



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

CLEBSON DO CARMO RAIMUNDO

**“ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE EXTREMOS DE
PRECIPITAÇÃO E ESTUDO DA TENDÊNCIA DE CLASSES DE
PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO”**

Maceió

2011

CLEBSON DO CARMO RAIMUNDO

**“ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE EXTREMOS DE
PRECIPITAÇÃO E ESTUDO DA TENDÊNCIA DE CLASSES DE
PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO”**

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

Orientadora: **Profa. Dra. Maria Luciene Dias de Melo**

Coorientador: **Prof. Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion**

**Maceió
2011**

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

- R153a Raimundo, Clebson do Carmo.
Análise da probabilidade de ocorrência de extremos de precipitação e estudo da tendência de classes de precipitação na região metropolitana de São Paulo / Clebson do Carmo Raimundo. – 2011.
131 f. : il., graf., tabs.
- Orientadora: Maria Luciene Dias de Melo.
Dissertação (mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2011.
- Bibliografia: f. 100-107.
Apêndices: f. 108-131.
1. Precipitação (Meteorologia. 2. Precipitação máxima diária) – São Paulo (SP).
3. Cluster, Análise de. 4. Gumbel, distribuição de. 5. Mann-Kendall, teste de.
I. Título.

CDU: 551. 501



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

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-084.

**“ANÁLISE DA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE EXTREMOS DE
PRECIPITAÇÃO E ESTUDO DA TENDÊNCIA DE CLASSES DE PRECIPITAÇÃO NA
REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO.”**

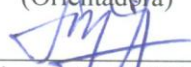
Clebson do Carmo Raimundo

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

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:



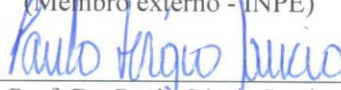
Profª. Drª. Maria Luciene Dias de Melo
(Orientadora)



Prof. Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion
(Membro interno)



Prof. Dr. Clóvis Angeli Sansigolo
(Membro externo - INPE)



Prof. Dr. Paulo Sérgio Lucio
(Membro externo - UFRN)

Fevereiro /2011

Dedico este trabalho com todo amor e carinho a duas pessoas de significados ímpares na minha vida: a minha mãe e meu pai, Luzia Ferreira do Carmo e José Raimundo Filho, pela confiança depositada em mim e como forma de gratidão ao esforço, passado dia a dia, para que tudo isso acontecesse em minha vida, pelo apoio nas horas fáceis e difíceis e por tudo que fizeram e fazem por mim, aos meus irmãos e meus amigos que sempre torceram pelo meu futuro e acreditaram que nada é impossível quando queremos e temos força de vontade e por toda a dedicação e esforço ao longo do tempo de formação.

AGRADECIMENTOS

É impossível realizar um trabalho de pesquisa sem a ajuda e colaboração de outras pessoas. Por isso, considero muito todos os que estiveram envolvidos e colaboraram para o desenvolvimento deste;

Agradeço primeiramente a Deus por dar-me conhecimento e possibilidade física;

Aos meus pais Luzia Ferreira do Carmo e José Raimundo Filho, pessoas que tenho como exemplo de honestidade, bondade, luta, perseverança, que sempre me apoiaram nas horas difíceis, os quais me incentivaram a lutar em busca do melhor, como forma de retribuir tudo o que fizeram e fazem por mim;

A todos os meus familiares, em geral, que apostaram em mim e que de certa forma contribuíram na minha caminhada acadêmica me incentivando a continuar nos meus estudos;

Aos meus irmãos: Fagner do Carmo Raimundo, Daniel do Carmo Raimundo, Carlos Henrique do Carmo Raimundo e Carla do Carmo Raimundo, que sempre me ajudaram nas horas difíceis;

Ao meu sobrinho Kayc Neymar (Tio), ao qual adoro muito e que é a fonte das alegrias de nossa família;

Aos professores e colegas dos cursos de Graduação e Pós-Graduação, pelos ensinamentos e amizades construídas durante o período da Pós-Graduação;

A minha orientadora, Dra. Maria Luciene Dias de Melo e o meu co-orientador Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion, por terem me orientado e transmitido seus conhecimentos, me incentivado nas pesquisas;

Aos professores, Dr. Clóvis Angeli Sansigolo (INPE) e Dr. Paulo Sérgio Lúcio (UFRN) pela colaboração para melhoria dessa pesquisa;

Ao Anderlan Henrique Siqueira e Thaís Di Gregorio por ter me ajudado na elaboração desse estudo;

Em especial ao meu grande amigo Severino da Xerox, pelas brincadeiras ao longo dos dois anos de mestrado;

Aos meus amigos de curso: André Gonçalo dos Santos, Antônio Marcos Delfino, Alan Rodrigues Silva, Walcyneide Souza, Maicon Eirólico, Ana Carla Gomes, Fabiano Prestrelo, Vinícius Pinho pela força, alegrias e brincadeiras ao longo do curso;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de auxílio ao longo do curso.

