlation. **Hydrological Sciences Journal**, v.48, 51– 63p., 2003.

ZHANG, Q.; XU, C.-Y.; CHEN, X. H.; ZHANG, Z. Statistical behaviors of precipitation regimes in China and their links with atmospheric circulation 1960–2005. **International Journal of Climatology**, v. 31, 1665–1678p., 2011.

ZOLINA, O.; SIMMER, C.; GULEV, S. K., KOLLET, S. Changing structure of European precipitation: longer wet periods leading to more abundant rainfalls. **Geophysical Resources Letters**, 37: L06704, doi: 10.1029/2010GL042468, 2010.

## 8. APÊNDICE A

Tabela 1. Relação dos 133 postos de coleta de dados de precipitação no NEB.

Número de estações	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Postos	Estados
1	-37,98	-9,38	256	Delmiro Gouveia	Alagoas
2	-36,65	-9,4	342	Palmeira dos Índios	
3	-36,05	-9,17	155	União dos Palmares	
4	-35,83	-9,48	62	Rio Largo	
5	-36,65	-9,75	264	Arapiraca	
6	-36,1	-9,78	12	São M. dos Campos	
7	-35,72	-9,65	30	Maceió	
8	-36,58	-10,28	28	Penedo	
9	-36,17	-10,12	10	Coruripe	
10	-37,67	-10,92	183	Lagarto	Sergipe
11	-37,42	-10,68	186	Itabaiana	
12	-37,05	-10,9	3	Aracaju	
13	-38	-11,18	157	Tobias Barreto	
14	-37,2	-11,02	20	São Cristovão	
15	-37,45	-11,27	53	Estância	
16	-38,57	-6,88	291	Cajazeiras	Paraíba
17	-38,23	-6,75	200	Sousa	
18	-35,48	-6,85	89	Guarabira	
19	-37,28	-7,02	250	Patos	
20	-35,87	-7,22	508	Campina grande	
21	-35,23	-7,1	125	Sapé	
22	-34,98	-7,13	16	Santa Rita	
23	-34,88	-7,12	5	João Pessoa	
24	-37,35	-5,2	15	Mossoró	
25	-35,43	-5,63	40	Ceará-Mirim	
26	-35,33	-5,78	20	São G. do Amarante	
27	-35,22	-5,8	20	Natal	
28	-35,35	-5,85	50	Macaíba	
29	-37,1	-6,45	143	Caicó	
30	-41,78	-4,28	160	Piripiri	Piauí
31	-42,82	-5,08	72	Teresina	
32	-43,01	-6,76	123	Floriano	
33	-41,47	-7,08	195	Picos	
34	-41,76	-3,08	79,5	Parnaíba	
35	-45,65	-3,26	45	Zé Doca	Maranhão
36	-44,21	-2,53	51	São Luis	
37	-47,48	-5,53	123	Imperatriz	
38	-43,35	-3,73	103	Chapadinha	

Tabela 1 (continuação)

39	-43,35	-4,86	104	Caxias	
40	-45,23	-5,5	153	Barra do Corda	Maranhão
41	-46,03	-7,53	259	Balsas	
42	-44,76	-4,21	25	Bacabal	
43	-40,83	-2,9	5	Camocim	
44	-40,12	-2,88	7	Acaraú	
45	-40,83	-3,12	9	Granja	
46	-41,08	-3,57	685	Viçosa do Ceará	
47	-40,98	-3,73	795	Tianguá	
48	-40,37	-3,67	110	Sobral	
49	-40,87	-4,05	903	São Benedito	
50	-39,25	-3,28	20	Trairi	
51	-39,58	-3,5	98	Itapipoca	
52	-39,58	-3,68	280	Itapajé	
53	-38,65	-3,73	32	Caucaia	
54	-38,53	-3,73	26	Fortaleza	
55	-38,68	-3,88	67	Maranguape	
56	-38,62	-3,87	40	Maracanaú	
57	-38,62	-3,97	54	Pacatuba	
58	-38,38	-3,9	30	Aquiraz	
59	-39,33	-4,35	130	Canindé	Ceará
60	-38,23	-4,13	30	Cascavel	
61	-38,02	-4,98	180	Quixadá	
62	-37,77	-4,57	20	Aracati	
63	-37,97	-4,93	20	Russas	
64	-40,4	-5,11	275	Crateús	
65	-39,73	-5,13	235	Boa Viagem	
66	-39,3	-5,2	187	Quixeramobim	
67	-39,38	-5,1	50	Morada Nova	
68	-38,1	-5,15	35	Limoeiro do Norte	
69	-39,47	-6,1	250	Acopiara	
70	-39,3	-6,37	213	Iguatu	
71	-38,85	-6,42	160	Icó	
72	-39,38	-7,22	421	Crato	
73	-39,32	-7,2	400	Juazeiro do Norte	
74	-39,3	-7,31	409	Barbalha	
75	-40,41	-6	399	Tauá	
76	-41,13	-9,4	380	Casa Nova	
77	-40,5	-9,42	371	Juazeiro	
78	-38,25	-9,35	250	Paulo Afonso	
79	-40,18	-10,45	544	Senhor do Bonfim	
80	-40,32	-10,5	545	Campo Formoso	Bahia
81	-43,15	-11,08	410	Barra	
82	-41,87	-11,3	722	Irecê	
83	-40,52	-11,17	460	Jacobina	
84	-44,98	-12,15	435	Barreiras	

Tabela 1 (continuação)

85	-40,3	-12,32	270	Itaberaba	
86	-40,08	-13,87	199	Jequié	
87	-42,78	-14,22	483	Guanambi	
88	-41,67	-14,2	457	Brumado	
89	-40,83	-14,85	928	Vitória da Conquista	
90	-39,33	-10,43	489	Monte Santo	
91	-39,02	-10,5	523	Euclides da Cunha	
92	-38,53	-10,83	228	Ribeira de Pombal	
93	-38,77	-10,97	209	Tucano	
94	-38,95	-11,33	212	Araci	
95	-39	-11,65	377	Serrinha	
96	-39,73	-12,15	299	Ipirá	
97	-38,97	-10,27	257	Feira de Santana	Bahia
98	-38,4	-12,12	140	Alagoinhas	
99	-38,38	-12,37	80	Catu	
100	-38,1	-12,68	220	Cruz das Almas	
101	-39,15	-12,97	215	S. Antônio de Jesus	
102	-38,3	-12,6	15	Dias D'Ávila	
103	-39,07	-13,38	59	Valença	
104	-38,52	-13,02	10	Salvador	
105	-39,95	-13,53	774	Jaguaquara	
106	-39,27	-14,8	55	Itabuna	
107	-39,03	-14,8	45	Ilhéus	
108	-40,25	-15,27	268	Itapetinga	
109	-39,07	-16,45	4	Porto Seguro	
110	-39,53	-17,07	80	Itamaraju	
111	-40,57	-7,55	620	Araripina	
112	-40,07	-7,88	432	Ouricuri	
113	-40,5	-9,38	376	Petrolina	
114	-36,12	-7,95	472	S. C. do Capibaribe	
115	-35,75	-7,83	380	Surubim	
116	-35,32	-7,52	190	Timbauba	
117	-35,47	-7,87	138	Limoeiro	
118	-35,25	-7,85	184	Carpina	
119	-39,12	-8,07	415	Salgueiro	
120	-36,7	-8,37	650	Pesqueira	Pernambuco
121	-35,75	-8,23	471	Bezerros	
122	-35,57	-8,22	447	Gravatá	
123	-35,97	-8,28	545	Caruaru	
124	-35,05	-8,03	70	S. Lourenço da Mata	
125	-35,3	-8,12	137	V. de Santo Antônio	
126	-35,08	-8,12	96	Moreno	
127	-37,12	-8,62	798	Buíque	
128	-35,23	-8,37	93	Escada	
129	-36,37	-8,52	645	São Bento da Una	

Tabela 1 (continuação)

130	-36,48	-8,88	866	Garanhuns	Pernambuco
131	-35,6	-8,68	109	Palmares	
132	-34,9	-7,83	22	Igarassu	
133	-34,88	-8,03	10	Recife	

## 8.1 APÊNDICE B

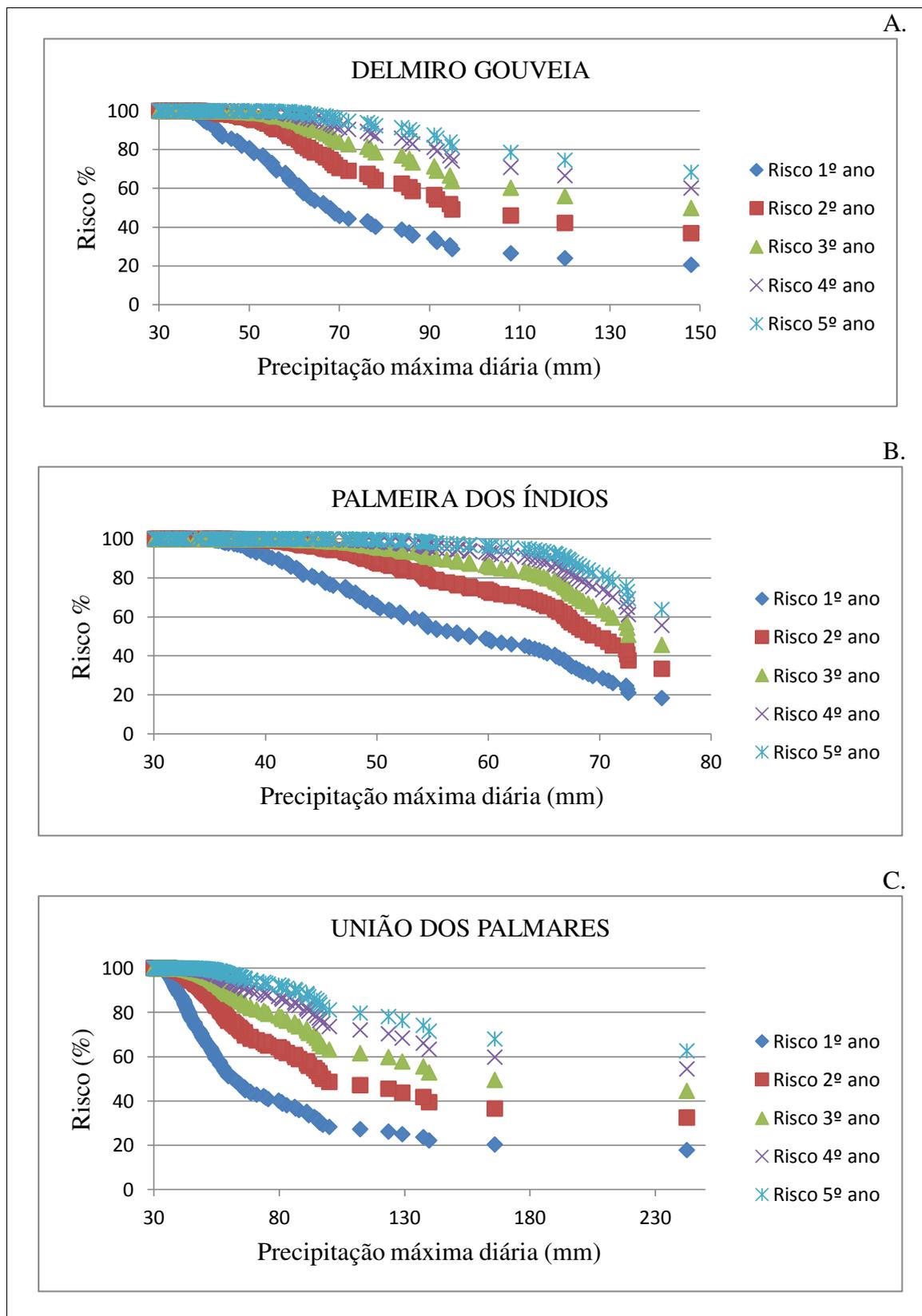


Figura 10. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Alagoas.

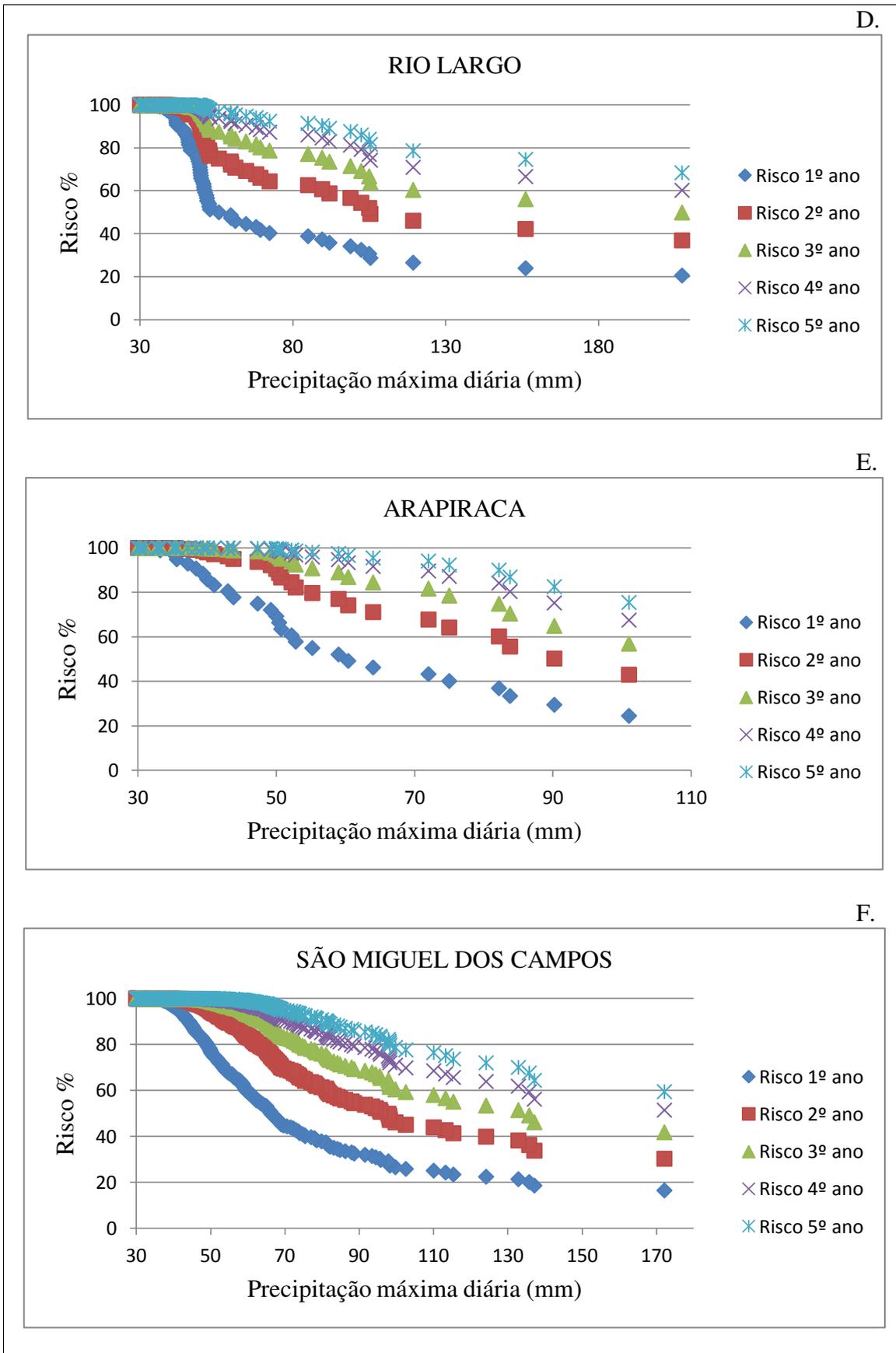


Figura 11. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Alagoas.

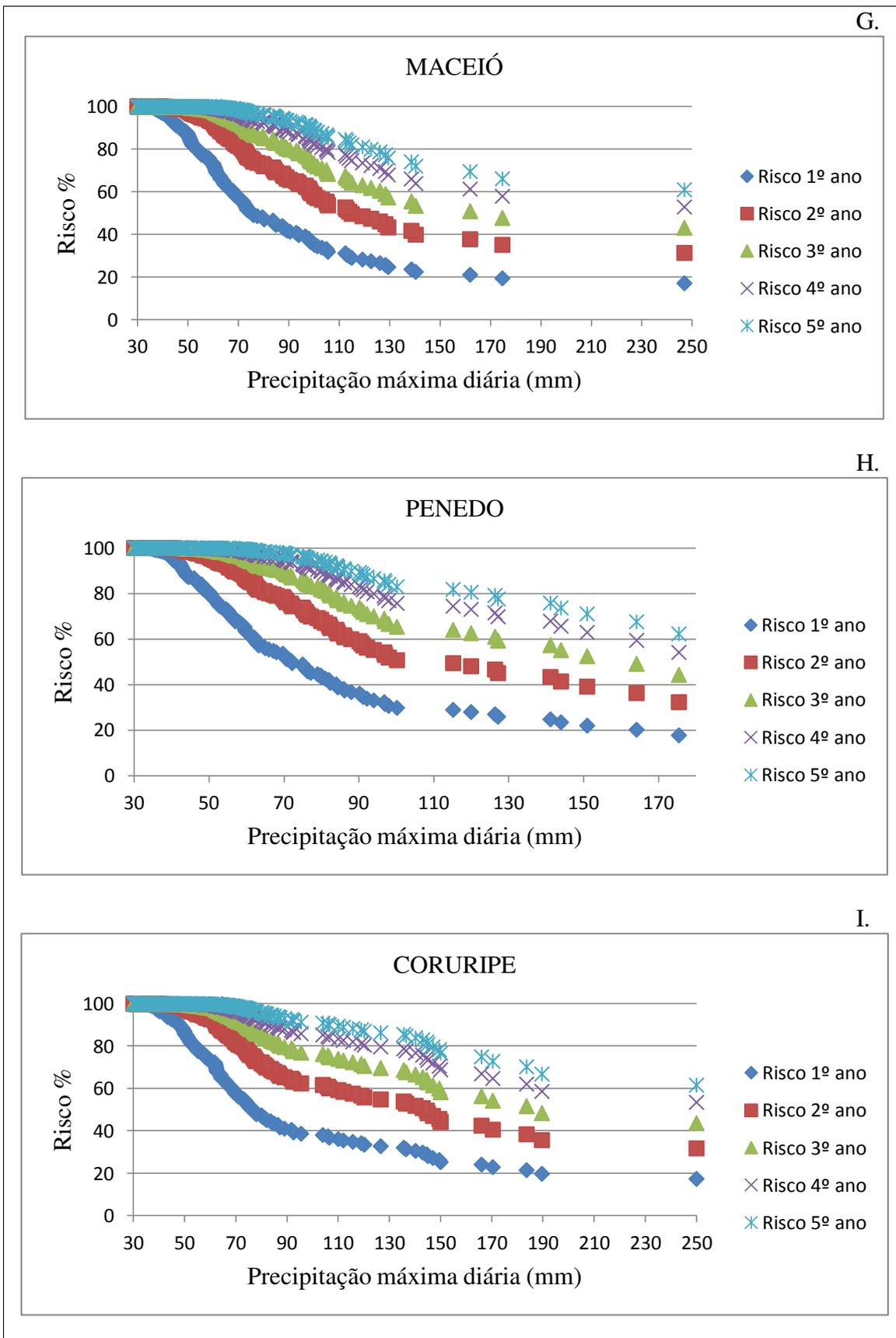
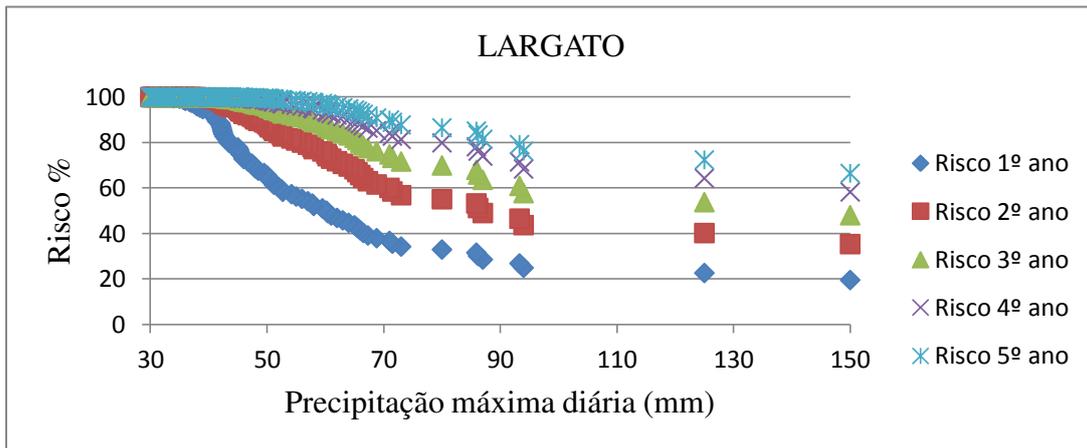
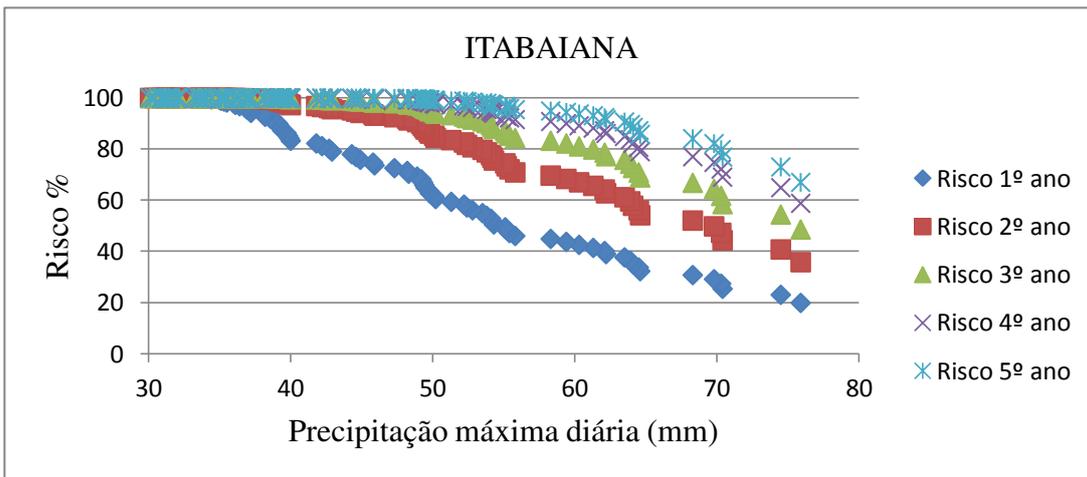


Figura 12. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Alagoas.

J.



K.



L.

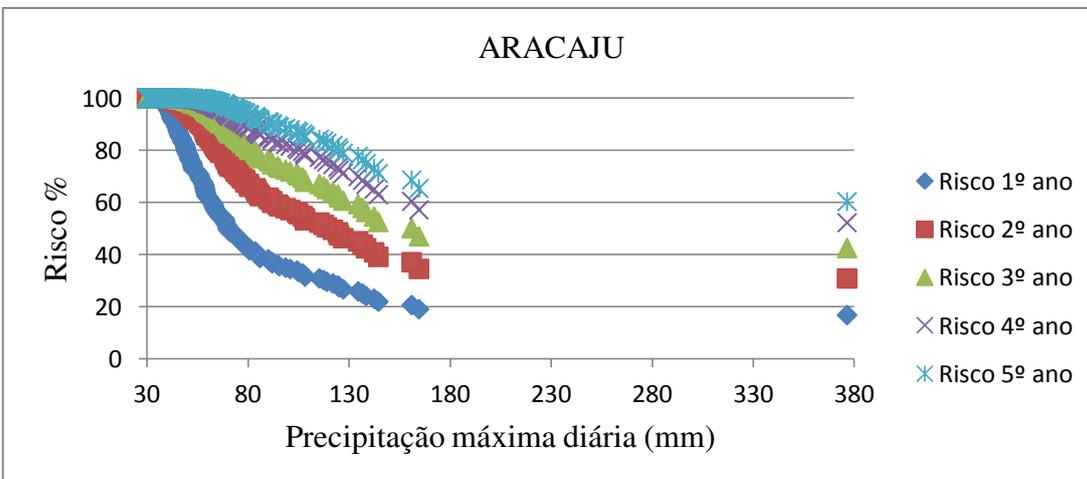
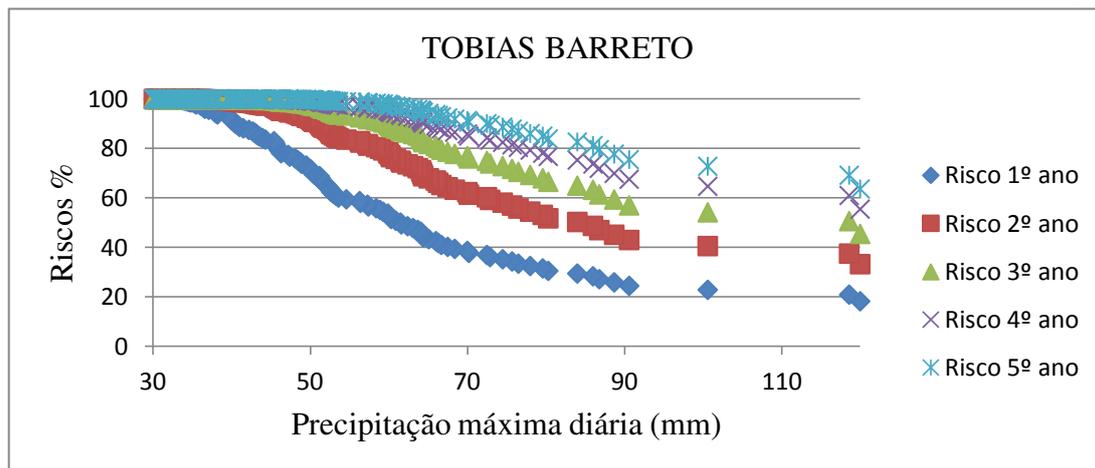
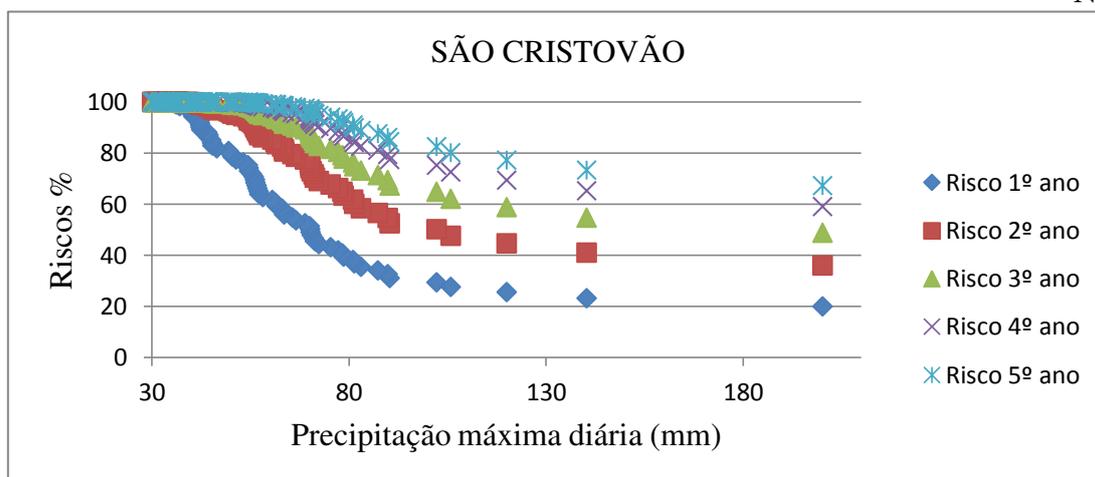


Figura 13. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Sergipe.

M.



N.



O.

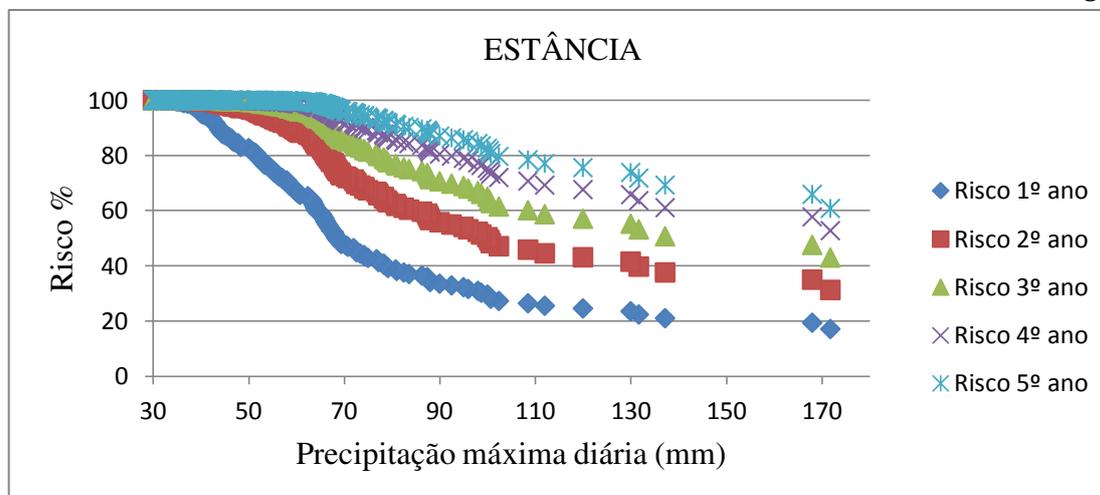


Figura 14. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Sergipe.

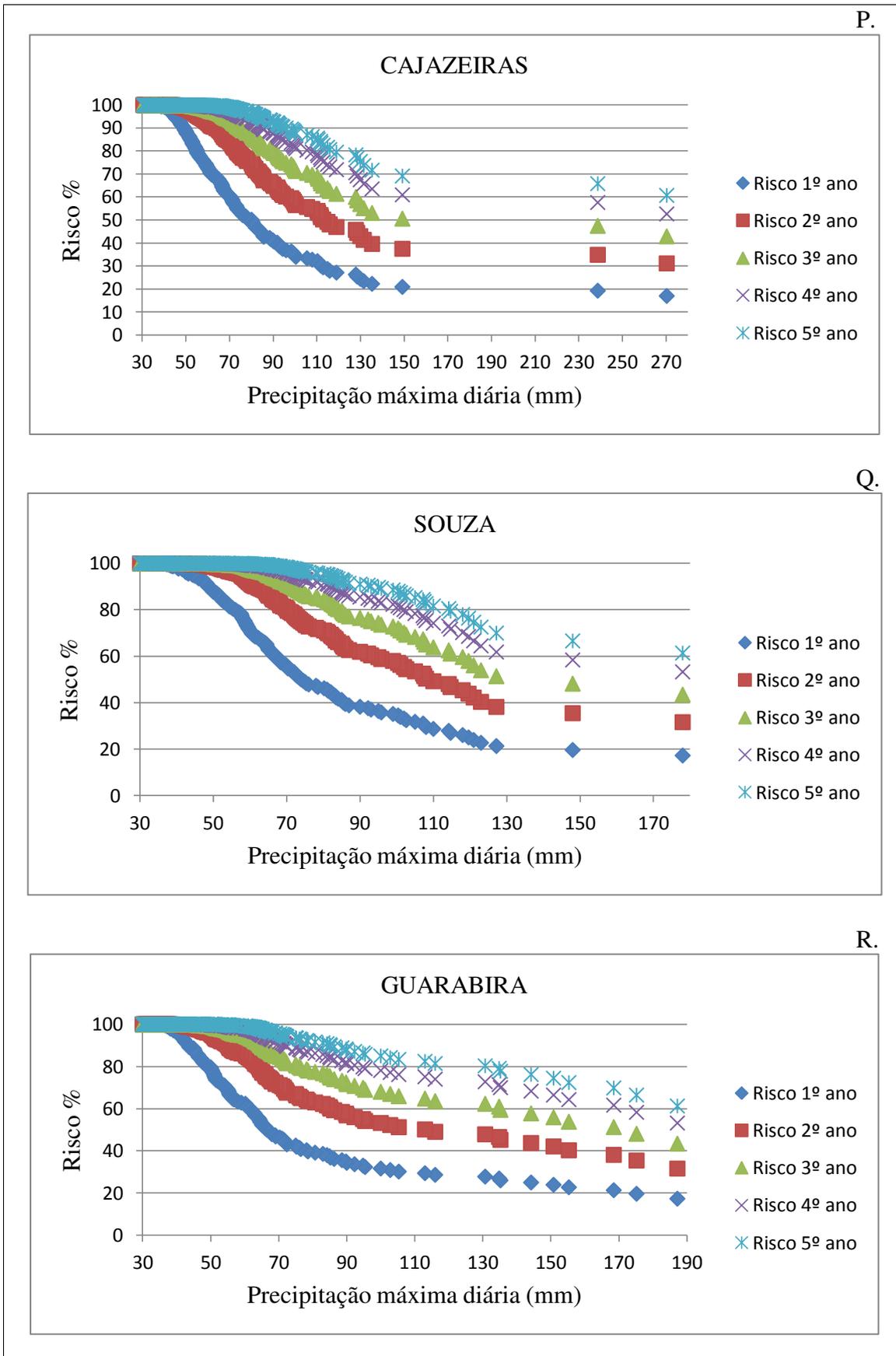


Figura 15. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Paraíba.

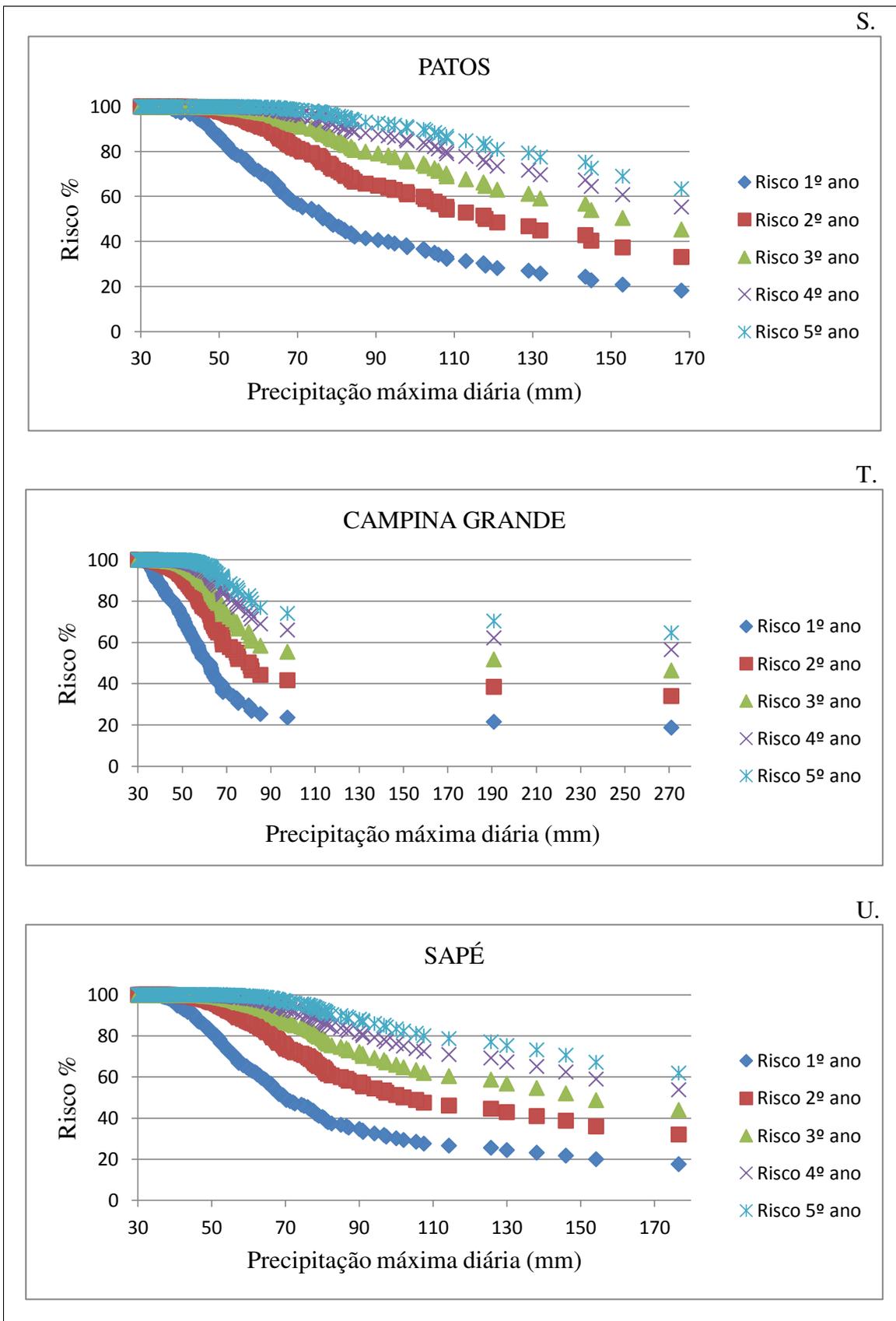
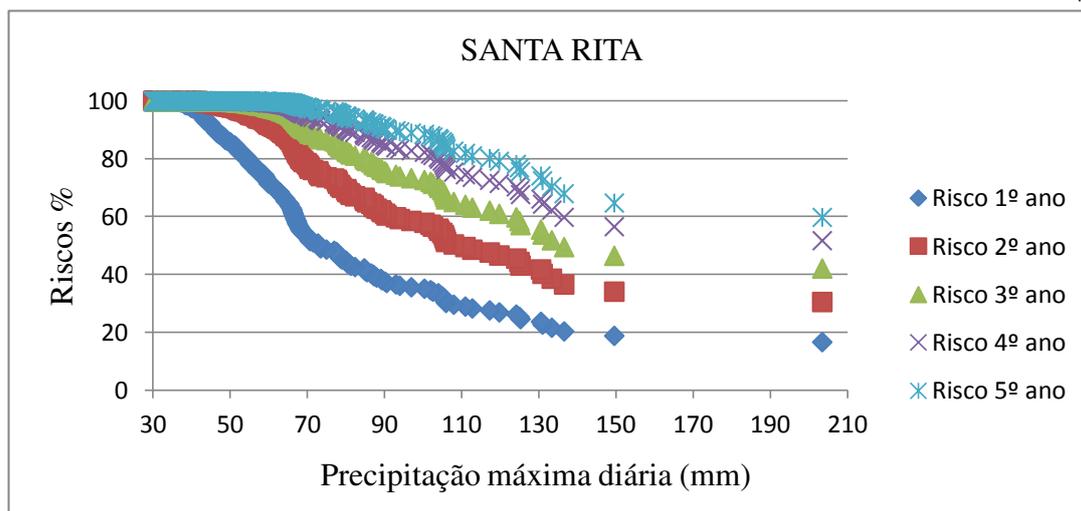
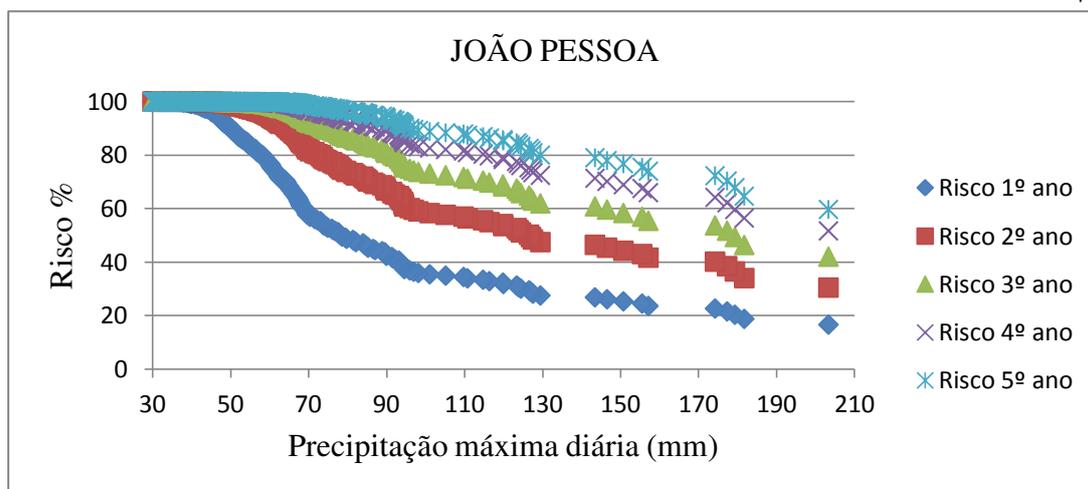


Figura 16. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Paraíba.

V.



W.



Y.

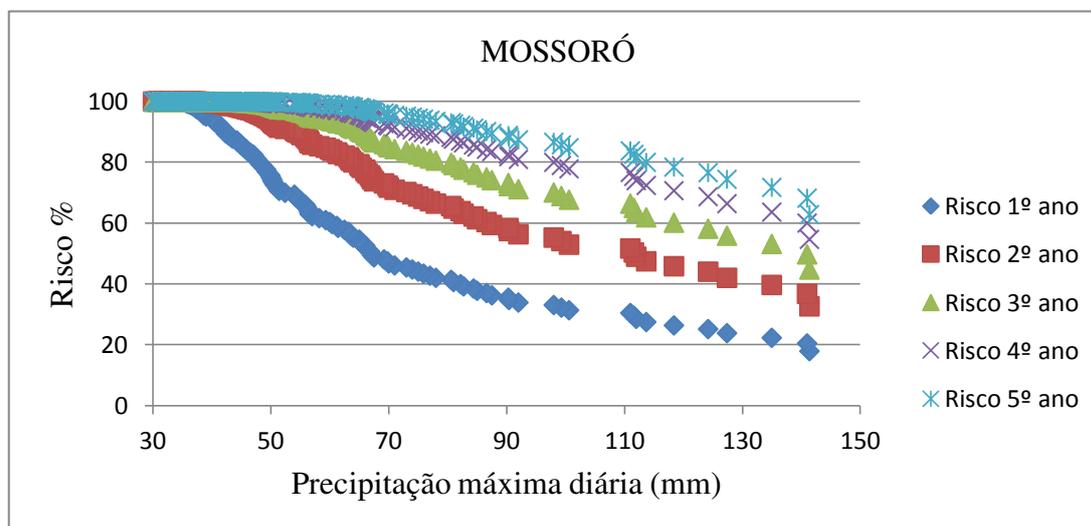
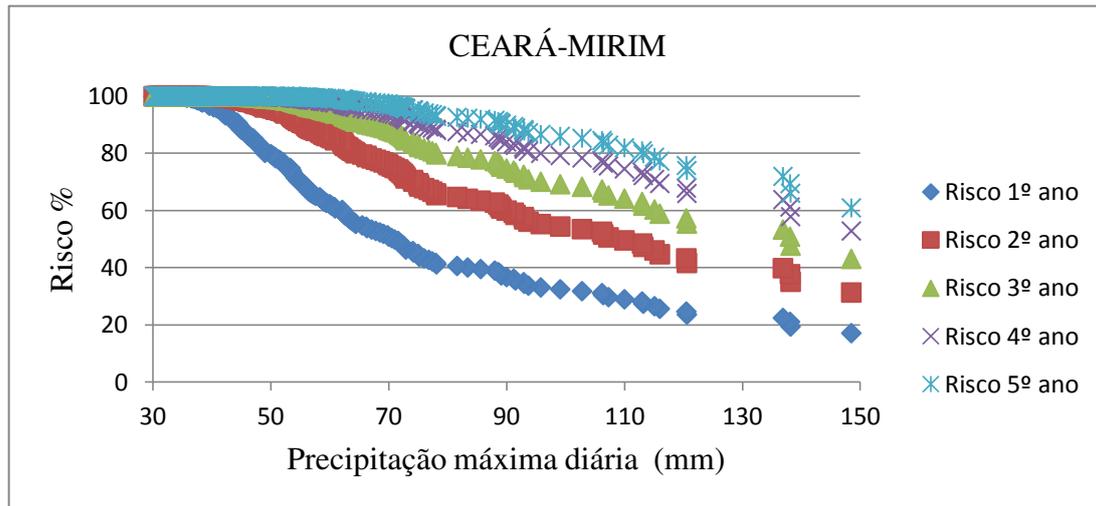
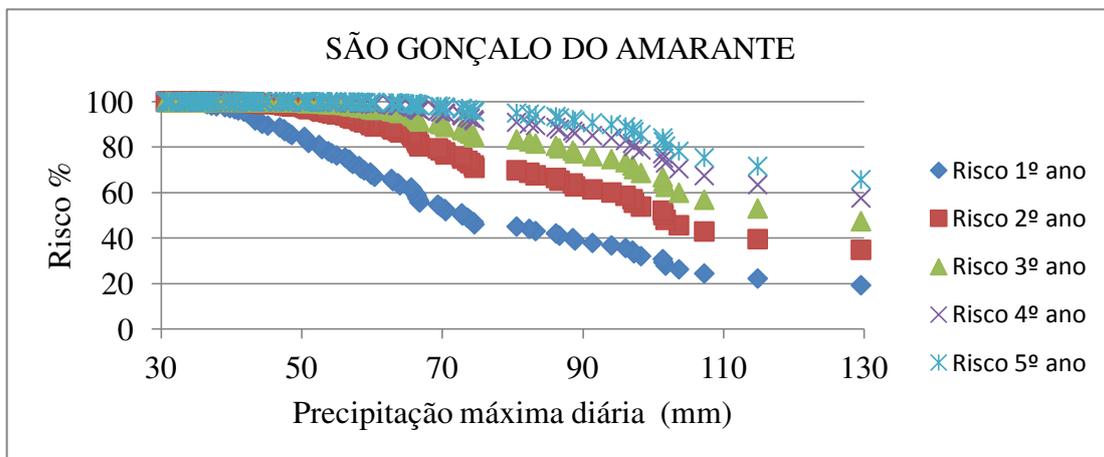


Figura 17. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Paraíba e Mossoró no Rio Grande do Norte.

Z.



AA.



AB.

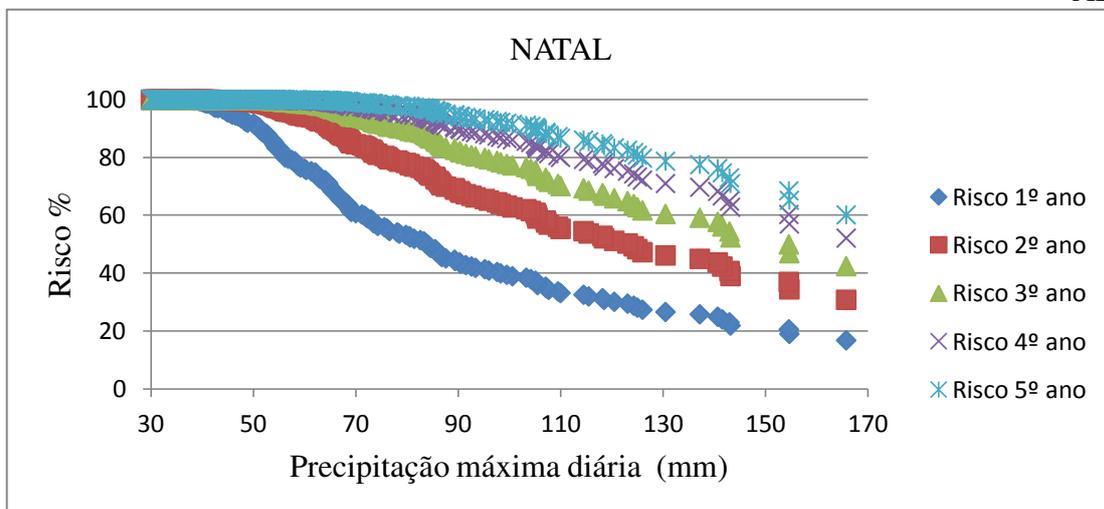


Figura 18. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Rio Grande do Norte.