RESUMO

Eventos extremos de chuva são responsáveis por distúrbios sociais e problemas econômicos, principalmente nos grandes centros urbanos. Áreas densamente povoadas sofrem deslizamentos, inundações e destruição de construções, que causam mortes e doenças em larga escala, tais como malária, dengue e leptospirose. Eles são fenômenos recorrentes que desgastam a vida da população urbana, principalmente aos menos privilegiados. A área de foco deste trabalho foi a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Brasil, uma das maiores cidades do mundo. Foi analisada uma rede de 21 estações, na RMSP, com totais diários de precipitação para: i) estimar a precipitação máxima diária anual (PMDA), por meio da distribuição de Gumbel, ii) grupos com diferentes taxas de precipitação dentro das classes (de chuvisco a precipitação extrema), e, verificar a similaridade entre as estações (clustering), para taxas de precipitação anual e sazonal, para o período de 1947 a 1998, fazendo uso da técnica conhecida como análise de cluster, e III) identificar possíveis tendências nas três classes de taxa de precipitação (chuvisco, moderado e acima de 30mm/dia) para os períodos anuais e sazonais, para o comprimento total de cada estação, utilizando o teste de tendência de Mann-Kendall. Os resultados mostraram que os dados observados de precipitação máxima diária se ajustam à distribuição de Gumbel no período anual, com taxa anual estimada de precipitação máxima diária igual a 239,3 mm/dia com período de retorno de 500 anos na estação Barrocada, localizada na região centro-norte da RMSP. A análise de agrupamento mostrou pouca similaridade entre as estações, com relação a algumas taxas de classes de precipitação, tanto em número de eventos das classes de precipitação total, nos períodos anuais como sazonais. O teste de Mann-Kendall apresentou tendência de aumento significativo dos totais acumulados em um maior número de estações para ambos os períodos, anuais e sazonais. A tendência do número de eventos de classe chuvisco, foi significativamente alta para a maioria das estações, novamente tanto em períodos anuais como sazonais, mas nem todas as estações apresentaram tendência de aumento para a classe de eventos moderados. Além disso, a tendência de aumento significativo das classes de taxa de precipitação acima de 30 mm/dia foi encontrada em algumas estações no período anual. Em geral, houve tendência de aumento significativo das taxas de classes de precipitação na RMSP.

Palavras-chave: Precipitação máxima diária. Cluster Análise. Distribuição de Gumbel. Teste de Mann-Kendall.

ABSTRACT

Extreme rainfall events are responsible for social disorder and economic problems, especially in large urban centers. Densely populated areas suffer from flooding, landslide and building destruction that cause deaths and wide-spread diseases, such as malaria, dengue and leptospirosis. They are recurrent phenomena that wear down the life of the urban population, particularly the least privileged ones. The focal area of this work was the Metropolitan Region of São Paulo (MRSP), Brazil, one of the largest cities in the world. Rainfall daily totals of 21 rain gage network in the MRSP were analyzed to i) estimate the annual maximum daily rainfall (PMDA), by means of the Gumbel distribution; II) group different rainfall rates into classes (from drizzle to extreme rates) and verify the similarity between seasons (clustering), that is annual and seasonal rain rates, for the period 1947 to 1998, making use of the technique known as Cluster Analysis, and III) identify possible trends of three rain rate classes (drizzle, moderate and above 30.0 mm / day) for the annual and seasonal periods, for the whole dataset length of each gage, using the Mann-Kendall trend test. The results showed that the maximum daily rainfall observed data fit the Gumbel distribution in the annual period, with the estimated annual daily maximum rain rate equal to 239.3 mm / day with a return period of 500 years in Barrocada gage, located in MRSP north-central region. Cluster analysis showed little similarity amongst gages, with respect to some rain rate classes, both in the number of events and the classes' rain totals, in the annual and seasonal periods. The Mann-Kendall test showed significant increasing trend of the cumulative totals for a larger number of gages for both annual and seasonal periods. The trend of the number of drizzle events class was significantly upward for most gages, again both in the annual and seasonal periods, but not all gages presented increasing trend for the moderate events class. Also, significant increasing trend of the rain rate classes above 30.0 mm / day was found at some gages in the year period. In general, there was significant upward trend of rain rate classes in the MRSP.