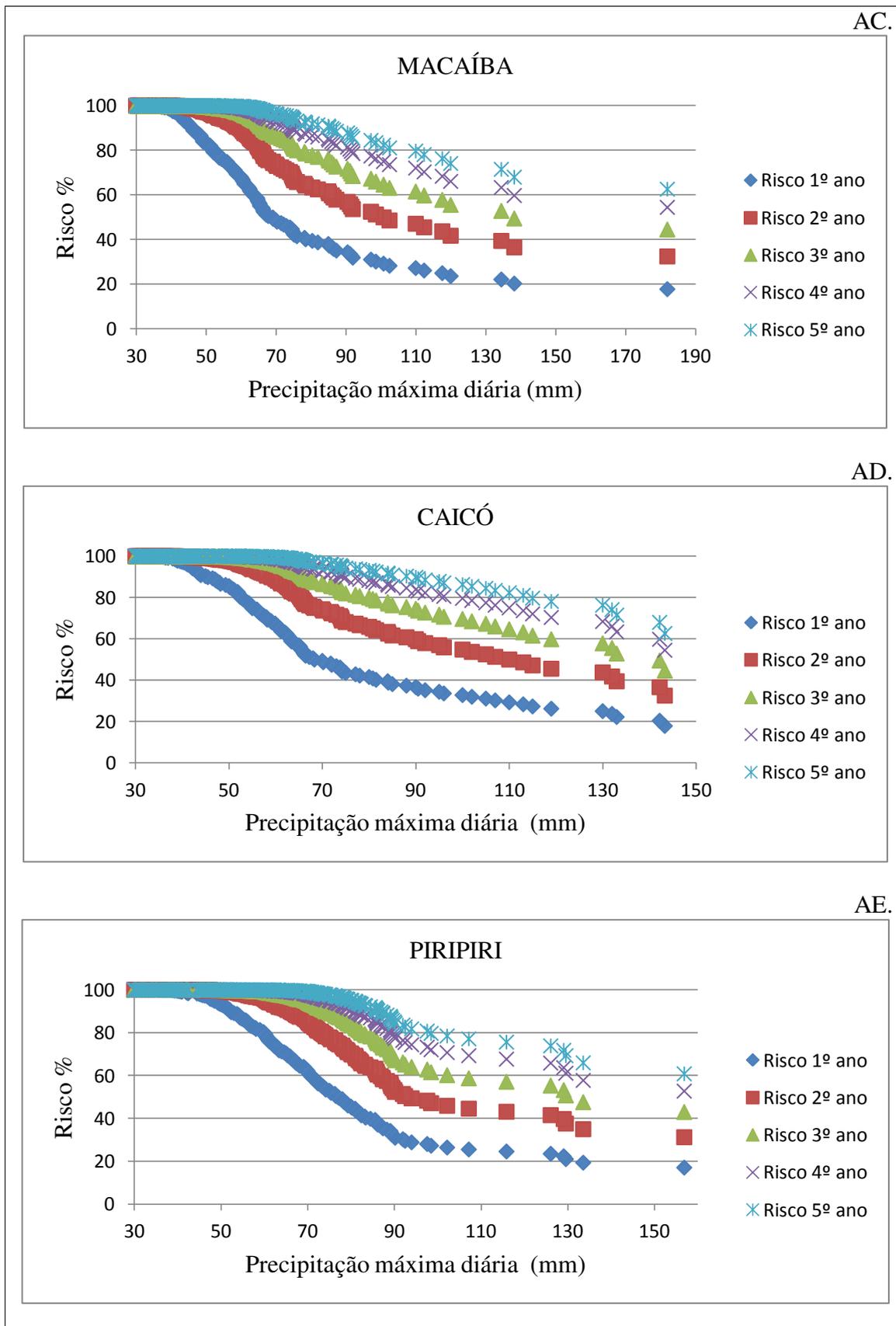
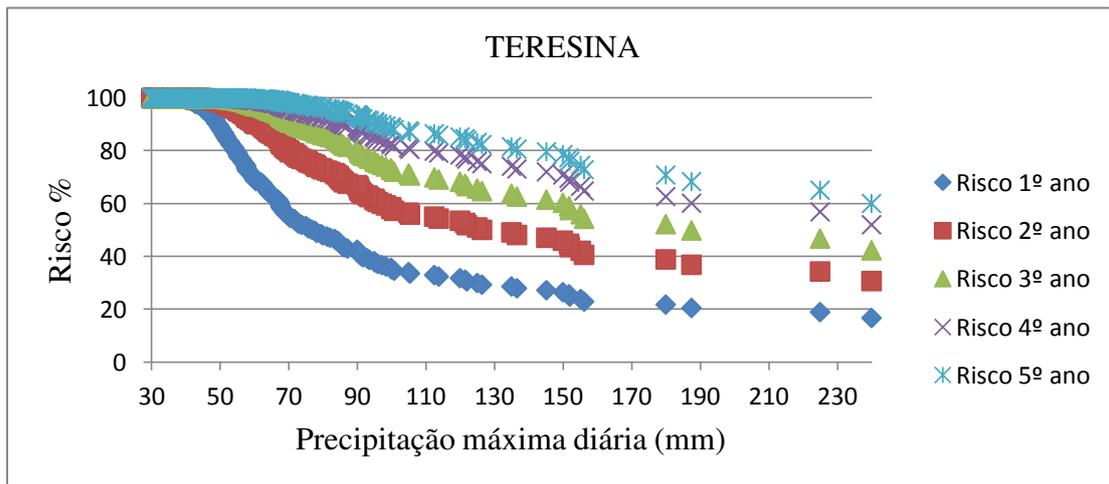
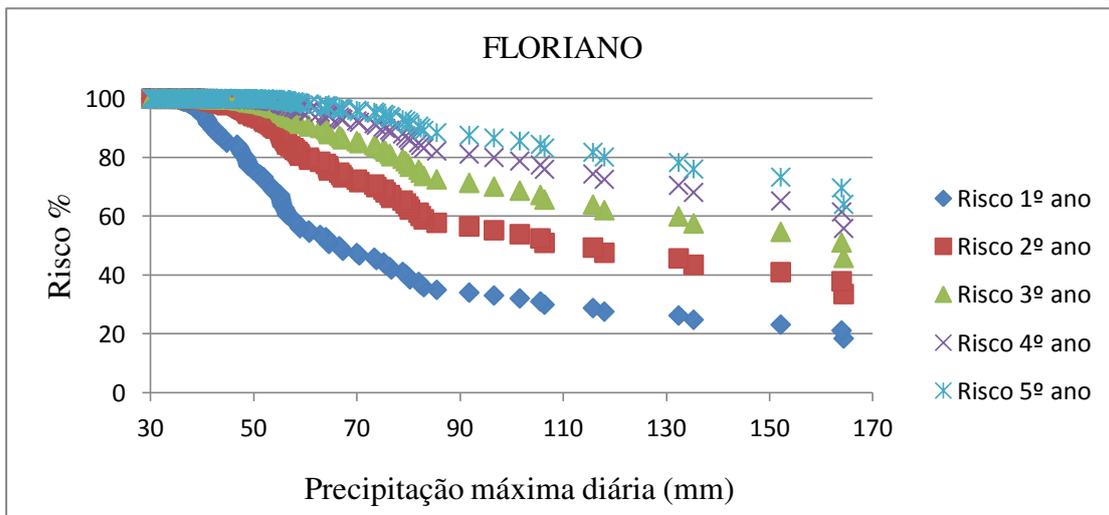


Figura 19. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Rio Grande do Norte e Piripiri no Estado do Piauí.

AF.



AG.



AH.

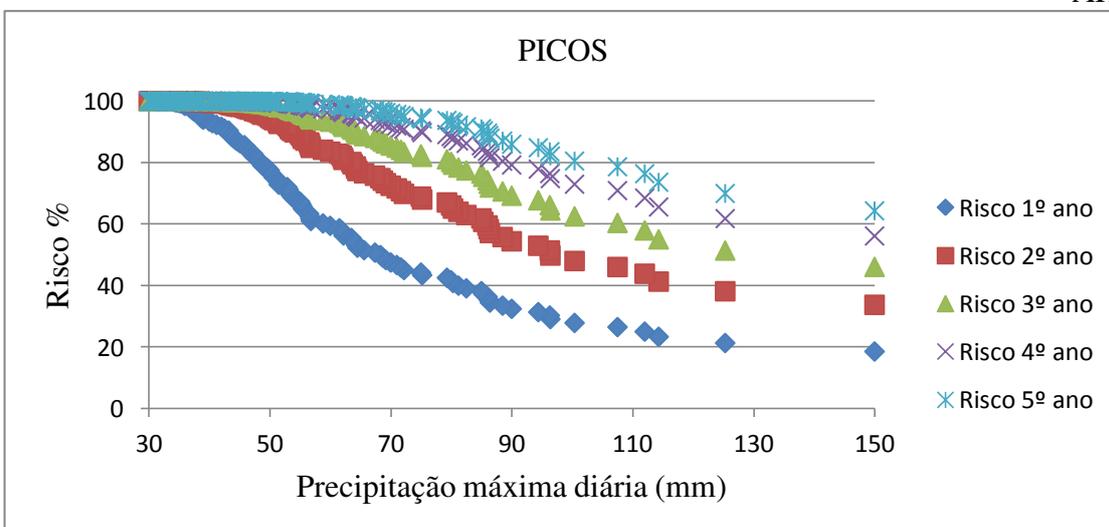
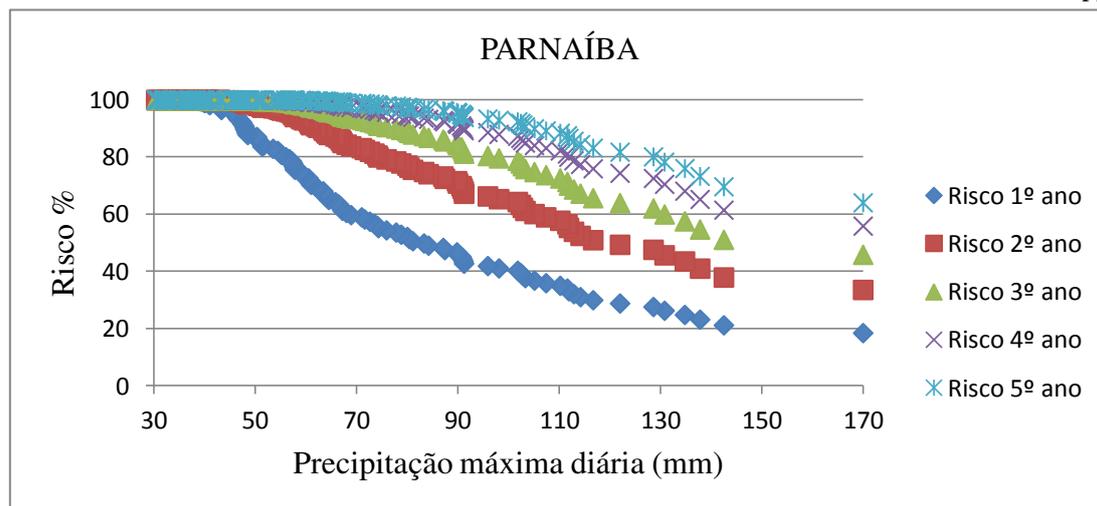
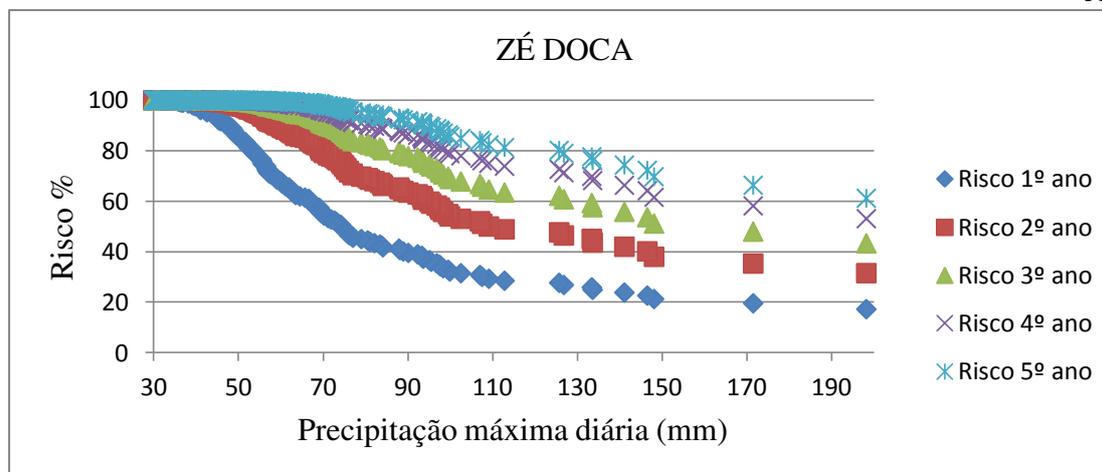


Figura 20. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Piauí.

AI.



AJ.



AK.

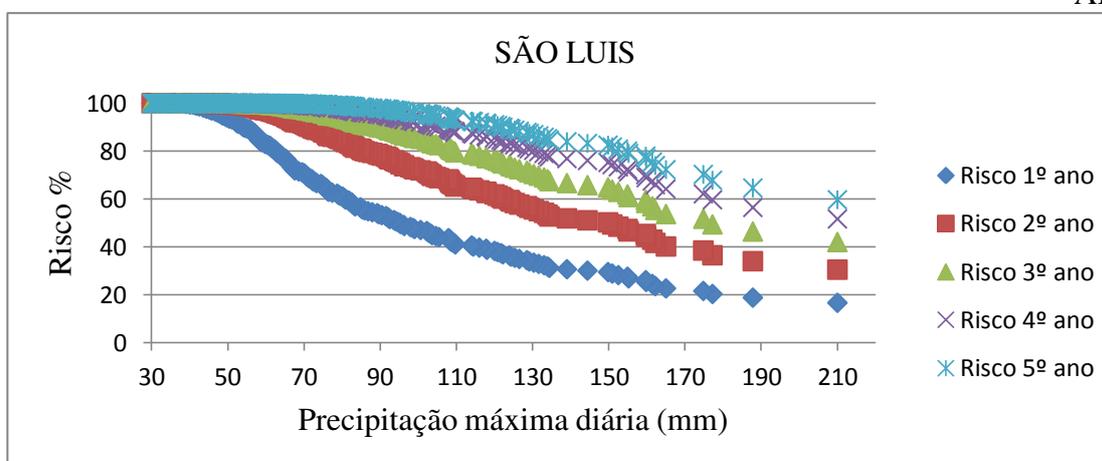


Figura 21. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Piauí, Zé Doca e São Luís no Estado do Maranhão.

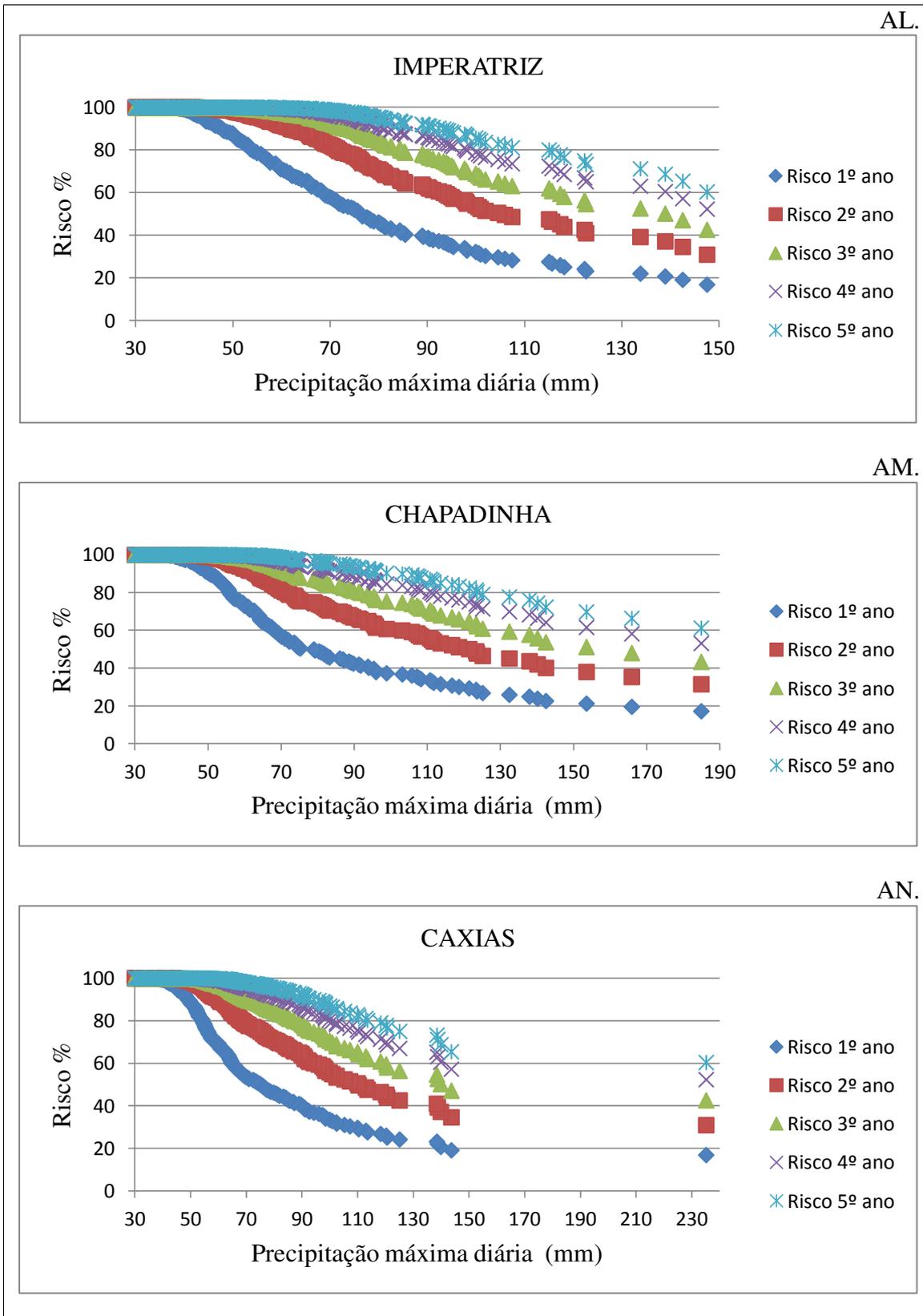
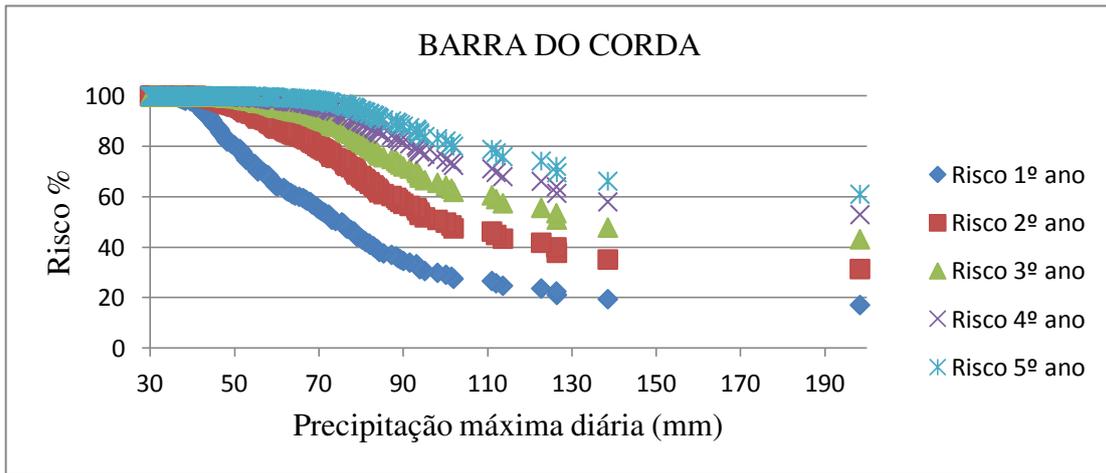
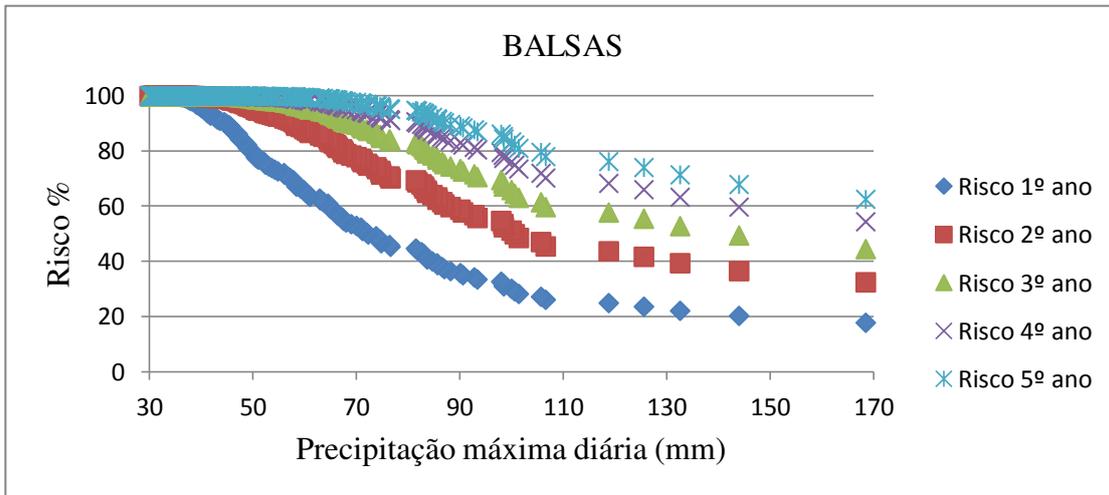


Figura 22. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Maranhão.

AO.



AP.



AQ.

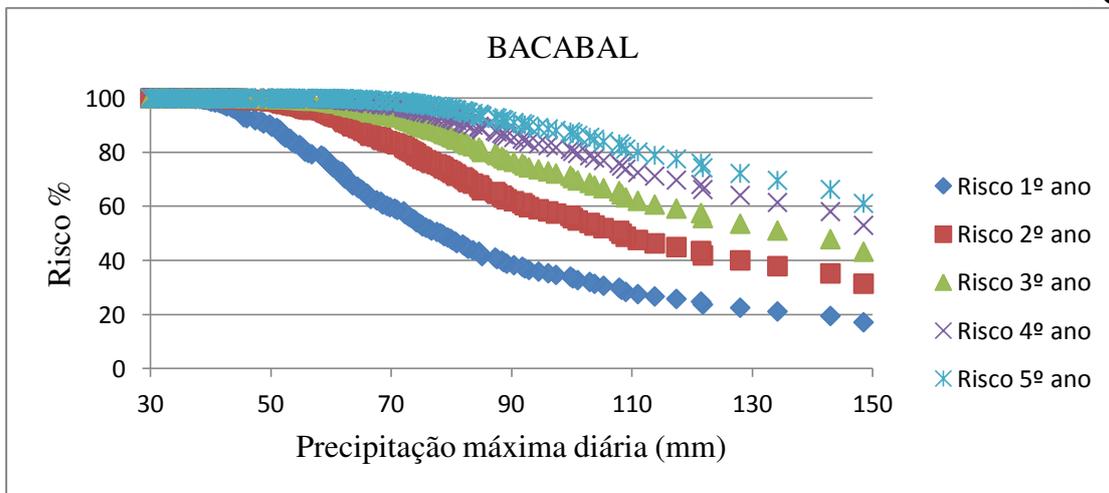
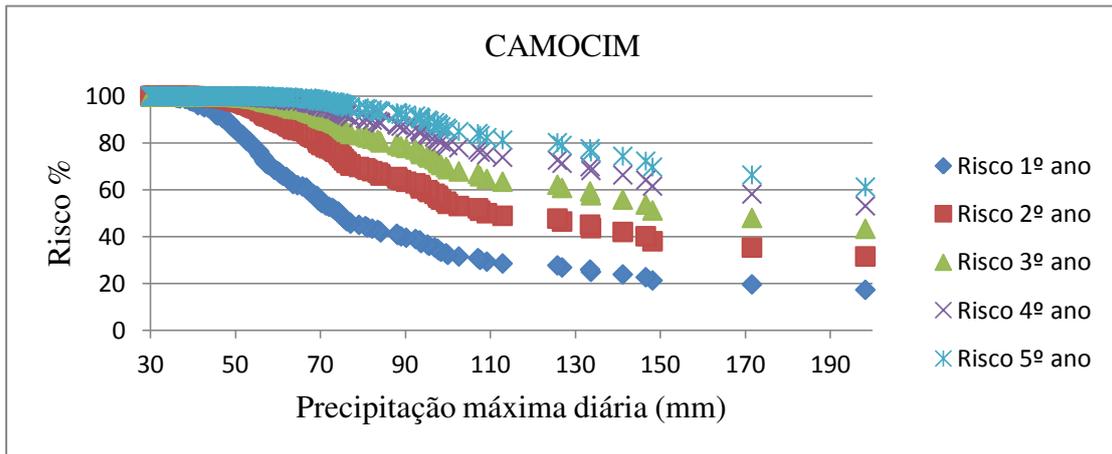
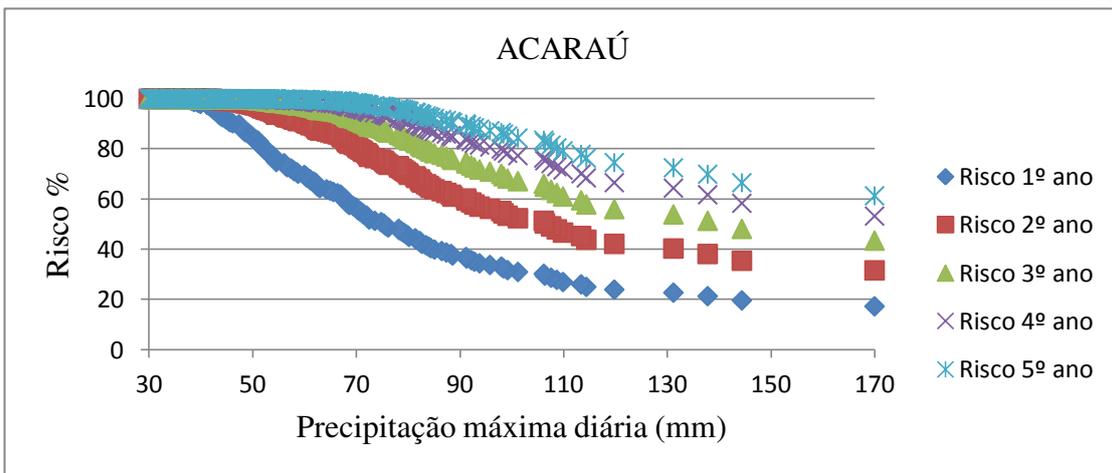


Figura 23. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Maranhão.

AR.



AS.



AT.

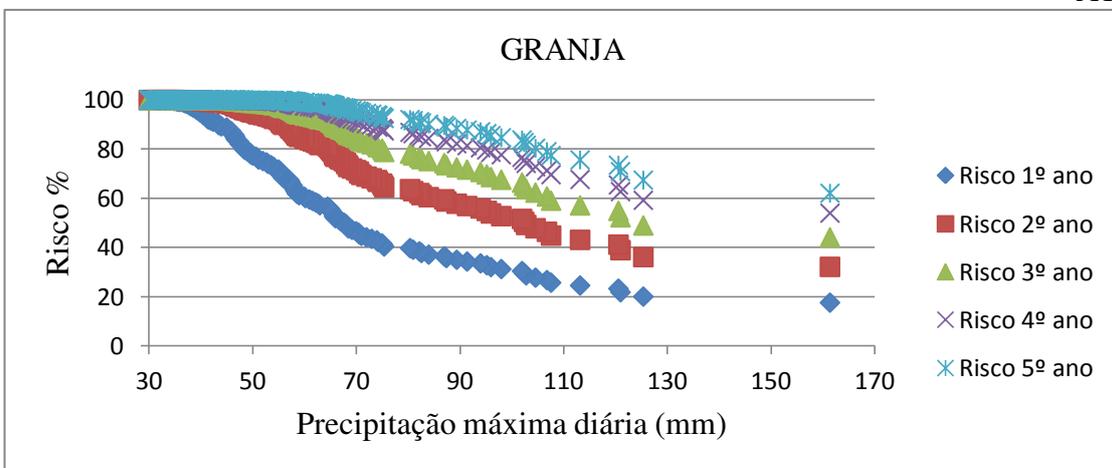


Figura 24. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.

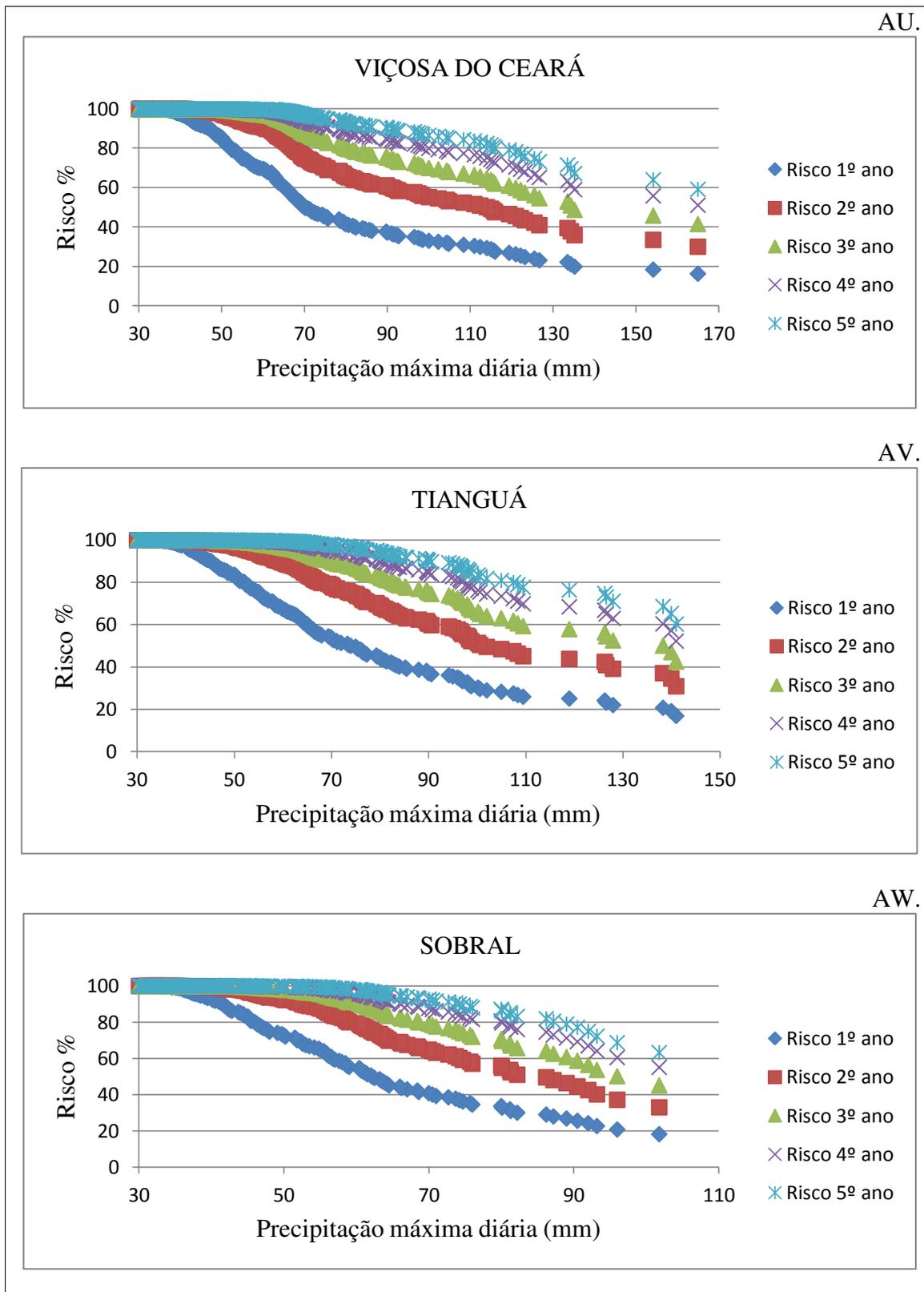


Figura 25. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.

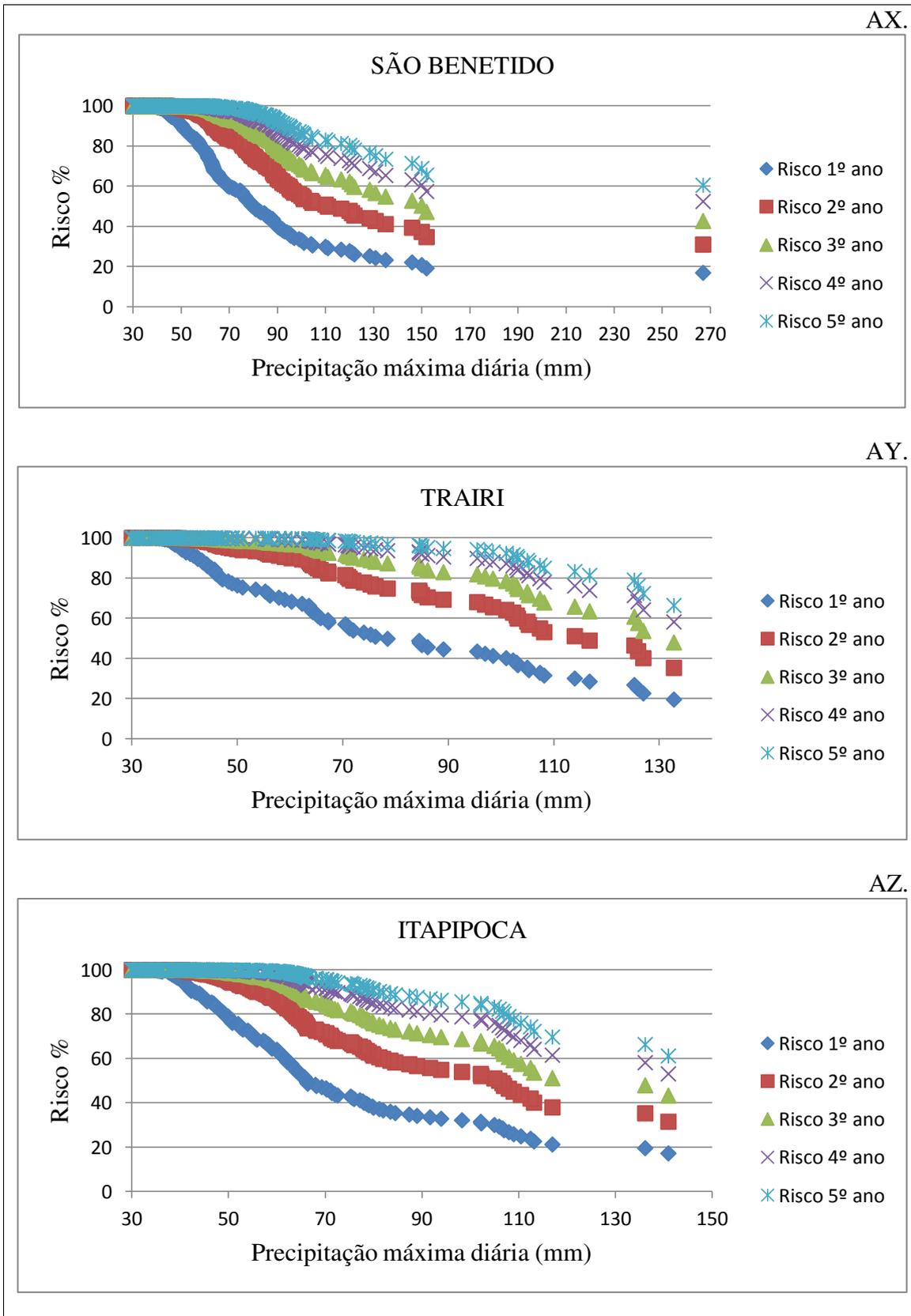


Figura 26. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.

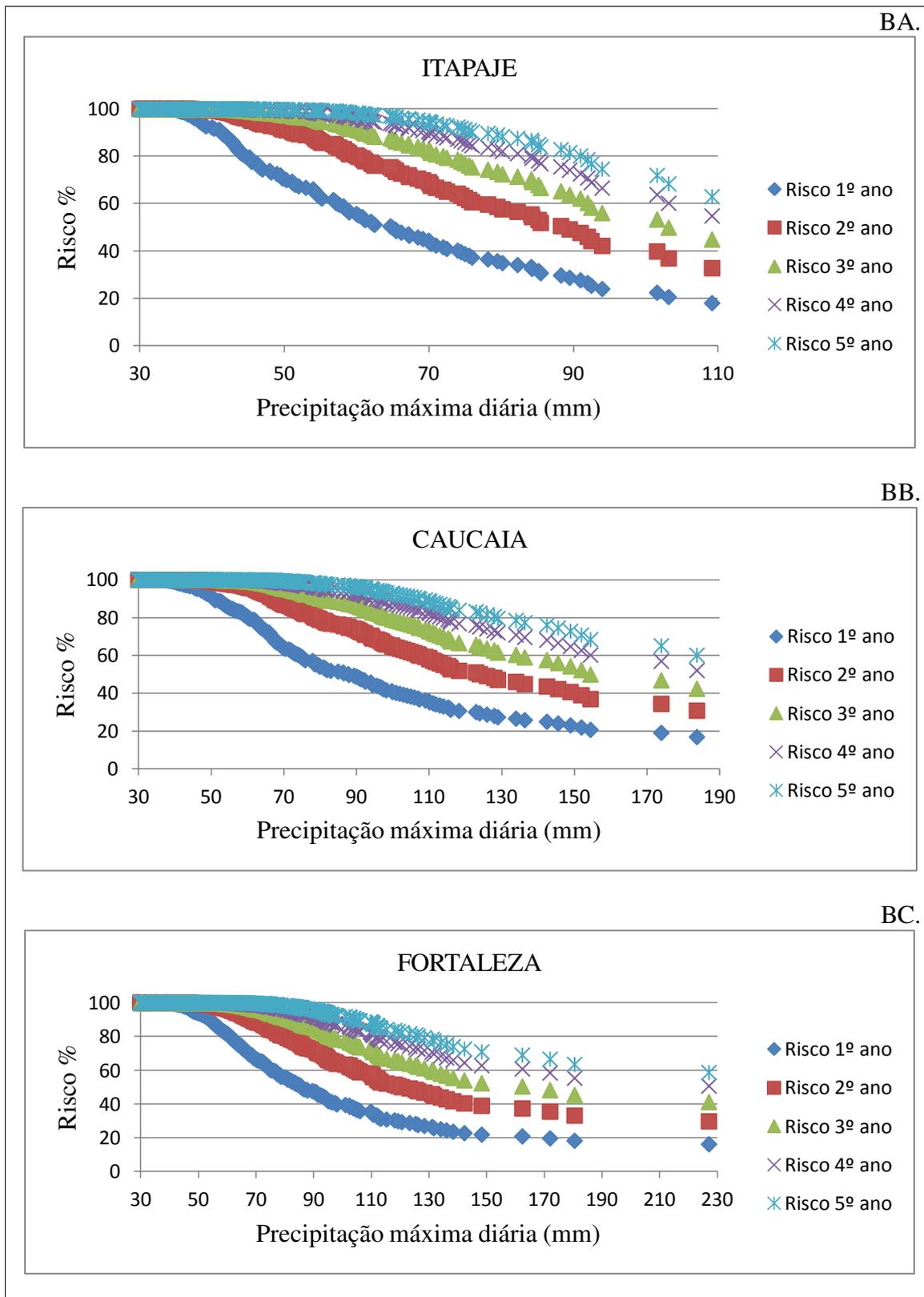


Figura 27. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.

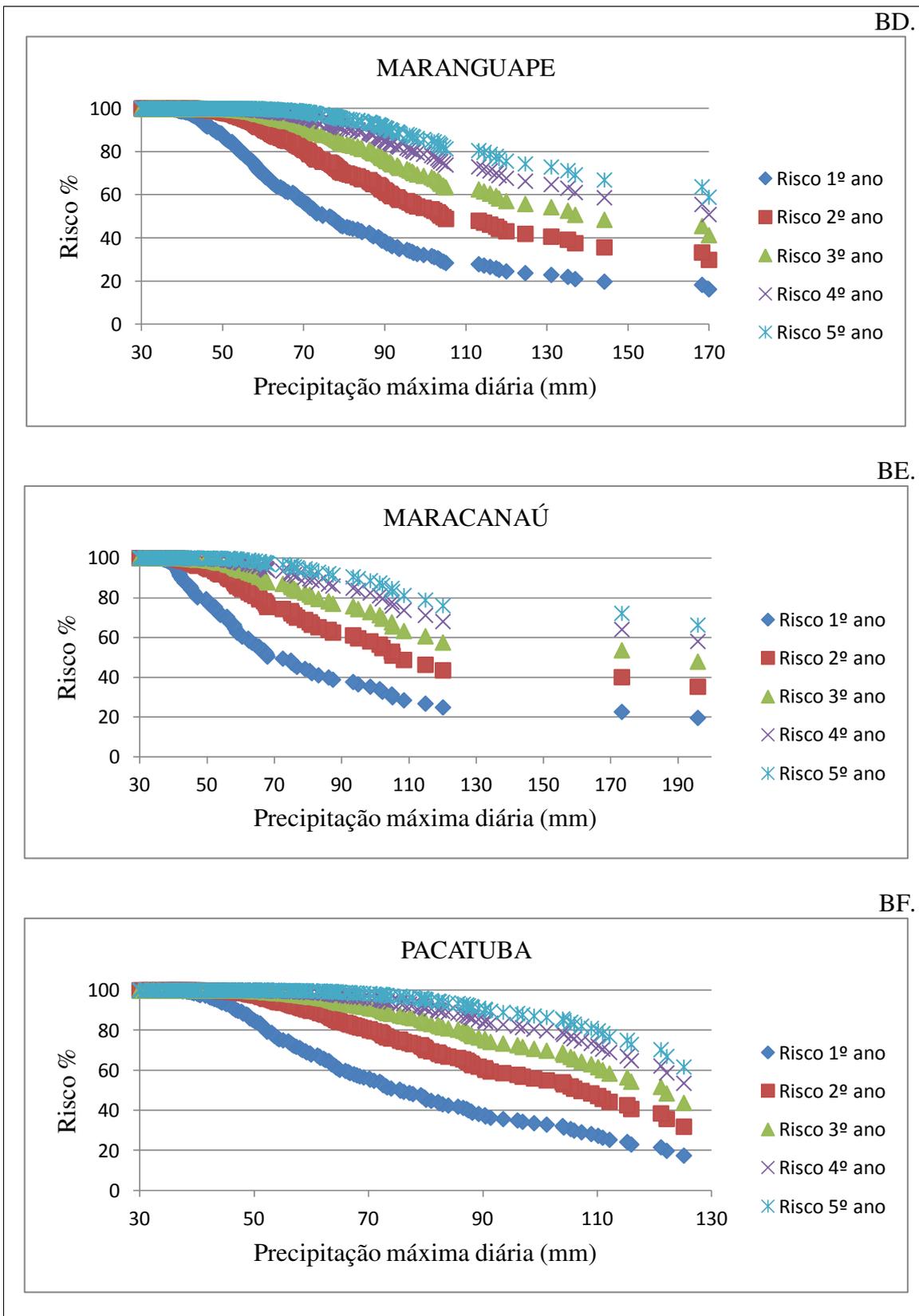


Figura 28. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.

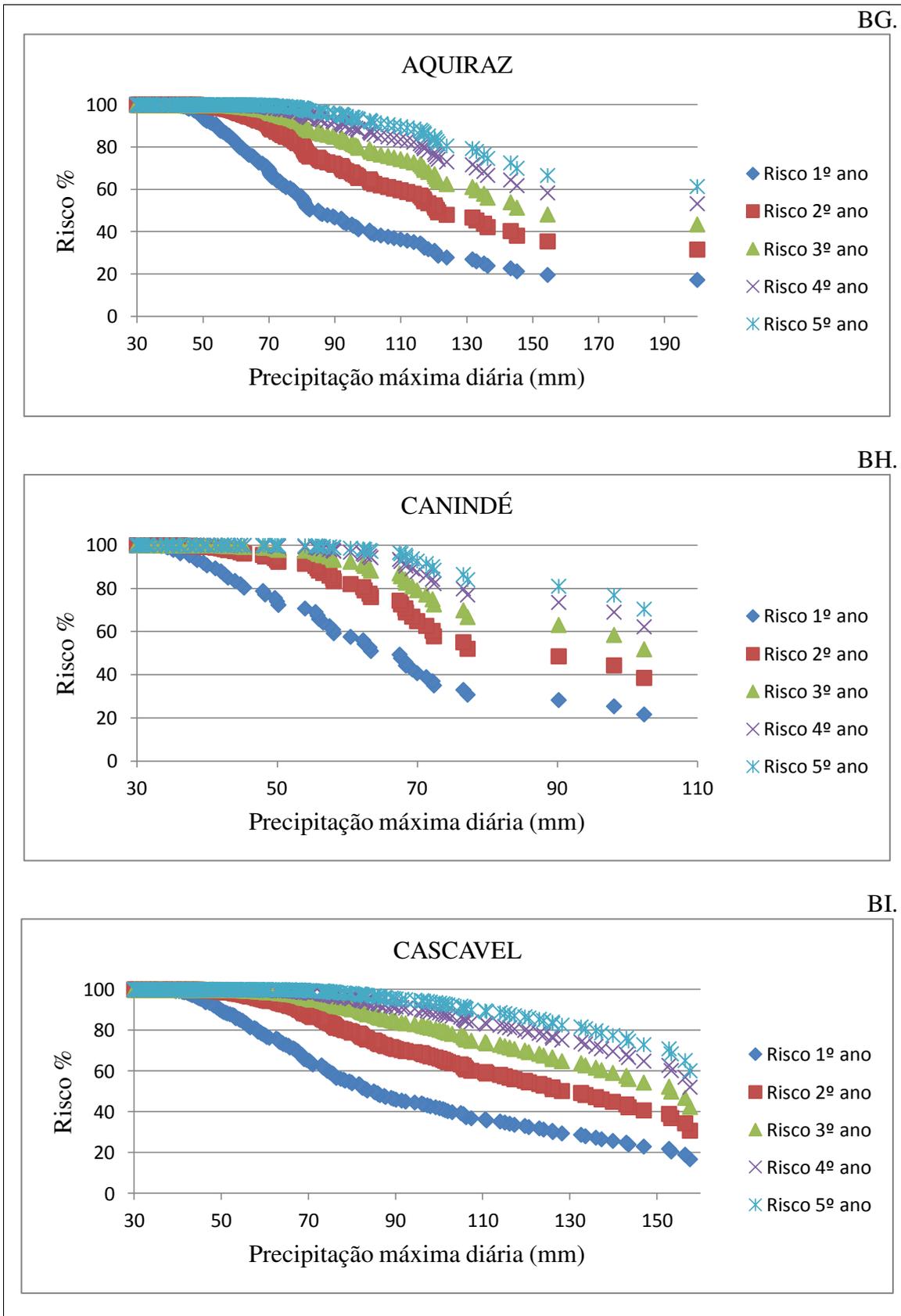


Figura 29. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.

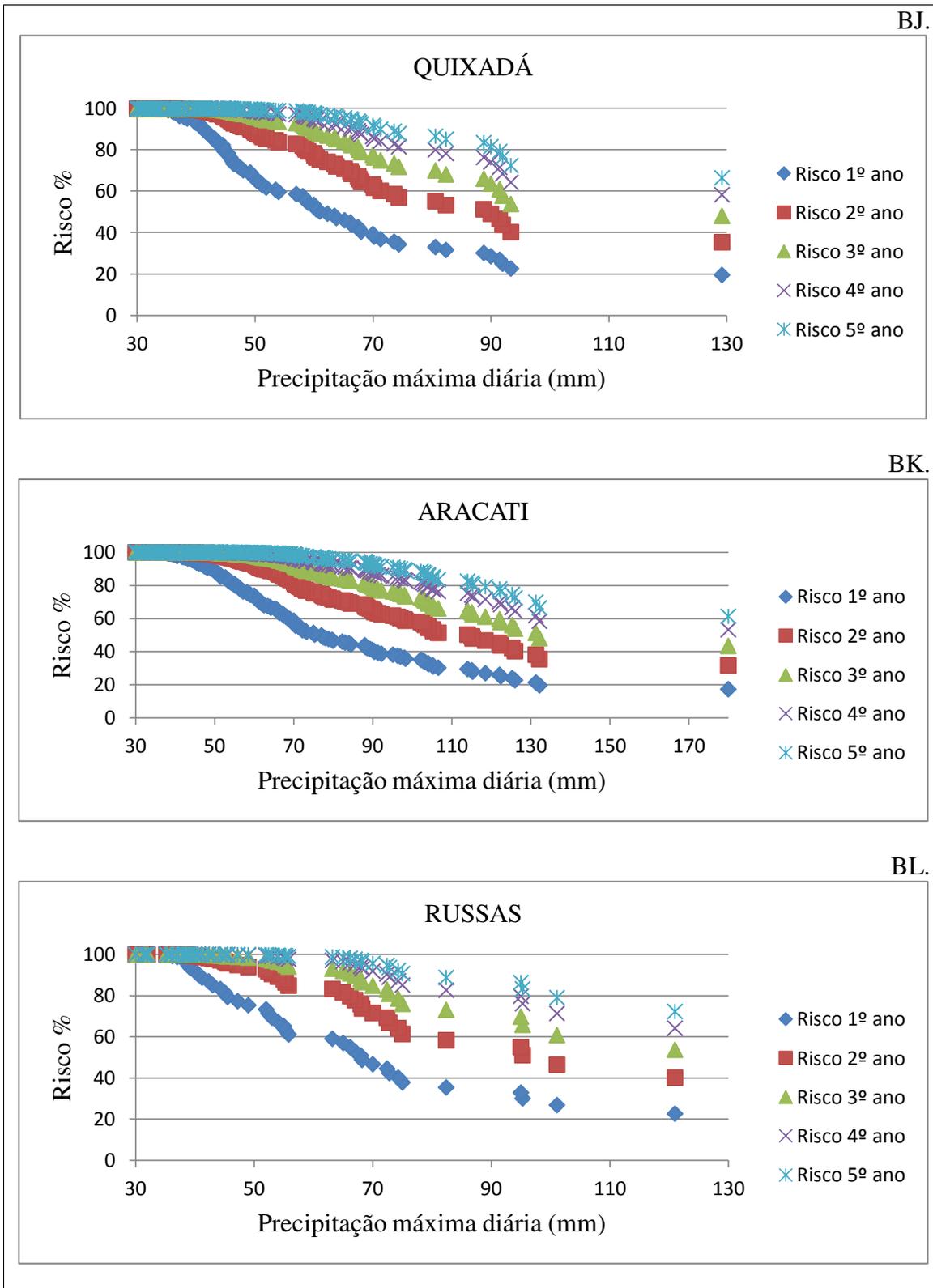


Figura 30. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.