Key-words: Maximum daily rainfall. Cluster Analysis. Gumbel Distribution. Mann-Kendall Test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Região Metropolitana de São Paulo, destacando as 21 estações pluviométricas distribuídas na RMSP. Fonte: Autor, 2011.	32
Figura 2	Altitude da RMSP com base nas 21 estações pluviométricas distribuídas na região. Fonte: Autor, 2011.	32
Figura 3	Representatividade das definições de extremo. a) máxima de blocos e b) pontos acima de um limiar. Fonte: Autor, 2011.	33
Figura 4	Planilha de visualização do cálculo da frequência relativa. Fonte: Autor, 2011.	39
Figura 5	Exemplo da estimativa da precipitação através da Distribuição de Gumbel, com dados da estação do IAG/USP. Fonte: Autor, 2011.	40
Figura 6	Exemplo de período de retorno para estação do IAG/USP. Fonte: Autor, 2011.	41
Figura 7	Exemplo da construção de um dendrograma. Fonte: Autor, 2011.	44
Figura 8	Exemplo de um dendrograma. Fonte: Autor, 2011.	44
Figura 9	Ilustração da reta de tendência. Fonte: Autor, 2011.	46
Figura 10	Modelo do padrão de distribuição normal. Fonte: www.ufpa.br	47
Figura 11	Limites da distribuição normal mostrando os valores críticos para validação do teste de tendência. Fonte: www.ufpa.br/dicas .	50
Figura 12	Estimativa da precipitação através da Distribuição de Gumbel para: 1) Guarulhos; 2) Cachoeira da Graça; 3) Franco da Rocha; 4) Guararema; 5) Itaquaquecetuba; 6) Mairiporã; 7) Pedro Beith; 8) Barueri; 9) Salesópolis; 10) Santa Isabel; 11) Usina Salesópolis; 12) IAG; 13) Perus; 14) Santana; 15) Santo Amaro; 16) Água Branca; 17) Barrocada; 18) Engordador; 19) Instituto Biológico; 20) Congonhas Aeroporto e 21) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.	58
Figura 13	Dendrograma do total de precipitação acumulado no ano hidrológico. Fonte: Autor, 2011.	61
Figura 14	Isolinhas do total de precipitação acumulado no ano hidrológico. Fonte: Autor, 2011.	62
Figura 15	Dendrograma do total de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor, 2011.	63
Figura 16	Isolinhas do total médio anual de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor, 2011.	63
Figura 17	Dendrograma do total de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor, 2011.	64
Figura 18	Isolinhas do total médio anual de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor, 2011.	64
Figura 19	Dendrograma do total de precipitação da classe forte. Fonte: Autor, 2011.	65
Figura 20	Isolinhas do total médio anual de precipitação da classe forte. Fonte: Autor, 2011.	65
Figura 21	Dendrograma do total de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011.	66
Figura 22	Isolinhas do total médio anual de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011.	66
Figura 23	Dendrograma do total de precipitação da classe extrema. Fonte: Autor, 2011.	67

	Autor, 2011.	
Figura 24	Isolinhas do total médio anual de precipitação da classe extrema. Fonte: Autor, 2011.	67
Figura 25	Dendrograma do número de eventos anuais de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor, 2011.	69
Figura 26	Isolinhas do número médio de eventos anuais de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor, 2011.	69
Figura 27	Dendrograma do número de eventos anuais de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor, 2011.	69
Figura 28	Isolinhas do número médio de eventos anuais de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor, 2011.	70
Figura 29	Dendrograma do número de eventos anuais de precipitação da classe forte. Fonte: Autor, 2011.	71
Figura 30	Isolinhas do número de eventos anuais de precipitação forte. Fonte: Autor, 2011.	71
Figura 31	Dendrograma do número de eventos anuais de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011.	72
Figura 32	Isolinhas do número de eventos anuais de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011.	72
Figura 33	Dendrograma do número de eventos anuais de precipitação extrema.	73
Figura 34	Isolinhas do número de eventos anuais de precipitação da classe extrema. Fonte: Autor, 2011.	74
Figura 35	Dendrograma do total sazonal (Dezembro, Janeiro, Fevereiro). Fonte: Autor, 2011.	75
Figura 36	Isolinhas do total sazonal (Dezembro, Janeiro, Fevereiro). Fonte: Autor, 2011.	75
Figura 37	Dendrograma do total sazonal de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor, 2011.	76
Figura 38	Isolinhas do total médio sazonal de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor, 2011.	76
Figura 39	Dendrograma do total sazonal de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor, 2011.	77
Figura 40	Isolinhas do total médio sazonal de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor, 2011.	77
Figura 41	Dendrograma do total sazonal de precipitação da classe forte. Fonte: Autor, 2011.	78
Figura 42	Isolinhas do total médio sazonal de precipitação da classe forte. Fonte: Autor, 2011.	79
Figura 43	Dendrograma do total sazonal de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011.	79
Figura 44	Isolinhas do total médio sazonal de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011.	80
Figura 45	Dendrograma do total sazonal de precipitação da classe extrema. Fonte: Autor, 2011.	81
Figura 46	Isolinhas do total médio sazonal de precipitação da classe extrema. Fonte: Autor, 2011.	81
Figura 47	Dendrograma do número de eventos sazonal de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor, 2011.	82
Figura 48	Isolinhas do número de eventos sazonal de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor, 2011.	82