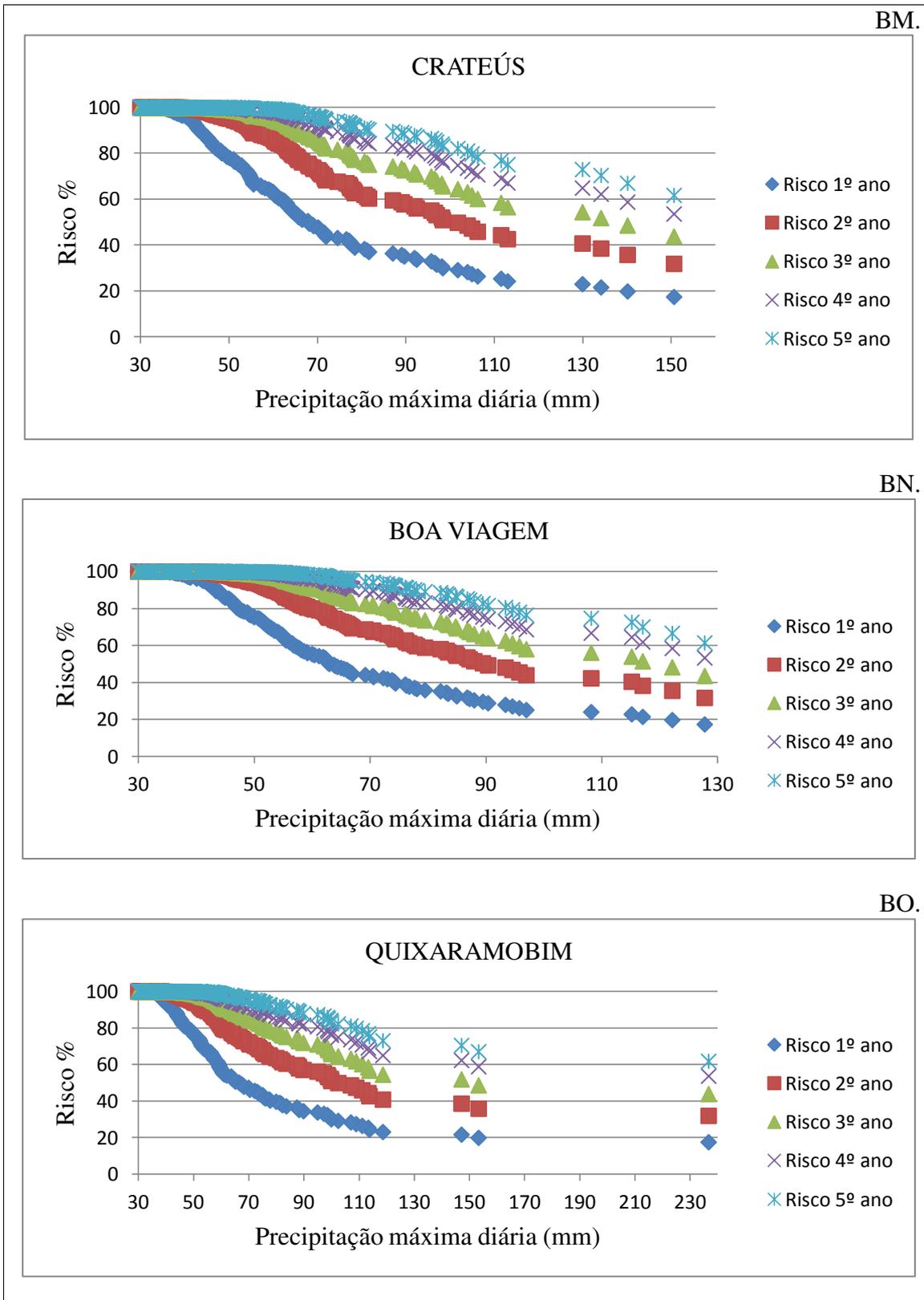


Figura 31. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.

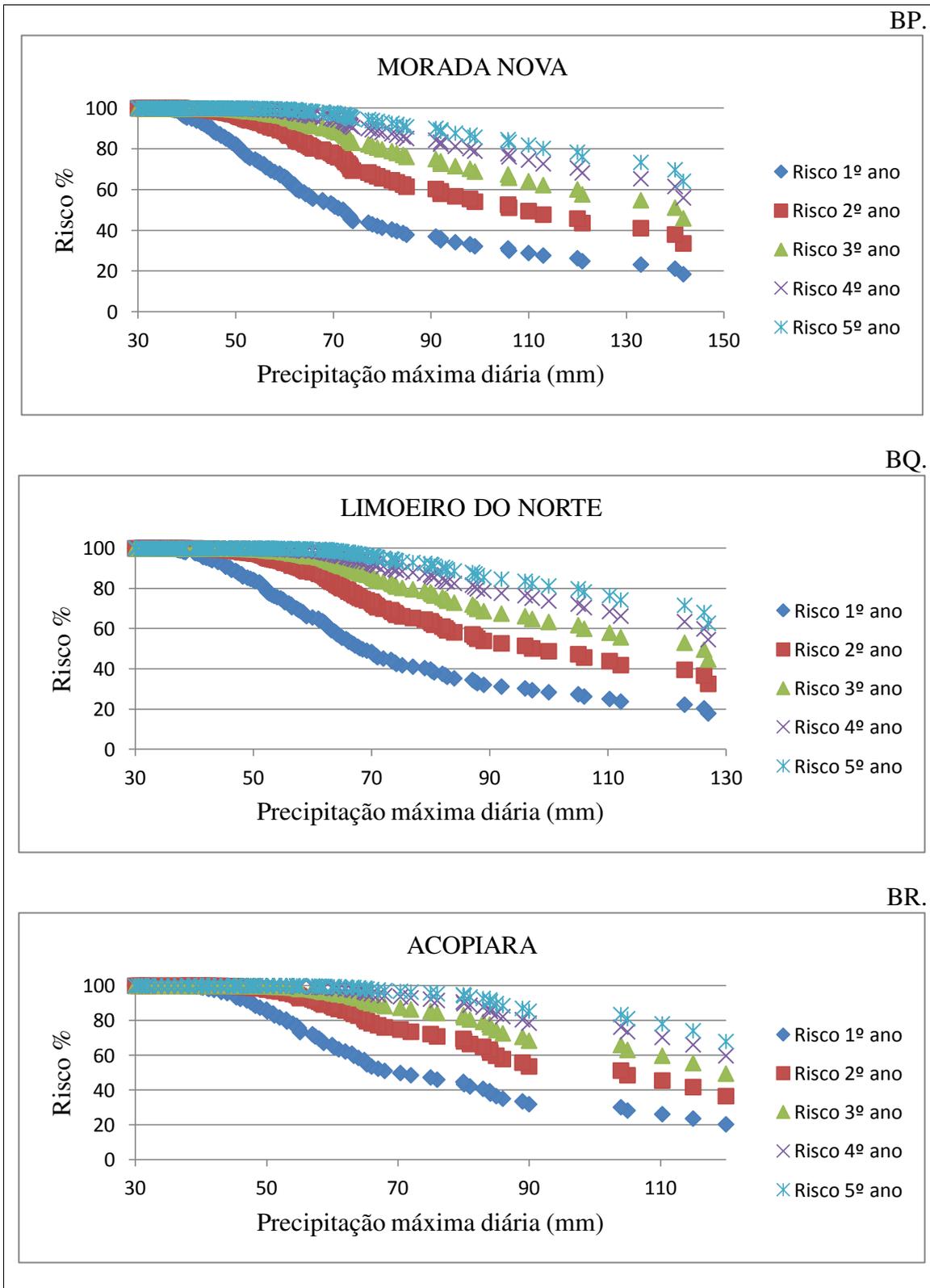


Figura 32. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.

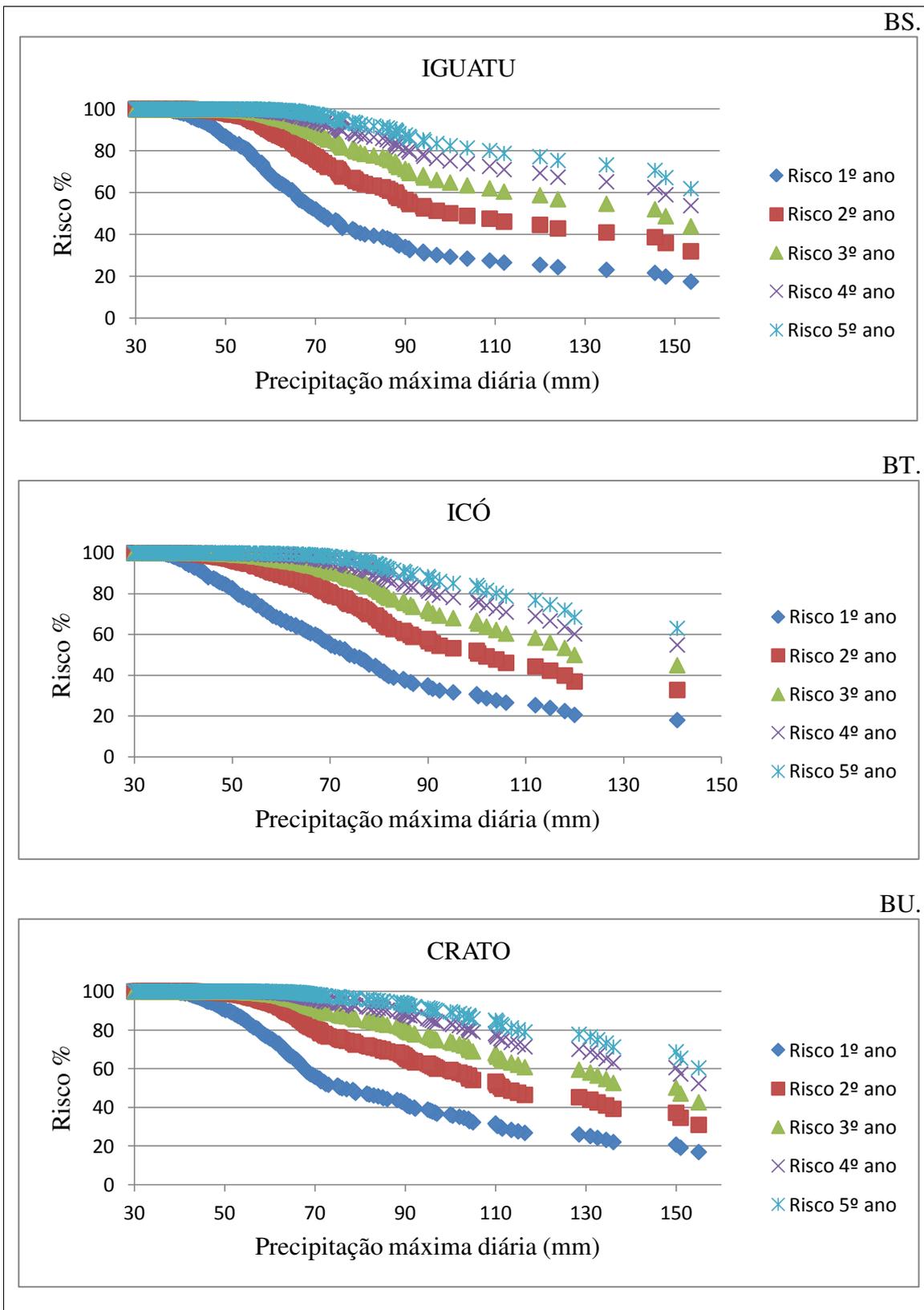


Figura 33. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.

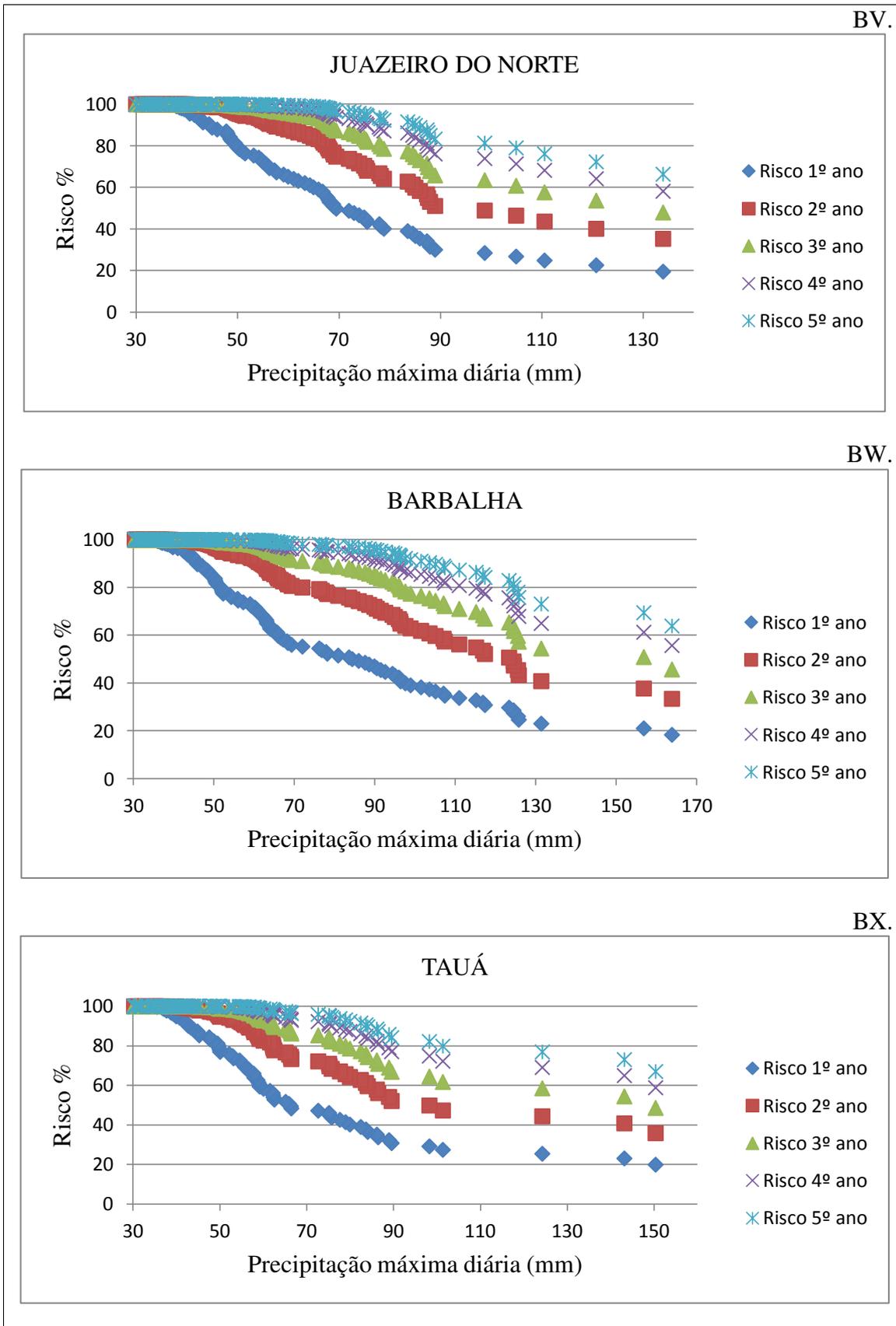


Figura 34. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado do Ceará.

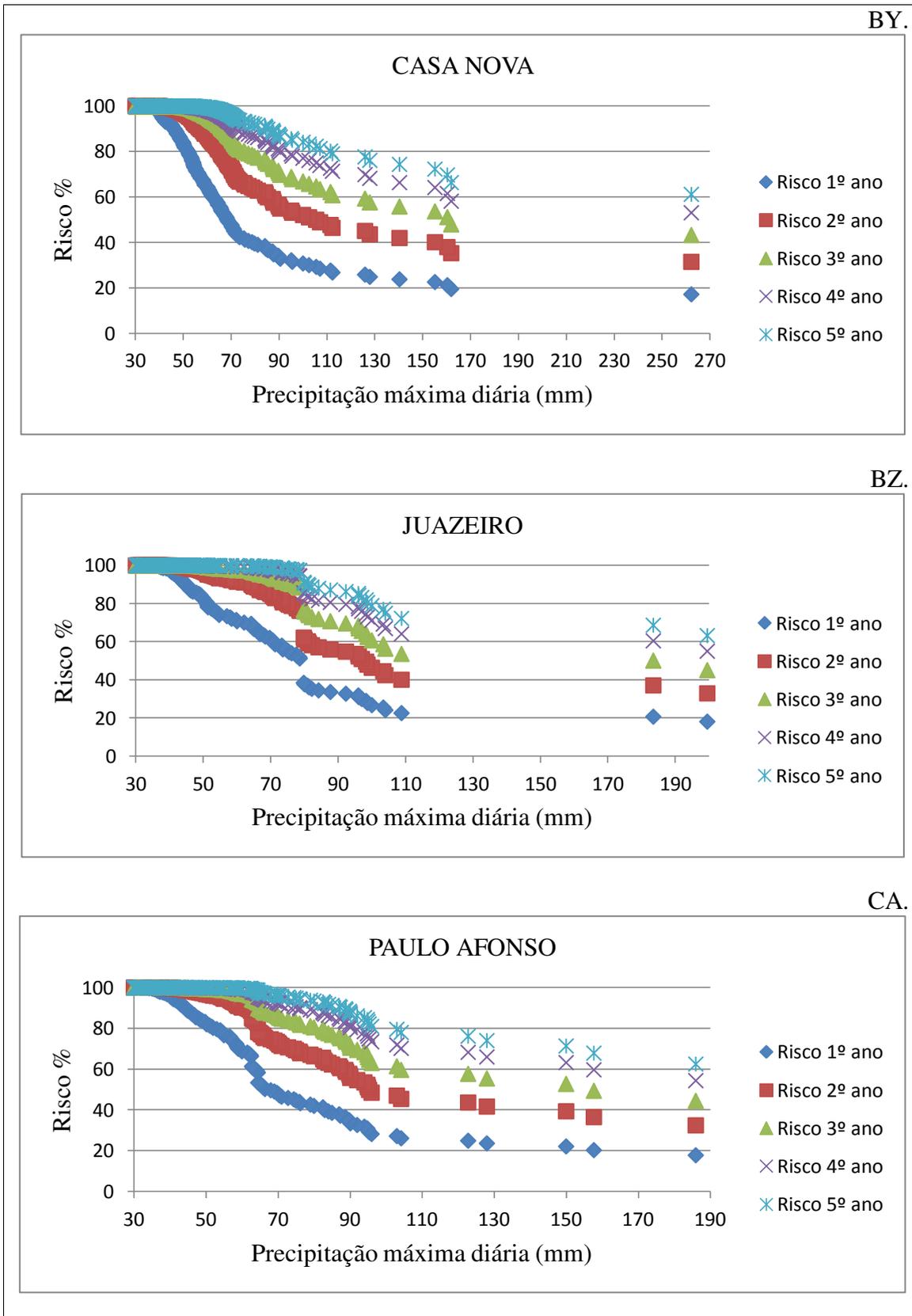


Figura 35. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.

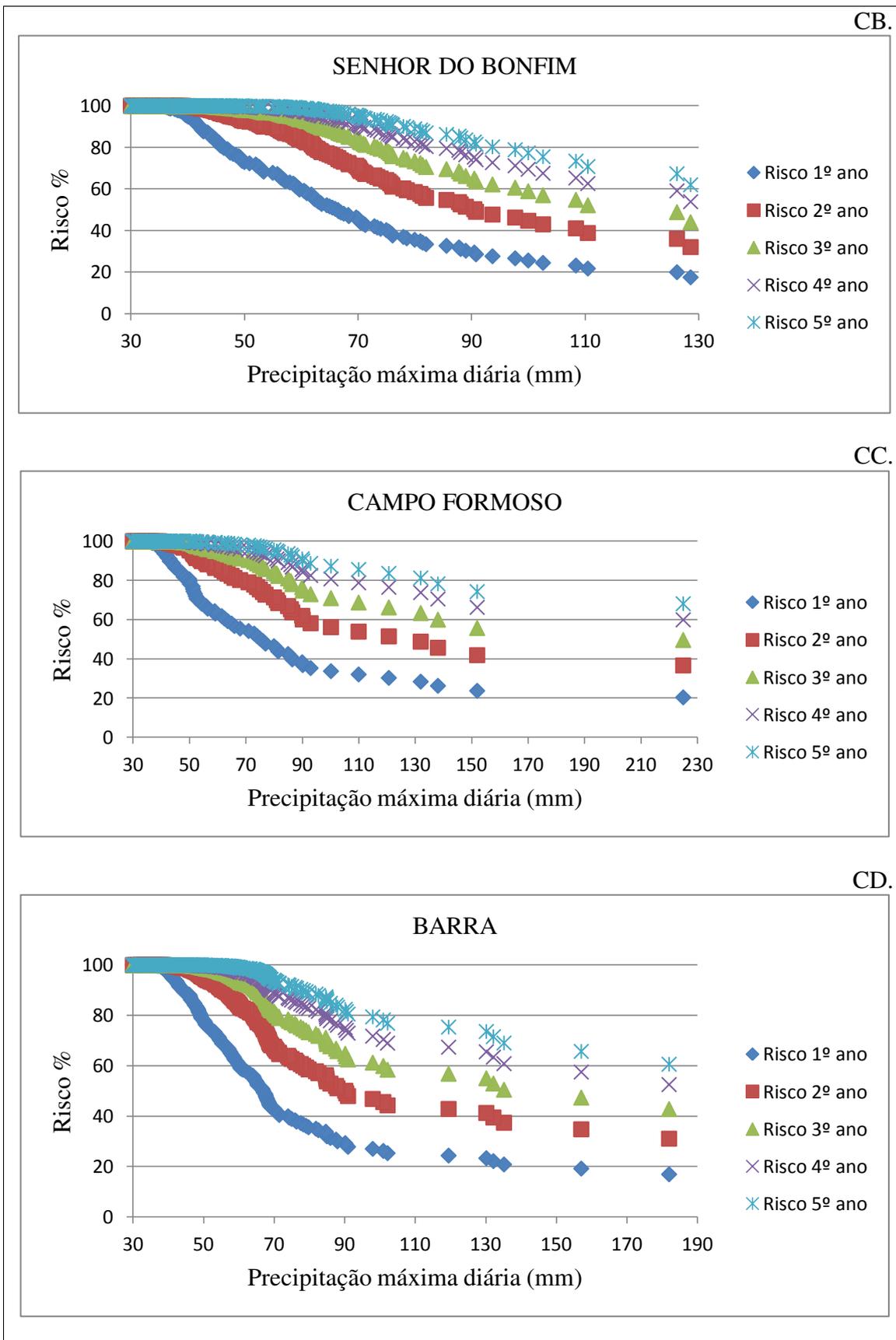


Figura 36. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.

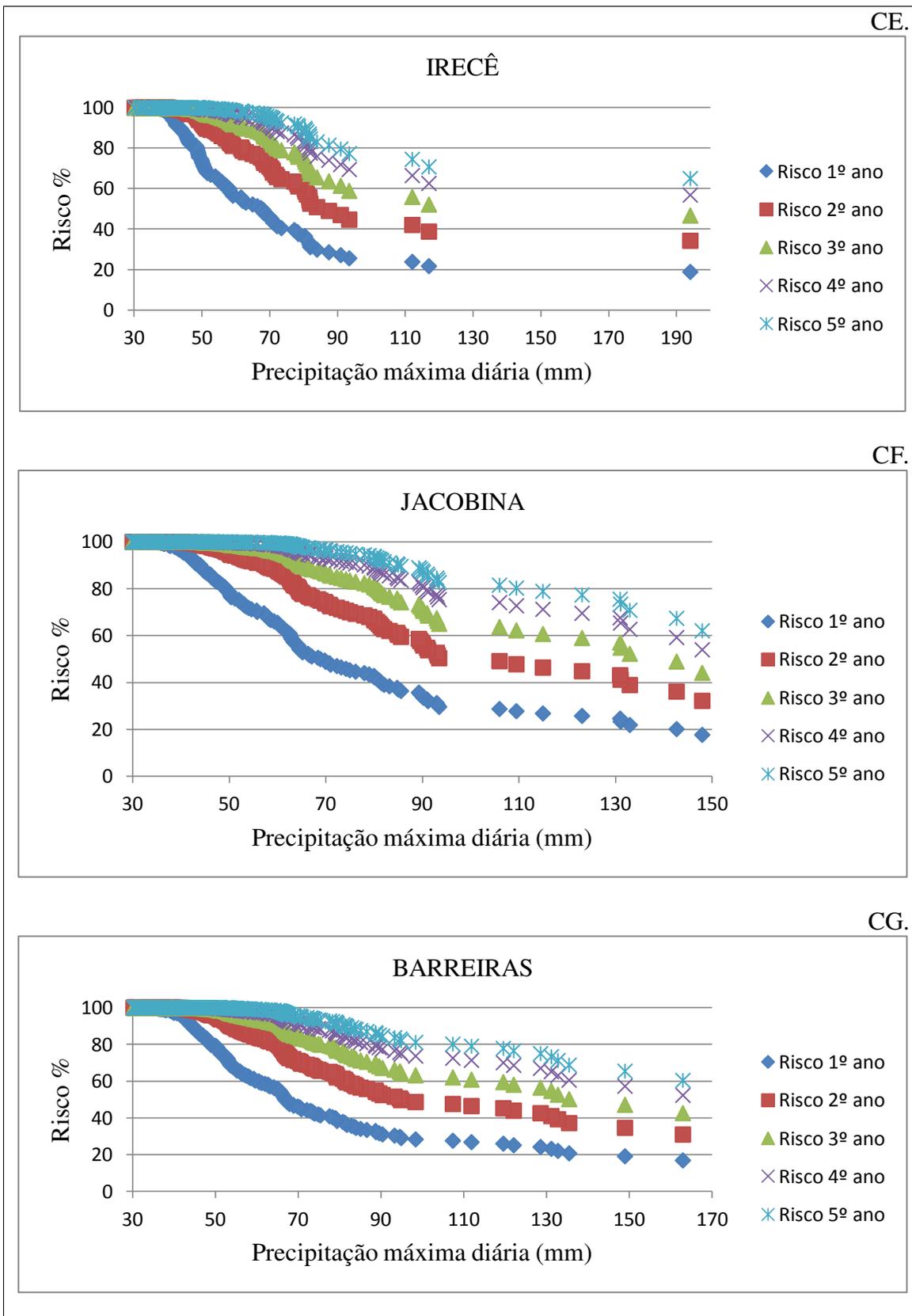


Figura 37. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.

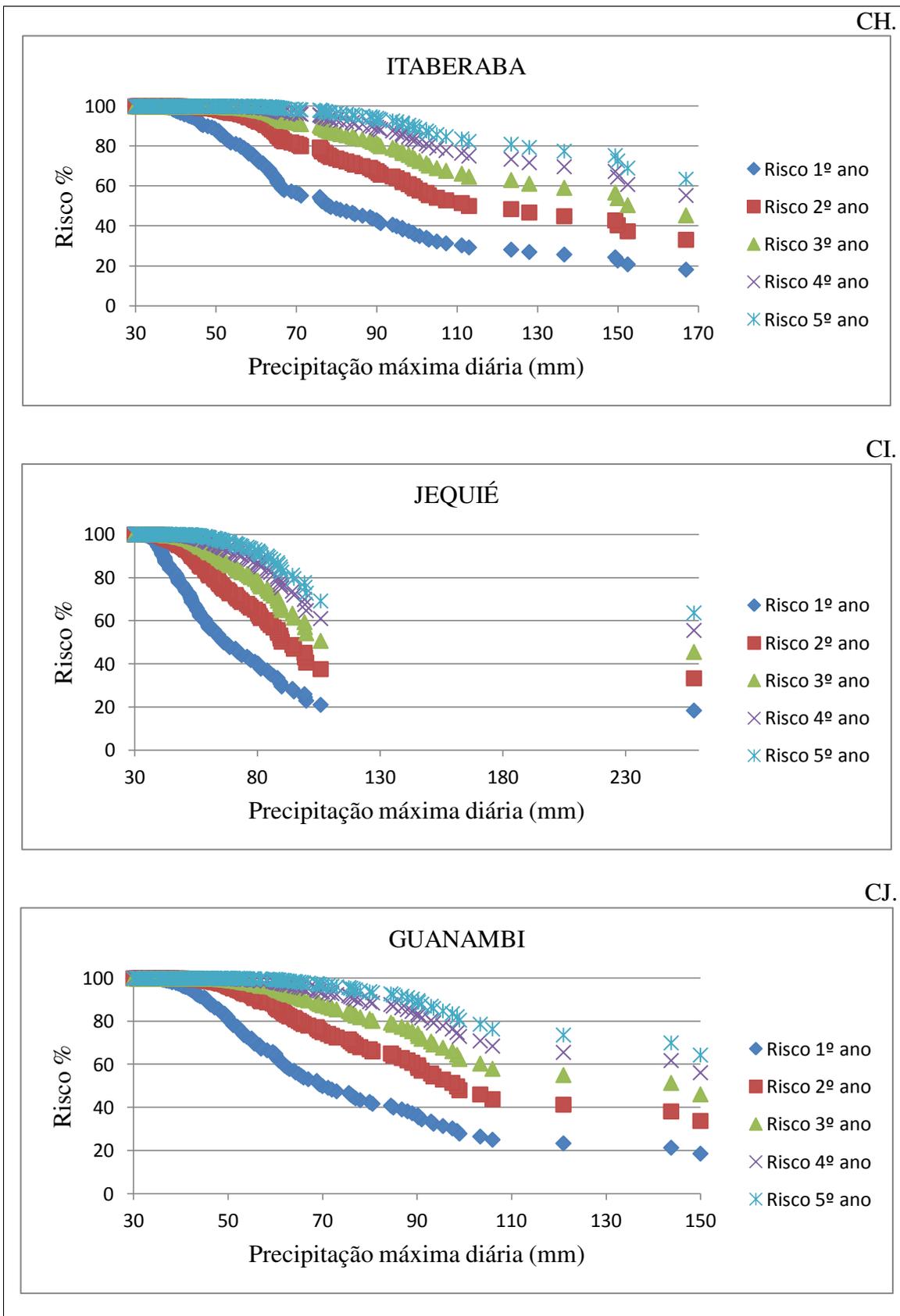


Figura 38. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.

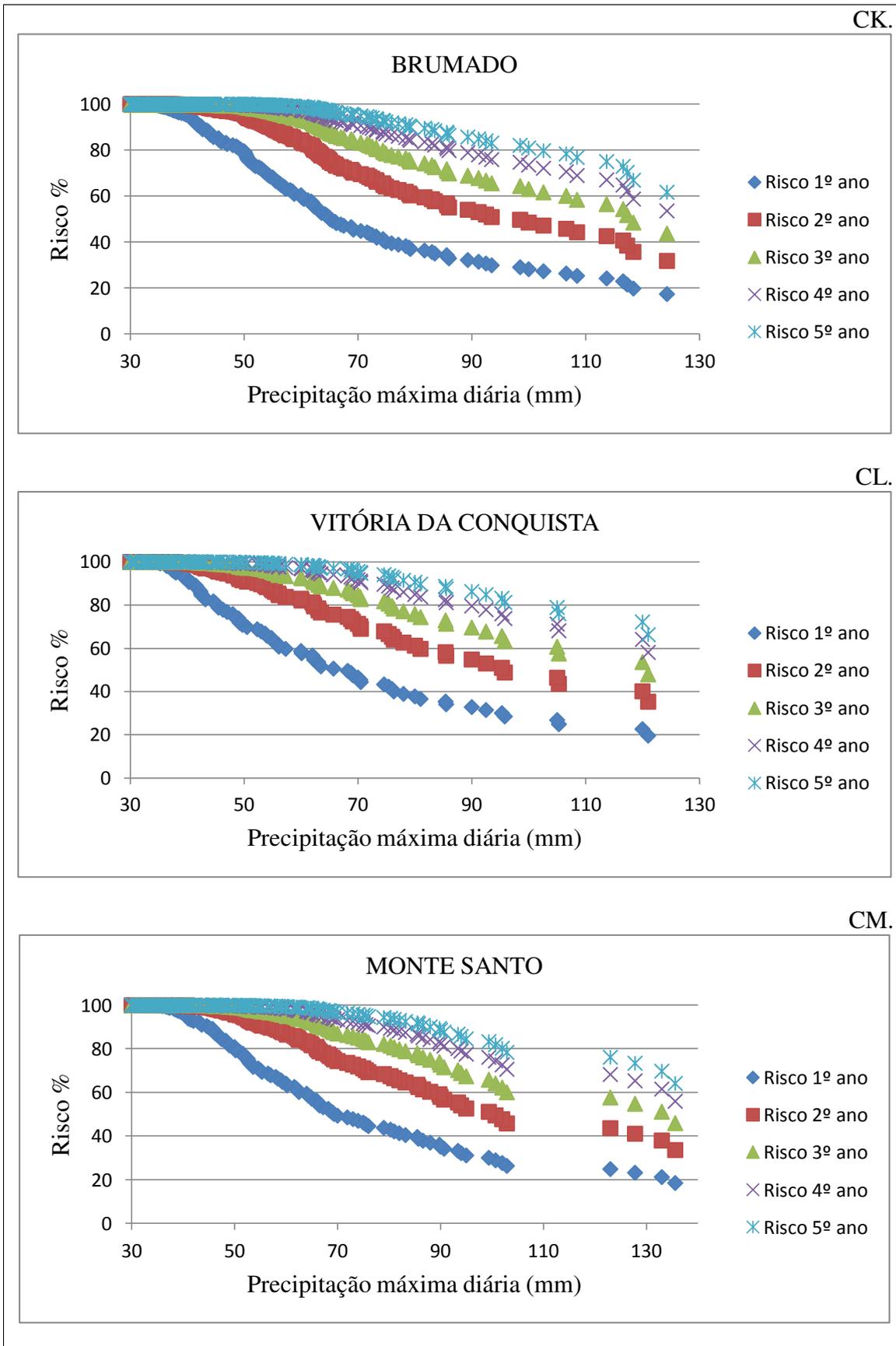


Figura 39. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.

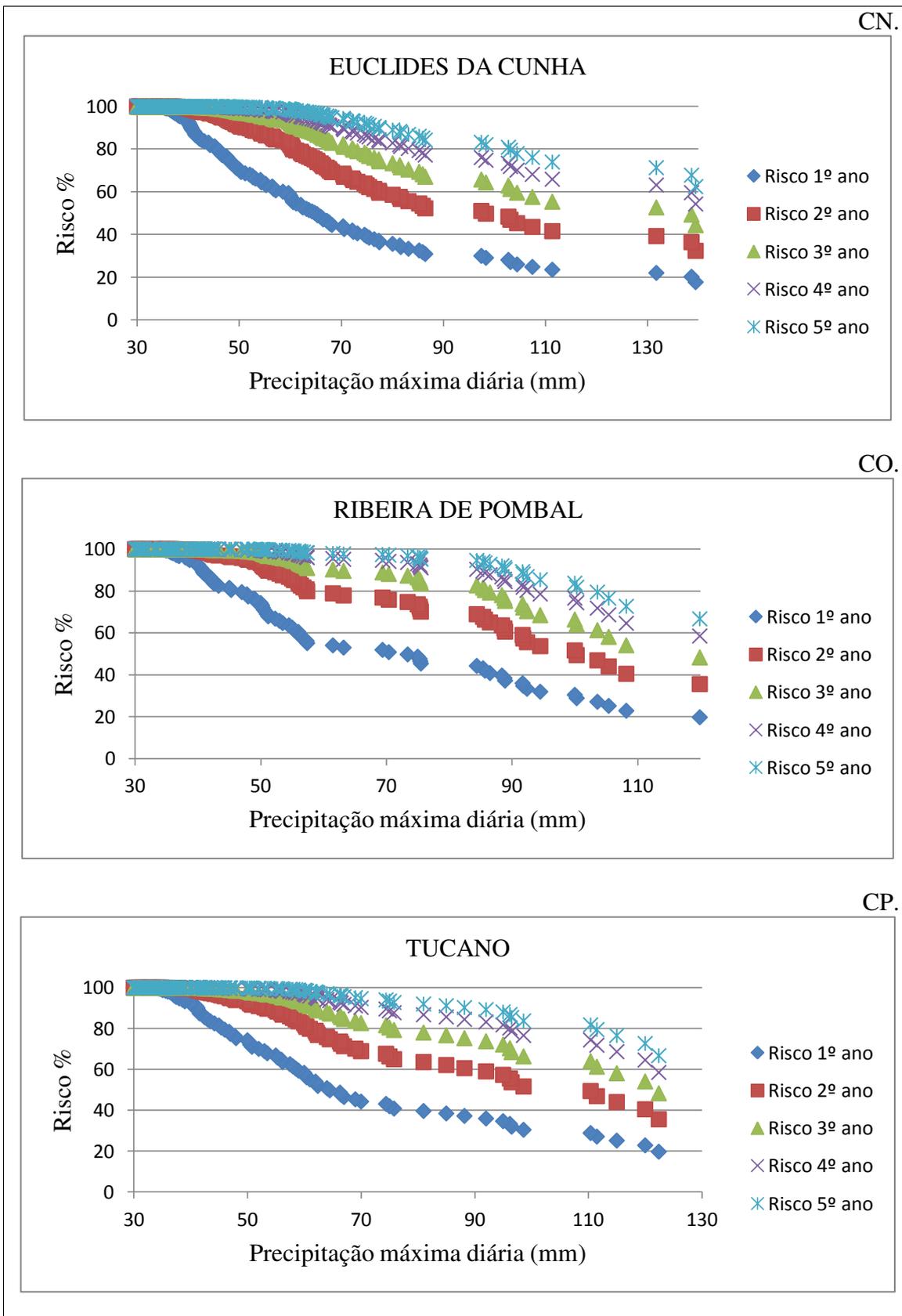


Figura 40. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.

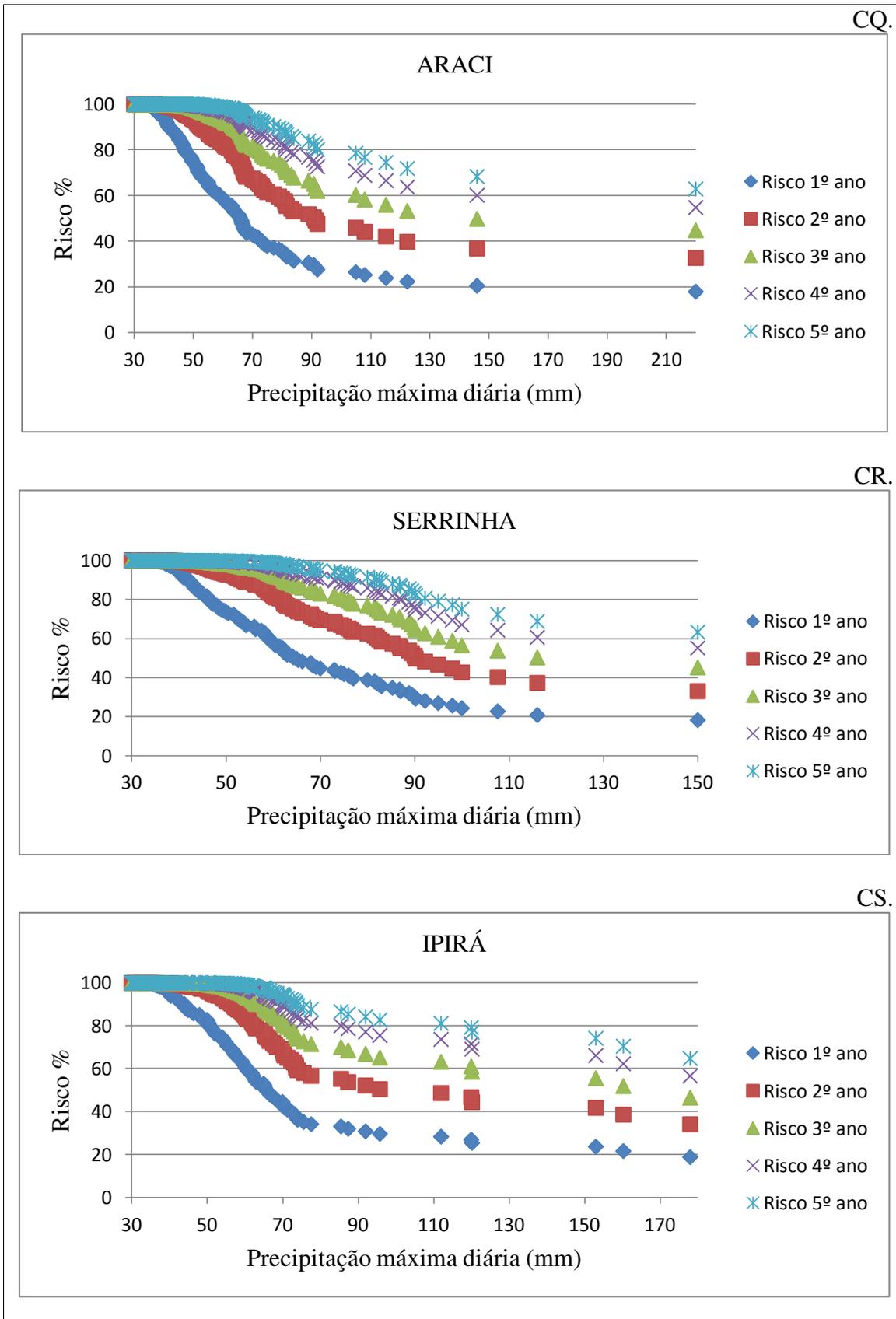


Figura 41. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.

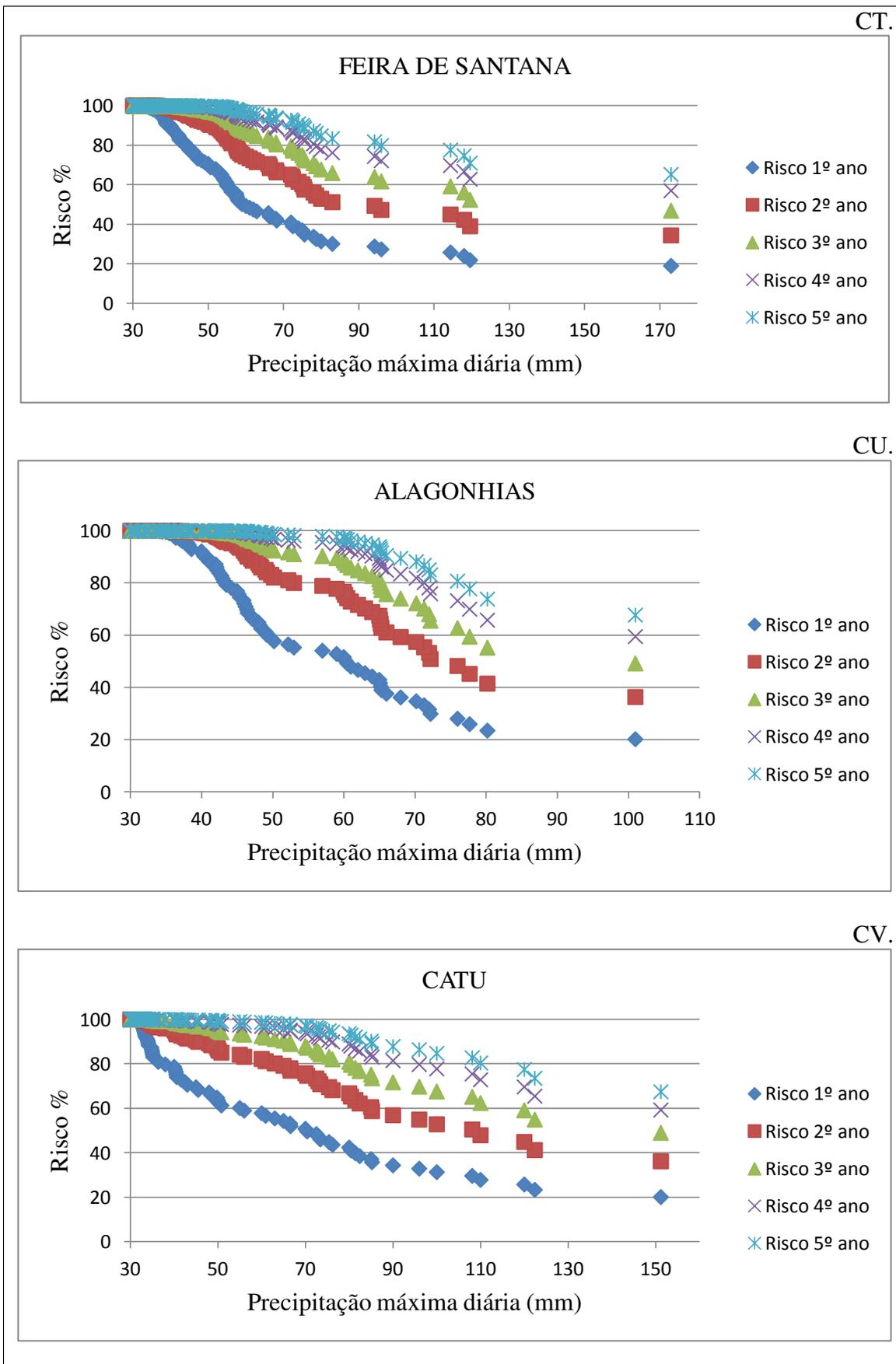


Figura 42. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.