Figura 49	Dendrograma do número de eventos sazonal de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor, 2011.	83
Figura 50	Isolinhas do número de eventos sazonal de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor, 2011.	83
Figura 51	Dendrograma do número de eventos sazonal de precipitação da classe forte. Fonte: Autor, 2011.	84
Figura 52	Isolinhas do número de eventos sazonal de precipitação da classe forte. Fonte: Autor, 2011.	85
Figura 53	Dendrograma do número de eventos sazonal de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011.	85
Figura 54	Isolinhas do número de eventos sazonal de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011.	86
Figura 55	Dendrograma do número de eventos sazonal de precipitação da classe extrema. Fonte: Autor, 2011.	86
Figura 56	Isolinhas do número de eventos sazonal de precipitação da classe extrema. Fonte: Autor, 2011.	87
Figura 57	Total anual hidrológico. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beicth; VIII) Barueri; IX) Salesopolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesopolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana;XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII) Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.	110
Figura 58	Total sazonal. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beicth; VIII) Barueri; IX) Salesopolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesopolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana;XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII) Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.	113
Figura 59	Número de eventos anual de precipitação da classe chuvisco. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beicth; VIII) Barueri; IX) Salesopolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesopolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana;XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII) Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.	116
Figura 60	Número de eventos anual de precipitação moderada. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beicth; VIII) Barueri; IX) Salesopolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesopolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana; XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII) Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.	119
Figura 61	Número de eventos anual maiores que 30 mm/dia. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beicth; VIII) Barueri; IX) Salesopolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesopolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana;XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII)	122

	Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.	
Figura 62	Número de eventos sazonal de precipitação chuvisco. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beicth; VIII) Barueri; IX) Salesopolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesopolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana; XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII) Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.	125
Figura 63	Número de eventos sazonal de precipitação moderada. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beicth; VIII) Barueri; IX) Salesopolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesopolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana; XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII) Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.	128
Figura 64	Número de eventos sazonal maiores que 30 mm/dia. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beicth; VIII) Barueri; IX) Salesopolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesopolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana; XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII) Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Distribuição interanual de eventos em diferentes limiares de chuva em 24 horas (mm). Fonte: Adaptado de Espírito Santo e Satyamurty (2002)	21
Tabela 2	Localização espacial e geográfica, período e falhas das estações pluviométricas da RMSP. Fonte: Autor, 2011.	33
Tabela 3	Probabilidade estimada para diferentes valores da variável de Gumbel (u) e $P(x)$ é a probabilidade de ocorrência do evento. Fonte: Autor, 2011.	40
Tabela 4	Frequência de classes de precipitação e seus intervalos correspondentes. Fonte: Autor, 2011.	42
Tabela 5	Percentual correspondente aos valores de um, dois, ou três desvios padrão. Fonte: Autor, 2011.	48
Tabela 6	Valores da Distribuição Normal Padrão. Fonte: http://aulasdematematica.com.br	49
Tabela 7	Probabilidade de ocorrência estimada ($P(x)$) e os tempos de retorno T , para diferentes valores da variável de Gumbel (u). Fonte: Autor, 2011.	53
Tabela 8	Probabilidade estimada de ocorrência do evento $P(x)$, de ser Superação $P(s)$, para diferentes tempos de retorno. Fonte: Autor, 2011.	58
Tabela 9	Probabilidade das precipitações máximas estimadas pelo método dos momentos com seus respectivos períodos de retorno. Fonte: Autor, 2011.	60
Tabela 10	Resultado do teste de tendência e dos coeficientes da reta para total anual e sazonal. Sendo (X) para tendência crescente significativa e ($-X$) para decrescente significativa. Fonte: Autor, 2011.	89
Tabela 11	Resultado do teste de tendência e dos coeficientes da reta para o número de eventos anual nas classes, chuvisco, moderada e precipitação > 30 mm/dia. Fonte: Autor, 2011.	92
Tabela 12	Resultado do teste de tendência e dos coeficientes da reta para o número de eventos sazonal nas classes, chuvisco, moderada e precipitação > 30 mm/dia. Fonte: Autor, 2011.	94

LISTA DE ABREVIATURAS

RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
CHS	precipitação chuvisco
Mo	precipitação moderada
Fo	precipitação forte
MF	precipitação muito forte
PE	precipitação extrema
EEP	Eventos Extremos de Precipitação
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCPS	Zona de Convergência do Pacífico Sul
ENOS	El Niño/Oscilação Sul
BDM	Banco de Dados Meteorológicos
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
DJF	dezembro, janeiro e fevereiro
IAG	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
SBMET	Sociedade Brasileira de Meteorologia
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
ESALQ	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
MG	Minas Gerais

MK	Mann-Kendall
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e estatística
PIB	Produto Interno Bruto
ABCD	São Caetano, São Bernardo do Campo, Santo André, Diadema
USP	Universidade de São Paulo
ANA	Agência Nacional de Águas
T	Tempo de retorno
SQD	Quadrados dos Desvios
PMDA	precipitações máximas diárias anuais
Prp	Precipitação
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Período Chuvoso da Região Sudeste	19
2.2	Influência da Urbanização nas Precipitações	22
2.3	Tendências da Pluviometria na Região Metropolitana de São Paulo	23
2.4	Eventos Extremos de Precipitação e sua Distribuição na Região Metropolitana de São Paulo	25
2.5	Distribuição Gumbel e Tempo de Retorno	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1	Área de Estudo	31
3.2	Dados Utilizados	33
3.3	Metodologia	34
3.3.1	Teoria dos valores extremos	34
3.3.1.1	Distribuição de Gumbel	36
3.3.1.2	Média (μ)	37
3.3.1.3	Desvio padrão (s)	37
3.3.1.4	Método dos Momentos	37
3.3.1.5	Tempo de retorno	40
3.4	Análise de Cluster ou de Agrupamento	41
3.4.1	Distância de Minkowski	42
3.4.2	Método de Ward	43
3.4.3	Procedimentos de aglomeração	43
3.5	Análise de tendências	45
3.5.1	Coeficiente angular da reta	45
3.6	Resumo dos Procedimentos Metodológicos e Aspectos Práticos	50
4	RESULTADO E DISCUSSÕES	53
4.1	Ajuste das Precipitações Máximas Diárias Anuais pela Distribuição Gumbel	53
4.2	Análise Multivariada das Precipitações	60
4.2.1	Total anual hidrológico	61
4.2.1.1	Classe de precipitação chuvisco	62
4.2.1.2	Classe de precipitação moderada	63
4.2.1.3	Classe de precipitação forte	64
4.2.1.4	Classe de precipitação muito forte	65
4.2.1.5	Classe de precipitação extrema	66
4.2.2	Número total de eventos de precipitação no período anual	68
4.2.2.1	Classe de precipitação chuvisco	68
4.2.2.2	Classe de precipitação moderada	69
4.2.2.3	Classe de precipitação forte	70
4.2.2.4	Classe de precipitação muito forte	72
4.2.2.5	Classe de precipitação extrema	73
4.2.3	Total sazonal acumulado (DJF)	74
4.2.3.1	Classe de precipitação chuvisco	75

4.2.3.2	Classe de precipitação moderada	77
4.2.3.3	Classe de precipitação forte	78
4.2.3.4	Classe de precipitação muito forte	79
4.2.3.5	Classe de precipitação extrema	80
4.2.4	Número de eventos das classes de precipitação no período sazonal	81
4.2.4.1	Classe de precipitação chuvisco	81
4.2.4.2	Classe de precipitação moderada	82
4.2.4.3	Classe de precipitação forte	84
4.2.4.4	Classe de precipitação muito forte	85
4.2.4.5	Classe de precipitação extrema	86
4.2.5	Aplicação do teste de tendências de Mann-Kendall – MK	88
4.2.5.1	Mann-Kendall para o total anual e sazonal	88
4.2.5.2	Mann-Kendall aplicado ao número de eventos de precipitação no período anual nas classes: chuvisco, moderada e acima de 30 mm/dia.	90
4.2.5.3	Mann-Kendall aplicado ao número de eventos de precipitação no período sazonal (DJF) nas classes: chuvisco, moderada e acima de 30 mm/dia.	93
5	CONCLUSÕES	99
	REFERÊNCIAS	100
	APÊNDICE A	108
	APÊNDICE B	111
	APÊNDICE C	114
	APÊNDICE D	117
	APÊNDICE E	120
	APÊNDICE F	123
	APÊNDICE G	126
	APÊNDICE H	129

1 INTRODUÇÃO

Trabalhar com eventos extremos diários de precipitação sempre foi um problema, pois a falta de informação meteorológica diária confiável, em longas séries de tempo, ainda persiste. Mesmo com o avanço da tecnologia e do aparato computacional, esse tipo de dado ainda está sujeito a erros durante sua coleta e transmissão. Além da necessidade de ser regulamentada uma forma de facilitar a coleta e disponibilização dos dados, para uso futuro.

Previsões confiáveis de eventos extremos servem para alertar a população e permitir medidas de defesa, contra os efeitos adversos causados por esses tipos de eventos (ESPÍRITO SANTO e SATYAMURTY, 2002). Pois, a identificação de extremos climáticos e sua variabilidade, dependem da confiabilidade dos dados, principalmente na região das grandes cidades, como por exemplo, a região Sudeste do Brasil que concentra a maior densidade demográfica da América do Sul, principalmente devido a concentração de grandes regiões metropolitanas juntamente a áreas industriais (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2005).