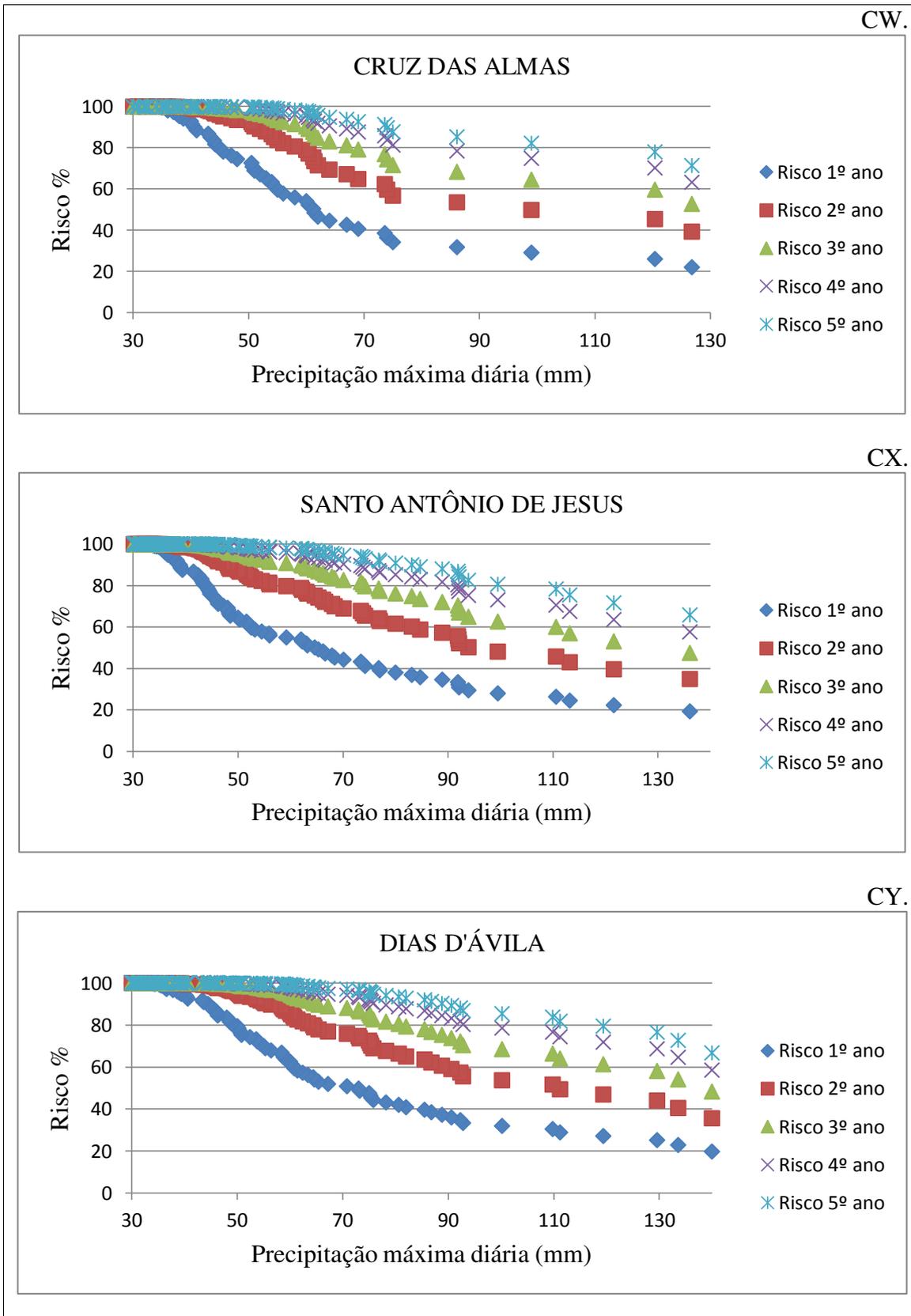
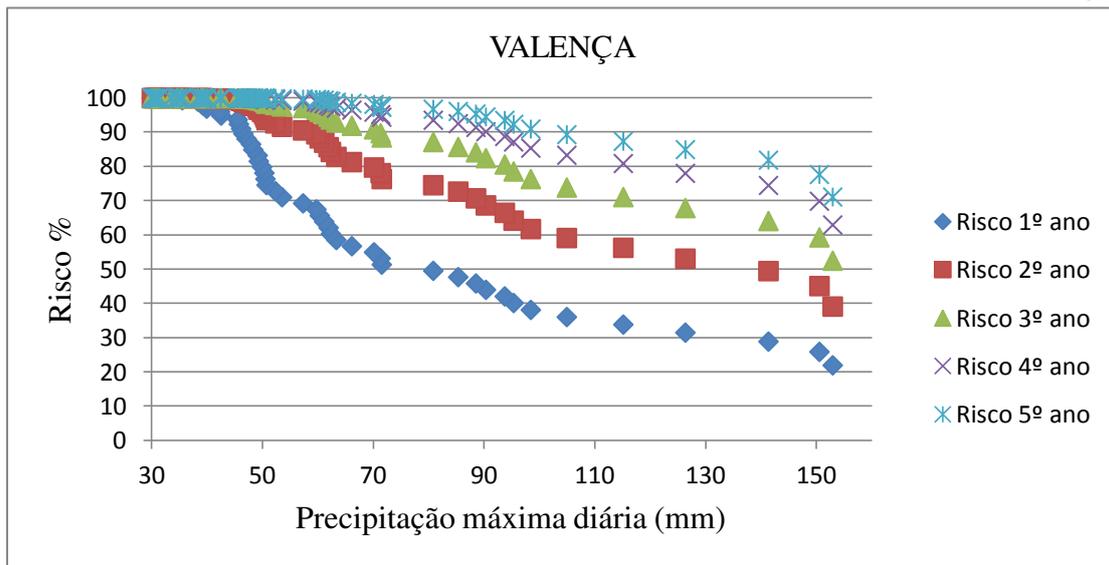
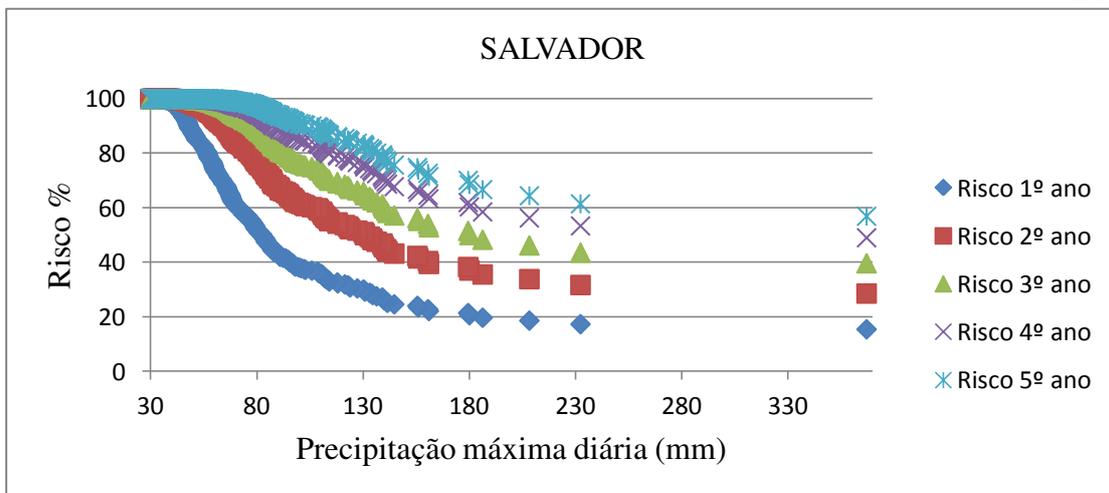


Figura 43. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.

CZ.



DA.



DB.

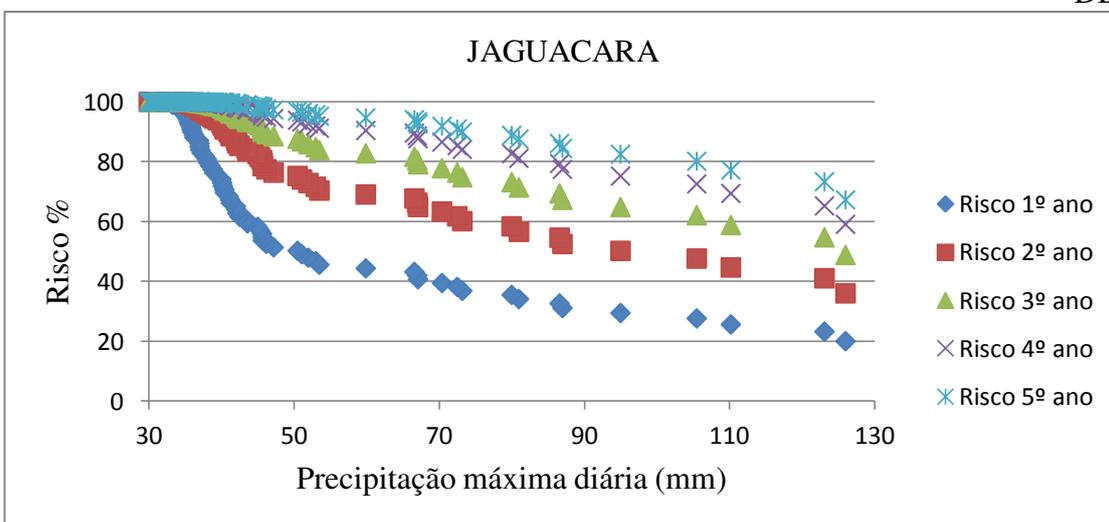
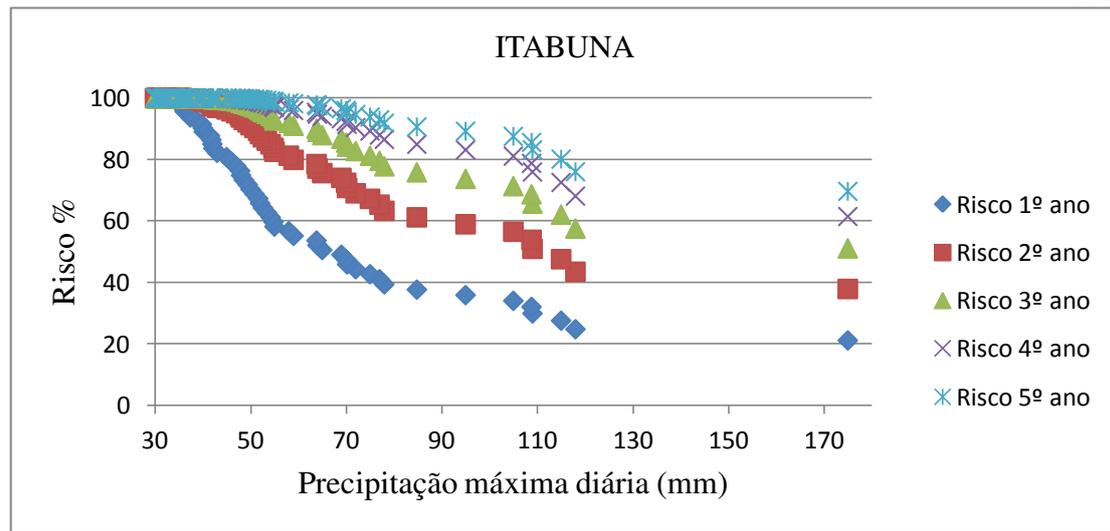
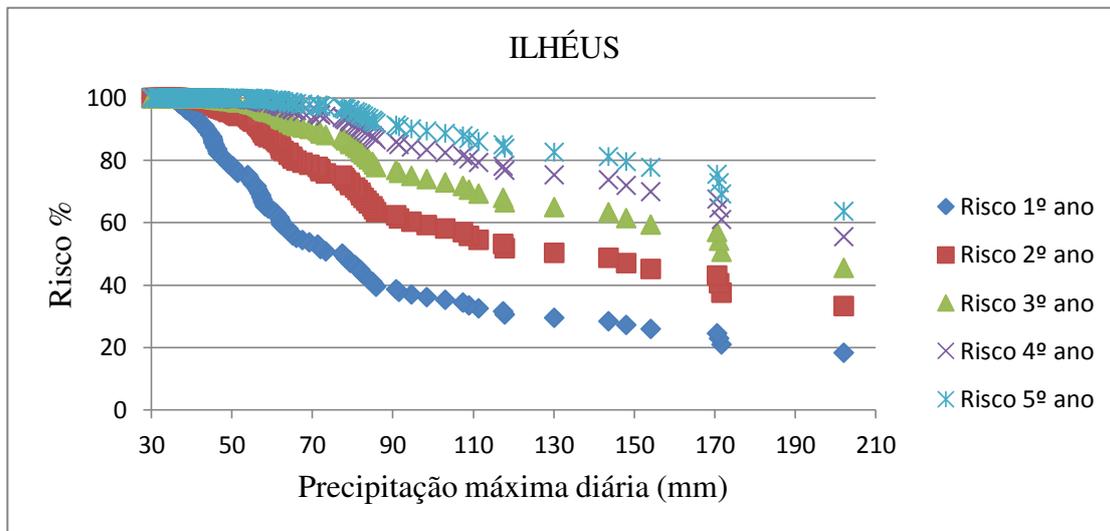


Figura 44. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.

DC.



DD.



DE.

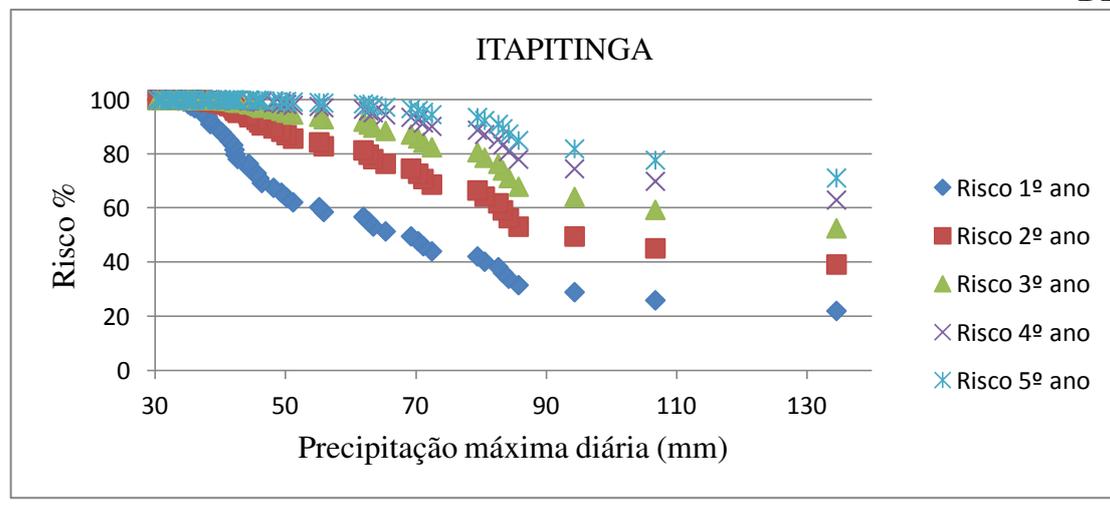


Figura 45. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia.

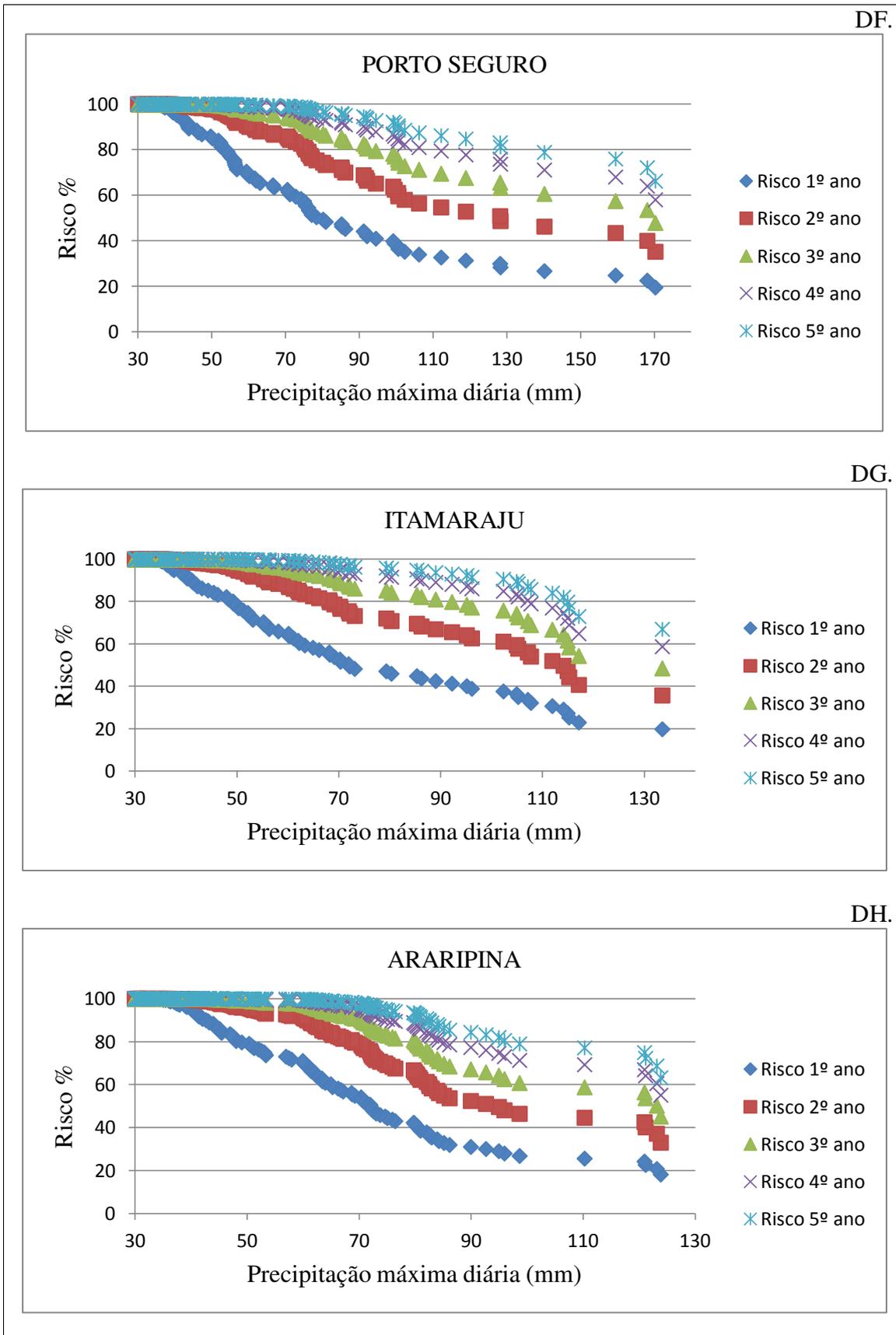
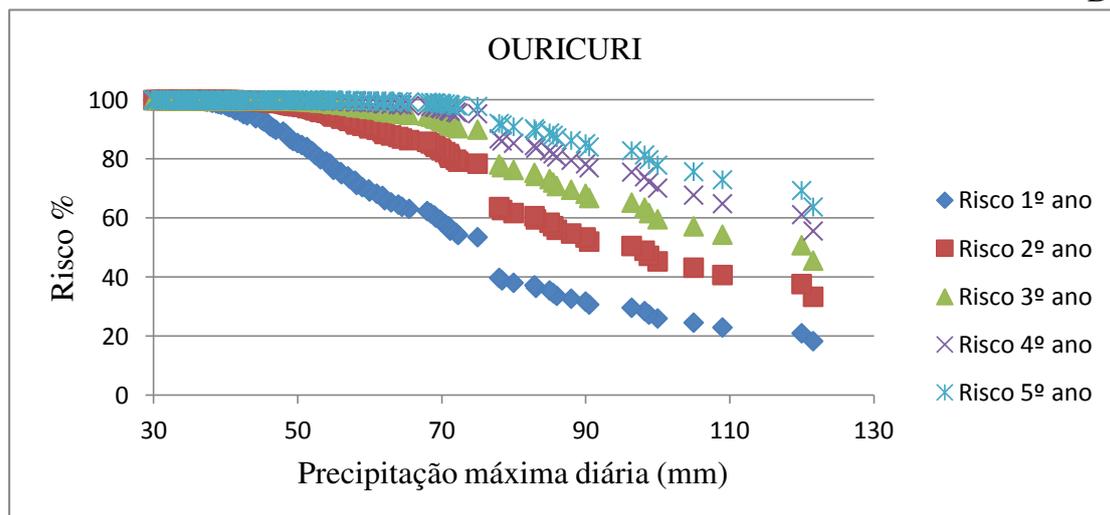
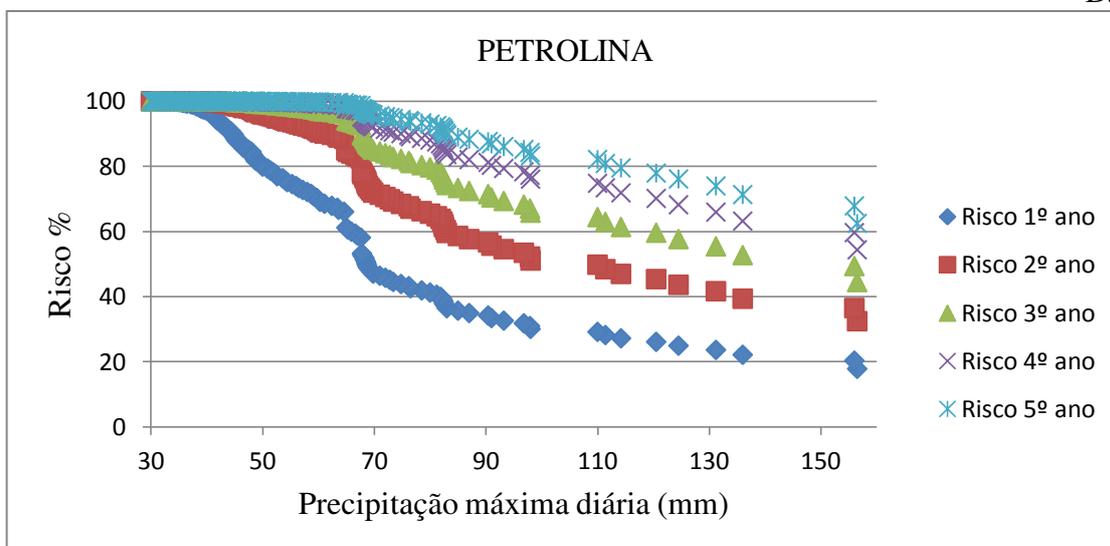


Figura 46. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado da Bahia e Araripina no Estado de Pernambuco.

DI.



DJ.



DK.

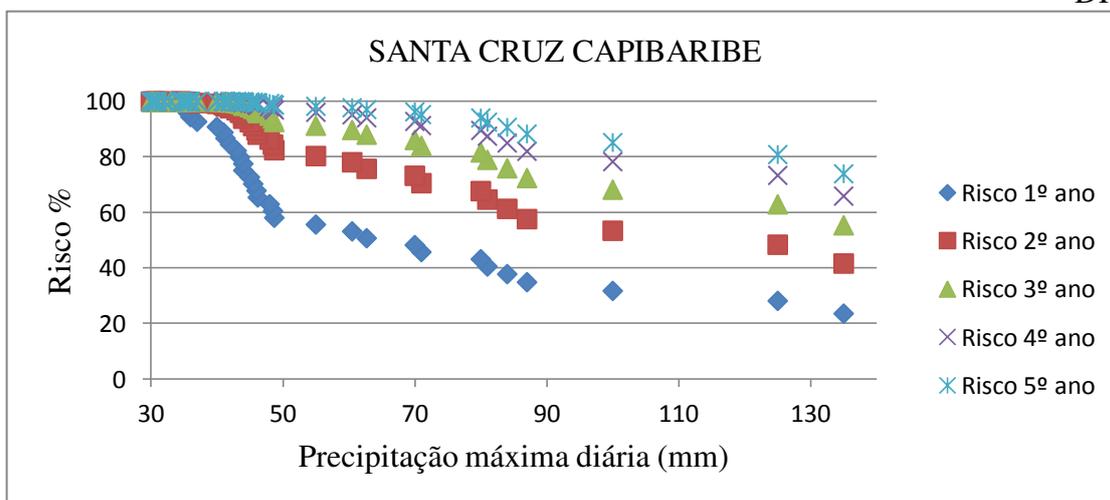


Figura 47. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.

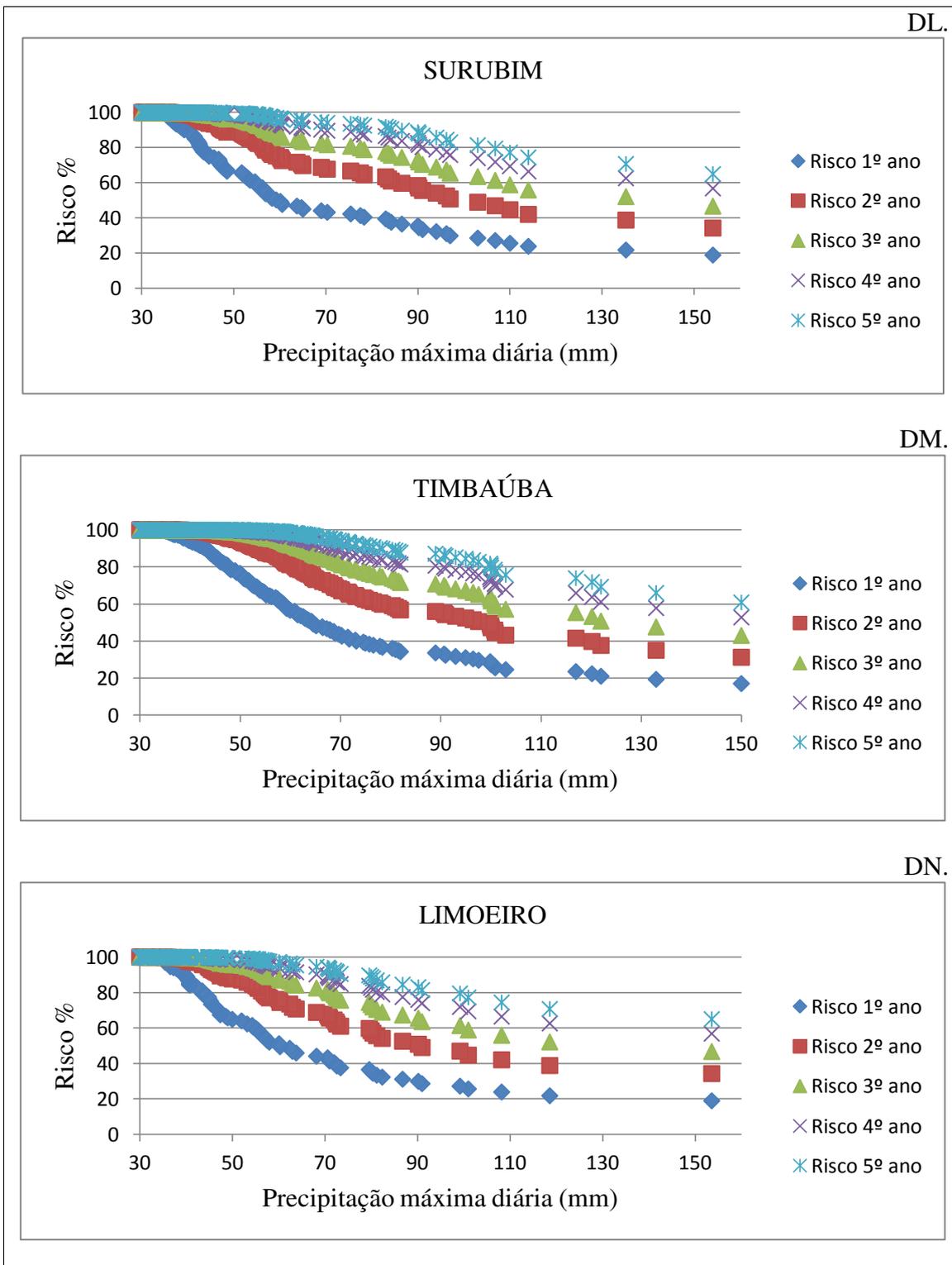


Figura 48. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.