Inserida nesse contexto, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) foi escolhida para elaboração dessa pesquisa, por possuir grande concentração demográfica e, conseqüentemente, sofrer com problemas oriundos dos eventos extremos de precipitação. Por isso, dentre inúmeros eventos considerados como extremos: friagens, ondas de calor e frio, chuvas intensas, inundações, veranicos, entre outros eventos. Os eventos extremos de precipitação são os que surtem mais efeitos afetando diretamente a sociedade em geral, ou seja, são os que merecem maior atenção dos órgãos públicos e/ou privados, principalmente nas cidades que possuem grandes populações e que sofrem um grande abalo social e econômico com as inundações causadas pelos eventos extremos de precipitação.

Independente do tempo de duração e atuação, cheias súbitas associadas a eventos intensos de chuva, muitas vezes breves, podem ser um dos mais destrutivos de todos os eventos, pois, a população é apanhada de surpresa e as cidades não disponibilizam de um sistema eficaz, principalmente de drenagem, capaz de conter toda a água em um curto e/ou longo período de tempo (RAIMUNDO et al, 2010).

Esses eventos têm um significado diferente para uma família que teve seu barraco alagado, para outros que ficaram presos num ônibus por muitas horas, dentre outros (ALVES FILHO e RIBEIRO, 2006a). Também na zona rural, esses eventos podem causar grandes perdas, principalmente nas culturas agrícolas. Além disso, geram impacto no abastecimento de água e fornecimento de energia elétrica. O Brasil por possuir grande variação climática

regional, está sujeito às inúmeras variações no clima e no tempo, provocadas pelos eventos extremos de precipitação (RAIMUNDO et al, 2010).

Segundo Smith et al (1996) a topografia e a circulação local podem aumentar a atividade dos sistemas convectivos, que sob condições atmosféricas favoráveis podem gerar forte precipitação e tempo severo em poucas horas. Carvalho et al (2002, 2004) perceberam que em São Paulo observam-se mais eventos extremos de chuvas durante anos de El Niño e os extremos de chuva são sensíveis a intensidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

A partir da análise dos dados referentes aos desastres naturais ocorridos no planeta entre os anos 1900 e 2000, com base nos bancos de dados existentes, Marcelino et al (2006) destacaram o incremento dos desastres naturais a partir da década de 50. Possivelmente relacionado ao aumento da população global com maior exposição às vulnerabilidades (ZANELLA et al, 2009).

Considerando os problemas encontrados nos grandes centros urbanos, muitos trabalhos relacionados ao impacto das chuvas, nas grandes cidades, começaram a ganhar maior importância a partir da década de 1980. Tendo havido uma ampliação do número e áreas estudadas nas décadas de 1990 e 2000. Por possuir diversos problemas, sejam eles sociais ou econômicos, devido ao seu grande porte a cidade de São Paulo é a mais estudada, tonando-se a mais privilegiada nos estudos de eventos climáticos em relação às demais cidades brasileiras (ZANELLA et al, 2009).

Alguns estudos realizados, como os de Pastorino (1971), Monteiro (1980), Paschoal (1982), Oliveira e Figueiroa (1984), Cabral e Jesus (1991), Gonçalves (1992, 2003), Brandão (2001), Serrano e Cabral (2004), Vicente (2005), Zanella (2006), entre outros, destacaram a impermeabilização dos solos, a falta de infra-estrutura e de planejamento urbano nas cidades como principais responsáveis pelas inundações. Outros problemas apontado são, o aumento no número de eventos pluviométricos intensos ocorridos nas últimas décadas e a intensa ocupação das áreas de risco (GONÇALVES, 1992, 2003; BRANDÃO, 2001; ZANELLA, 2006).

Monteiro (1986) realizou um estudo envolvendo a cidade de São Paulo, e mostrou que não são suficientemente claros os sinais de aumento da precipitação, especialmente, em termos dos valores (médios) anuais. Por outro lado, embora tenha apontado um aumento em termos de aguaceiros episódicos, concluiu-se que existe outra possível conexão, a saber, com aspectos mais gerais ligados a circulação atmosférica regional (XAVIER et al, 1994).

Devido ao acelerado processo de crescimento da população nas grandes cidades, principalmente a ocupação desordenada, a falta de infra-estrutura e planejamento urbano com maior exposição da população às vulnerabilidades, é de suma importância o estudo das diferentes classes de precipitação, principalmente se há tendência de aumento dessas classes, com maior ênfase nas mais intensas, e se há influência da urbanização nas precipitações mais elevadas, para que soluções futuras possam ser executadas para conter e/ou amenizar os desastres.

Com base no exposto, os objetivos deste trabalho são: (I) estimar a probabilidade de ocorrência das precipitações máximas diárias anuais (PMDA) nos seguintes tempos de retorno, $T = (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 \text{ anos})$, através da distribuição de Gumbel; (II) utilizar a técnica estatística de análise de agrupamento (*cluster analysis*), para detectar a similaridade entre as estações selecionadas na RMSP, de acordo com a frequência de classes de precipitação, desde chuvisco ($0,0 < CHS < 5,0 \text{ mm/dia}$) à precipitação extrema ($PE > 100,0 \text{ mm/dia}$) para o período anual e sazonal; (III) verificar possíveis tendências pelo teste de Mann-Kendall, nas diferentes classes de precipitação adotadas: chuvisco ($0,0 < CHS < 5,0 \text{ mm/dia}$), moderada ($10,0 < Mo < 30,0 \text{ mm/dia}$) e as precipitações acima de $30,0 \text{ mm/dia}$, para o período anual e sazonal.

Inicialmente, no Capítulo 2 tem-se uma revisão da literatura, acerca de estudos que enfatizaram o período chuvoso da Região sudeste, a influência da urbanização e tendências das precipitações na RMSP, a distribuição de Gumbel e os extremos de precipitação. No Capítulo 3 é apresentada a caracterização da região estudada, a metodologia utilizada, como também se encontra uma discussão dos principais conceitos envolvidos nesta pesquisa. No Capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados primeiramente para verificar se as PMDA se ajustam a distribuição de Gumbel, posteriormente apresentam-se os resultados das análises de agrupamento e por fim verificou-se se as diversas classes de precipitação, estudadas, possuem tendência de aumento ou redução segundo o Teste de Mann-Kendall. Finalmente, no Capítulo 5 têm-se as conclusões e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Período Chuvoso da Região Sudeste

Segundo Minuzzi et al (2007) a região Sudeste do Brasil possui uma característica climática diversificada, devido a sua topografia, sua posição geográfica e, principalmente, os aspectos dinâmicos da atmosfera, que incluem os sistemas meteorológicos de micro, meso e grande escalas, que atuam direta ou indiretamente no regime pluvial, como a Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS) e as Frentes Frias, principais responsáveis pela precipitação pluvial, o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e o Vórtice Ciclônico de Ar Superior que, dependendo das suas posições, ocasionam grandes períodos de estiagens.

De acordo com Alves et al (2002) e Paiva (1997), o período chuvoso na região Sudeste do Brasil concentra-se entre os meses de outubro e março, quando ocorrem mais de 80% do total anual das chuvas. Alves et al (2005) mostram que, em média, o início da estação chuvosa na região Sudeste do Brasil acontece, entre 8 e 12 de outubro, sendo que no mês de dezembro ocorre uma maior contribuição no regime pluviométrico ocasionado pela presença da ZCAS.

Vários trabalhos têm sido focados na Região Sudeste do país, mais especificamente sobre o Estado de São Paulo e relacionados com a variabilidade da ZCAS. Exemplos destes trabalhos são: Liebmann et al (2001), que estudaram a variabilidade interanual de Eventos Extremos de Precipitação (EEP) diária, utilizando dados de estações meteorológicas do Estado de São Paulo num período de 40 anos. Eles observaram que os EEP ocorreram principalmente de Outubro a Março, havendo uma correlação positiva entre o número de eventos em todo o Estado e anomalias positivas de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico central e leste. Também observaram uma relação de mesmo sinal de Novembro a Fevereiro entre os eventos na parte leste do Estado e a TSM tanto no Pacífico leste quanto no Atlântico sul. O que chamou atenção foi o fato de que não foi possível encontrar nenhuma relação entre as TSM e os totais de precipitação acumulada, ou seja, só existe relação entre os eventos em particular e não na soma total das precipitações.

Carvalho et al (2002) fizeram um estudo da relação dos EEP na Região Sudeste com a ZCAS. Eles encontraram que aproximadamente 65% dos EEP ocorreram quando a atividade da ZCAS foi intensa e mais duradoura. Os 35% restantes do total ocorreram quando a ZCAS esteve fraca. Desses 35%, 13% dos eventos foram associados com a circulação anticiclônica

próxima à costa de São Paulo e 22% foi devido ao deslocamento de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). Anomalias de vento em baixos níveis sobre o Atlântico oeste, Brasil central e São Paulo, anomalias de vento em altos níveis sobre o oceano Atlântico subtropical, enfraquecimento da alta da Bolívia e aumento da atividade convectiva da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) foram às características dinâmicas importantes encontradas, que estiveram relacionadas à atividade convectiva na ZCAS e condições atmosféricas para ocorrência dos EEP no Estado de São Paulo (WEYKAMP, 2006).

Muza (2005) estudou a variabilidade intrasazonal e interanual dos EEP e seca no Sul e no Sudeste do Brasil durante o verão austral. Na escala de tempo intrasazonal ele encontrou uma gangorra bem caracterizada de eventos extremos de chuva/seca entre o Sul e o Sudeste do Brasil. Sendo que no Sudeste, os EEP foram associados à Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS), que esteve deslocada para leste (aproximadamente 30°) de sua posição climatológica. Na escala de tempo interanual, o padrão de gangorra não ficou bem estabelecido e foi encontrado que os eventos extremos de chuva/seca foram modulados pelo fenômeno El Niño/Oscilação Sul (ENOS) (WEYKAMP, 2006).