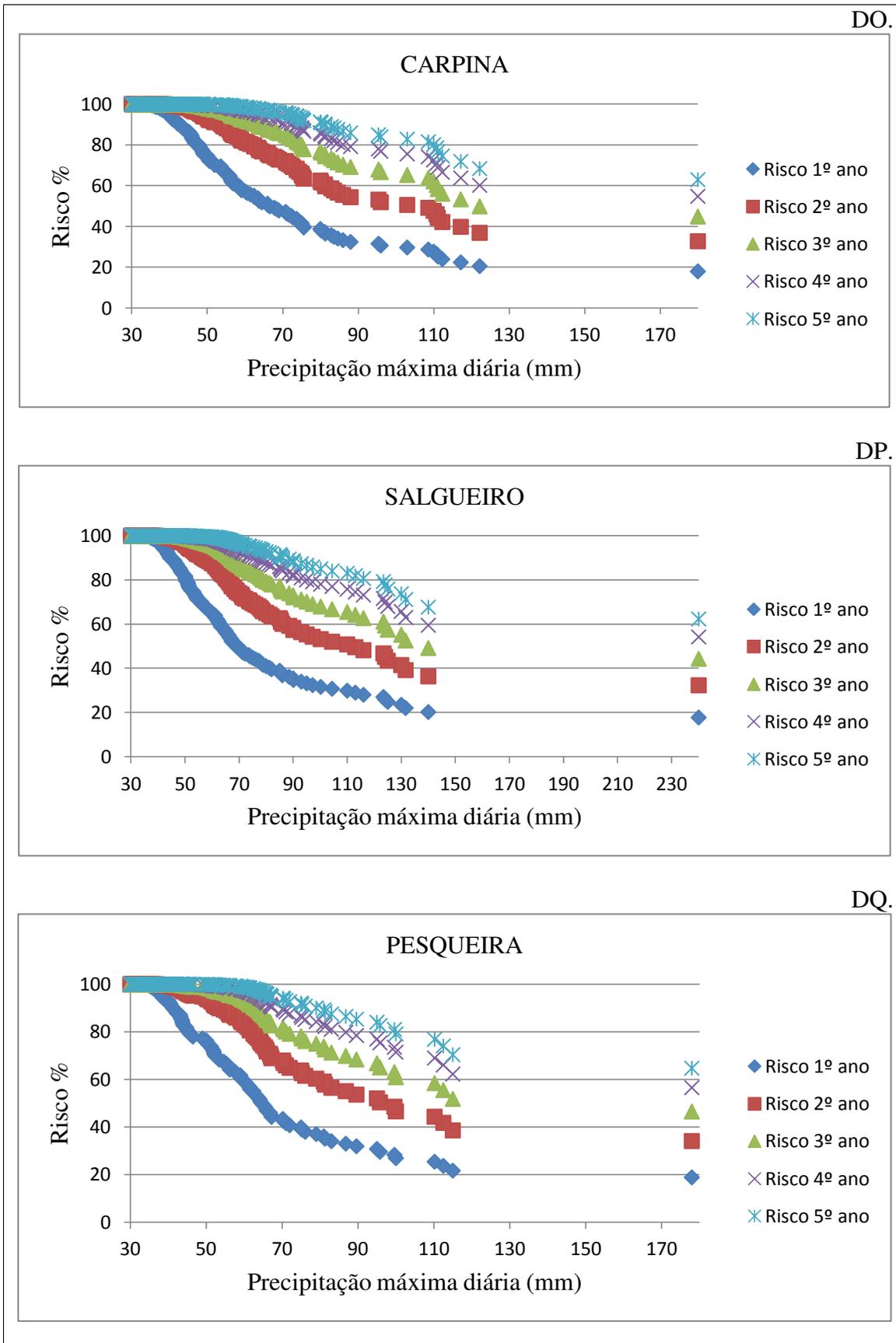
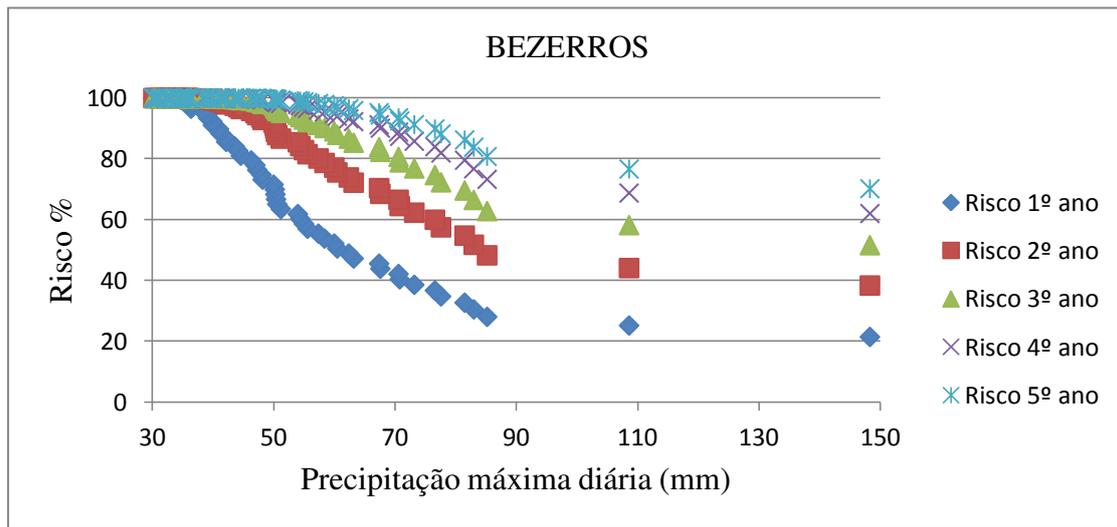
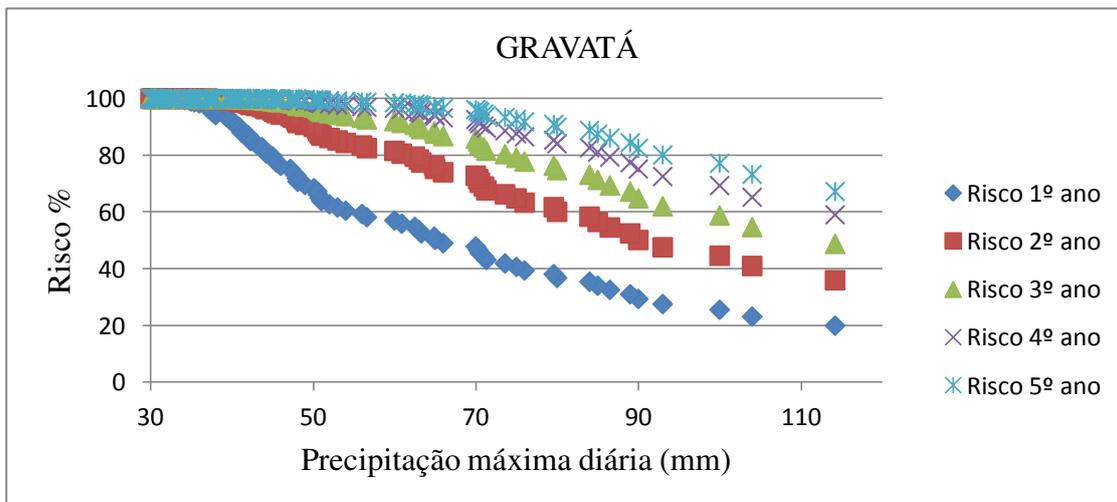


Figura 49. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.

DR.



DS.



DT.

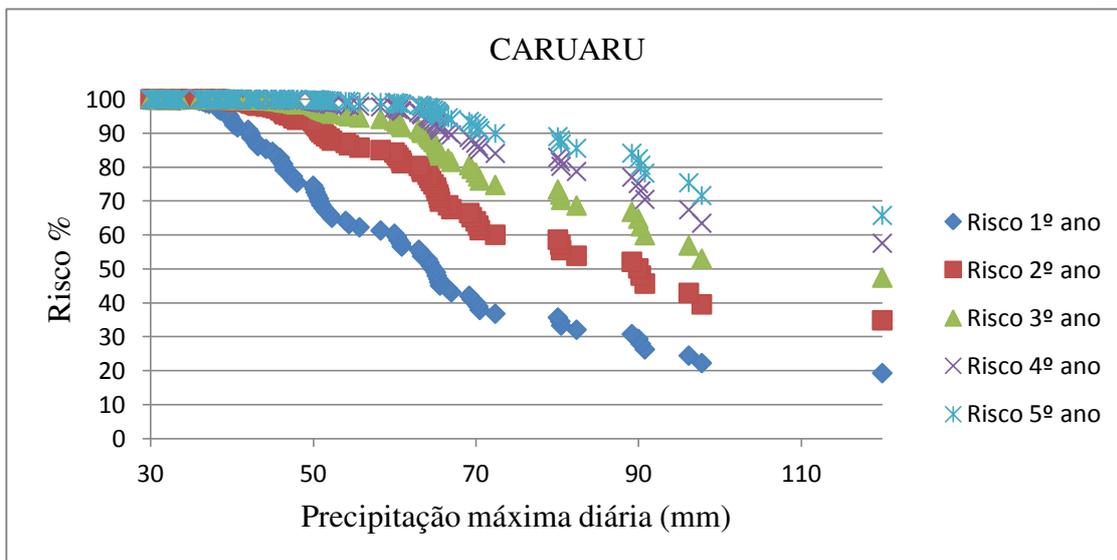


Figura 50. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.

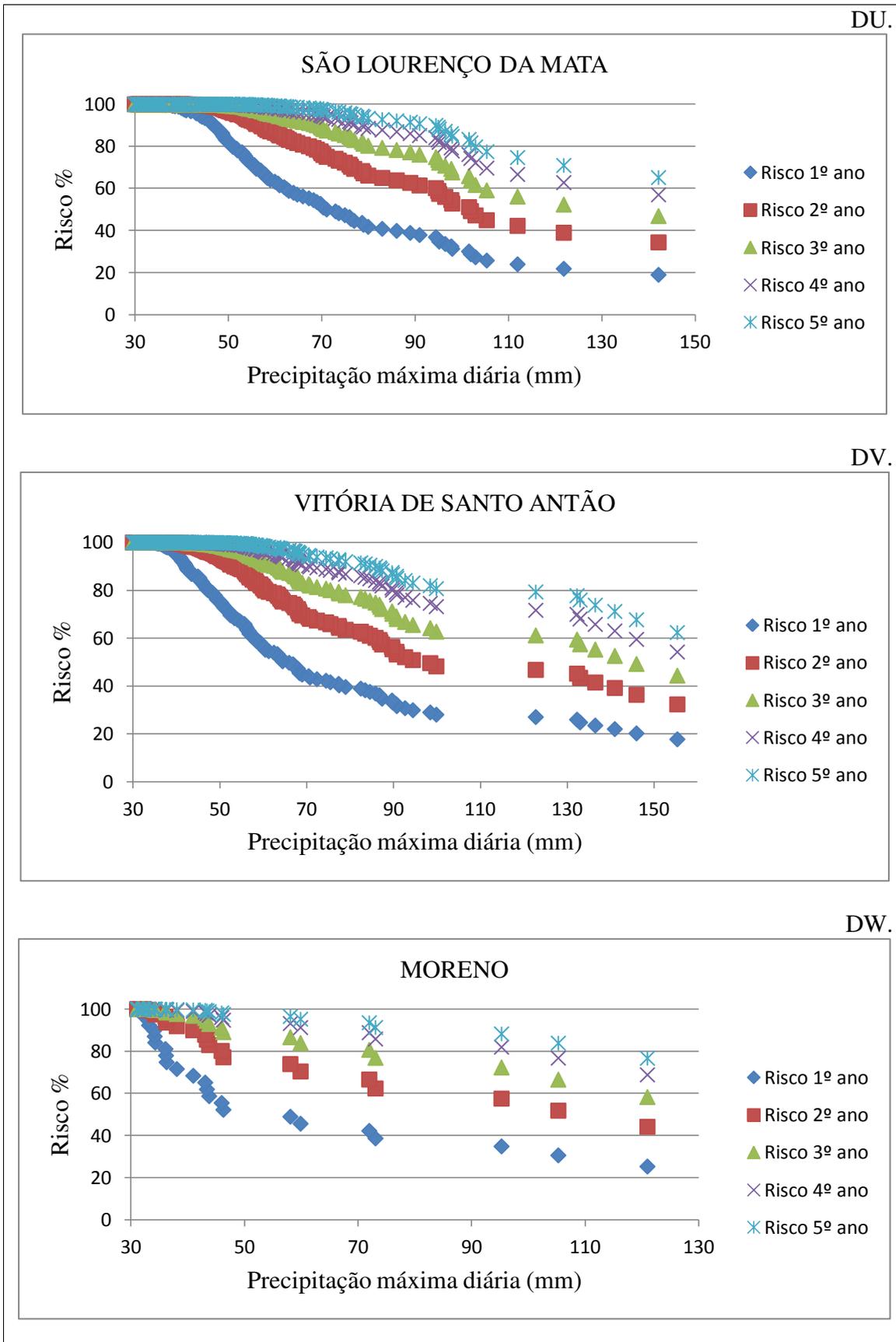


Figura 51. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.

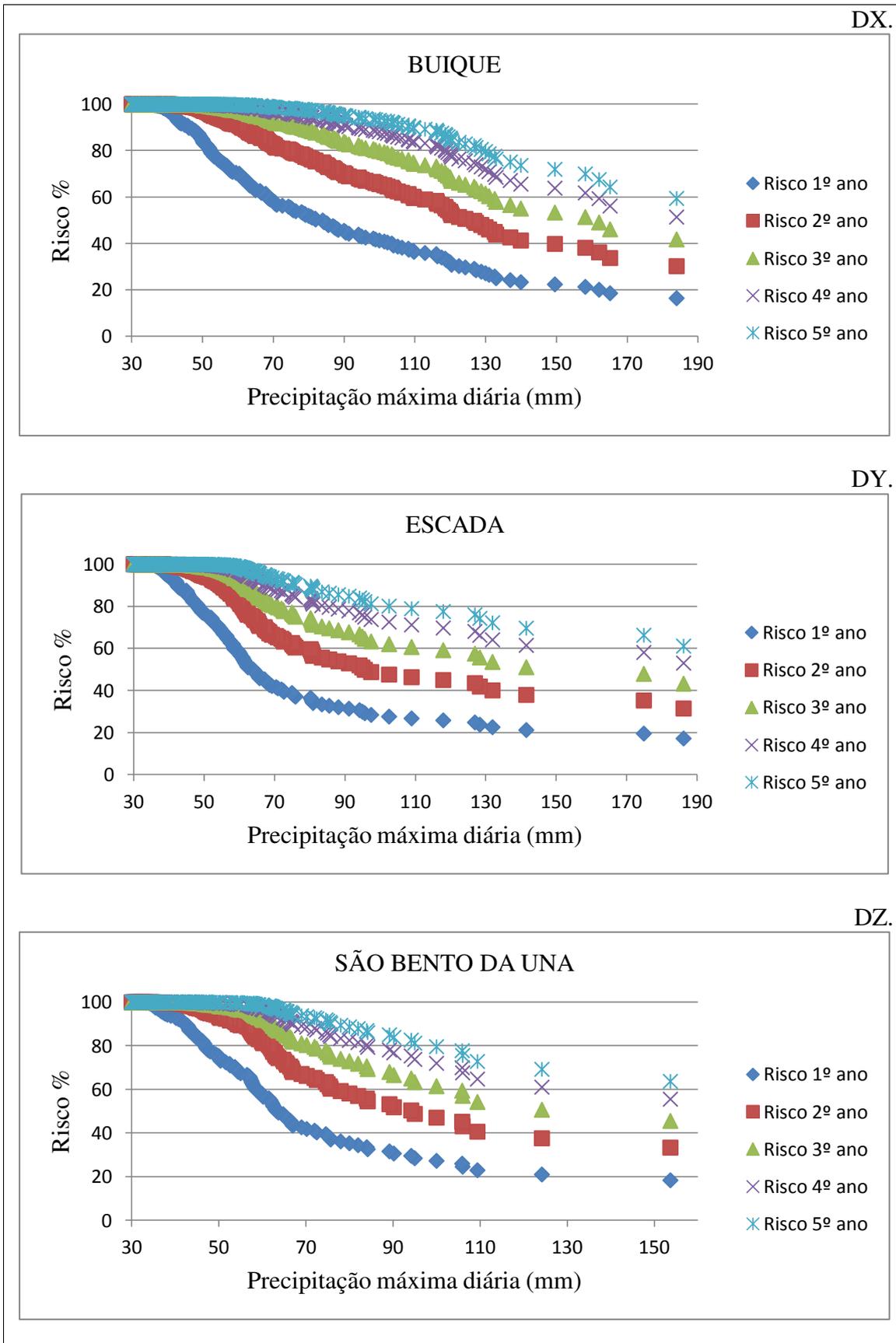
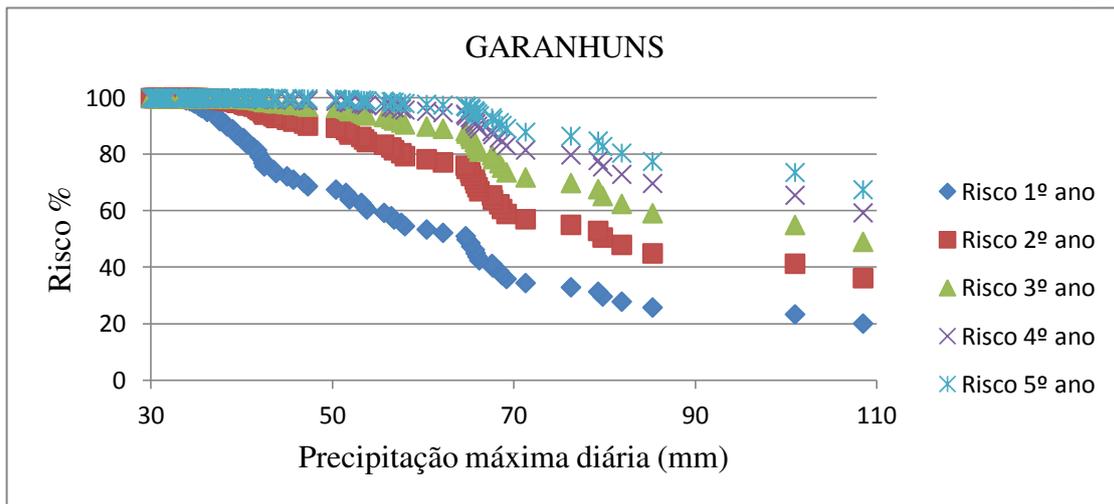
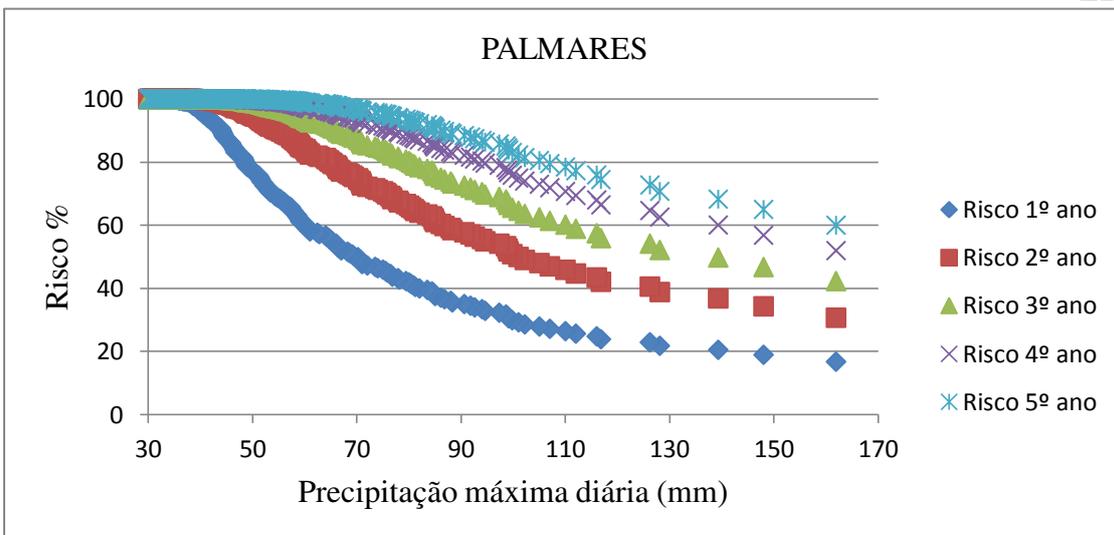


Figura 52. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.

EA.



EB.



EC.

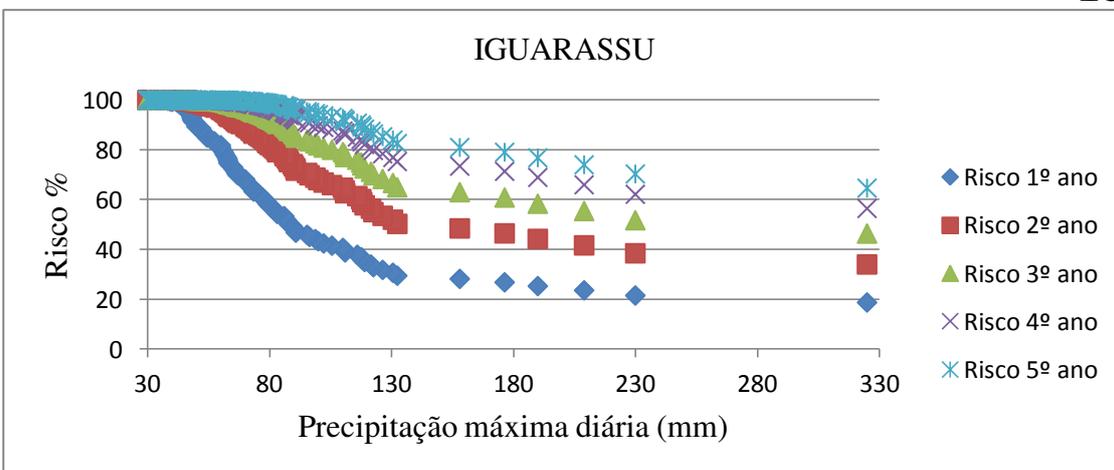


Figura 53. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.

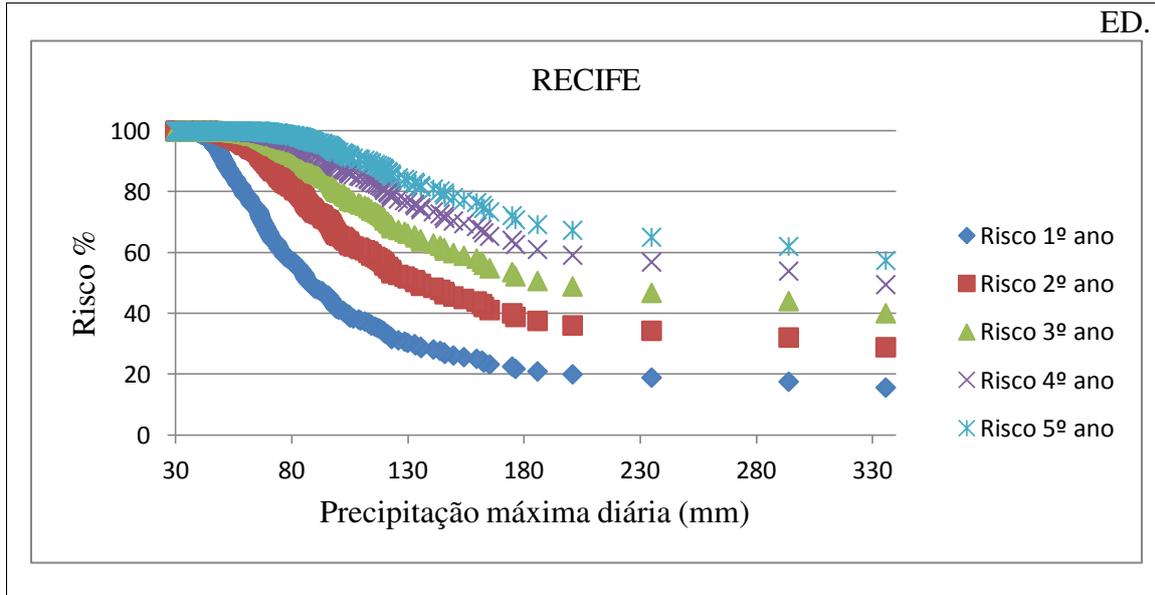


Figura 54. Análise de risco no período 1910 a 2012 para o Estado de Pernambuco.