Pesquisas sugerem que chuvas intensas e ventos fortes no Brasil estão geralmente associados com sistemas convectivos de mesoescala. Sendo assim, muitos pesquisadores relatam que sobre o Brasil existem poucos estudos que identificam os sistemas meteorológicos responsáveis por precipitações intensas. Muitos deles associam esses episódios de precipitações fortes a sistemas como ZCAS, isso na Região Sudeste, aglomerados convectivos (sistemas convectivos de mesoescala) na Região Sul e linhas de instabilidades nas Regiões Norte e Nordeste, (ESPÍRITO SANTO e SATYAMURTY, 2002). Além do mais, relataram que para verificar os extremos de chuva na região Sudeste, é interessante citar os resultados da análise dos dados observados dos últimos 80 anos no Estado do Rio de Janeiro. Onde, Austin (2001), mostrou algumas medições de chuvas recordes de 327,2 mm em 24 horas em Alto da Boa Vista, em 12 de março de 1998, e 337,7 mm em 24 horas na Ilha Guaíba, em 14 de maio de 1983. Chuva mensal acumulada de 850,2 mm foi registrada em Angra dos Reis em janeiro de 1967.

Espírito Santo e Satyamurty (2002) utilizando o Banco de Dados Meteorológicos (BDM) do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) e as observações sinóticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para a região do Brasil compreendida entre 15°S e 25°S, examinaram as precipitações extremas acumuladas em 24 horas, num período de cinco 5 anos a partir de janeiro de 1997, o qual não representa uma climatologia. A idéia principal dos autores era identificar casos extremos de precipitação

ocorridos nos anos recentes para poder estudar, posteriormente, a estrutura sinótica e dinâmica da atmosfera associada. Então, para identificar os casos de precipitação extrema, eles adotaram, para 24 horas, os limiares de 100 e 150 mm. Foram coletadas informações de 95 estações meteorológicas na região Sudeste do Brasil e redondezas. Sendo que dessas 95, apenas 47 estações foram utilizadas para comparar as estatísticas ano a ano, as quais mostraram observações em mais de 66% de dias durante cada um dos cinco anos. Das 47 que foram selecionadas, em média houve 8,4 ocorrências de chuva maior que 100 mm em 24 horas (Tabela 1). Com isso mostraram que um evento desta magnitude pode acontecer, mas com baixa possibilidade, se tornando um evento muito raro, se comparado com outros limiares. Os autores ainda ressaltam que das 47 estações, apenas 21 delas registraram pelo menos um episódio de precipitação extrema nos cinco anos.

Tabela 1: Distribuição interanual de eventos em diferentes limiares de chuva em 24 horas (mm).

Prp (mm/dia)	1997	1998	1999	2000	2001	TOTAL
≥ 1	3471	3645	3574	4185	3898	18773
50-5	108	110	115	160	84	577
75-100	20	26	31	34	31	142
≥ 100	9	9	11	11	2	42

Fonte: Adaptado de Espírito Santo e Satyamurty (2002).

Com relação ao limiar de 150 mm, encontraram dois episódios de chuva igual ou superior em 24 horas, um em Curitiba no dia 15 de março de 2000 e outro em Londrina em 05 de junho de 1997. Mostraram a distribuição mensal dos eventos extremos maiores que 100 mm em 24 horas e verificaram que o maior número de episódios ocorreram nos meses de verão e primavera.

Alves Filho e Ribeiro (2006b) relataram uma influência das brisas na precipitação sobre a RMSP e verificaram que a umidade proveniente da circulação da brisa marítima é capaz de influenciar o padrão e a intensidade das chuvas na RMSP. Essa influência pôde ser observada em diversos eventos, tanto pela análise da sequência de imagens do radar como pelos registros de dados do Metar (Meteorological Aerodrome Reports) de Congonhas. Os autores comentam que em virtude da pequena distância, do centro da cidade São Paulo ao litoral, cerca de 45 quilômetros em linha reta do litoral, é comum, durante algumas horas no período da tarde, que o vento sopra do mar em direção à terra e atinja a área urbana da Grande São Paulo. Segundo os autores isso ocorre pela diferença de pressão entre as duas regiões, pois, a superfície da terra, nesse horário, comumente apresenta temperaturas superiores às

marítimas. Ainda segundo eles, as brisas podem atenuar a formação das chuvas convectivas, isso pode ocorrer quando sua penetração atuar antes do máximo de aquecimento diurno, diminuindo a incidência solar e reduzindo possibilidade das chuvas convectivas. Já para chuvas formadas a partir de nuvens estratiformes (chuvas leves), não ficou tão evidente o papel de influência da brisa marítima nem tampouco a influência do aquecimento urbano na sua formação.

Nos grandes centros urbanos existem padrões de circulação atmosférica específicos que são responsáveis por alterar as características das precipitações. O caso da RMSP, as perturbações atmosféricas geradas pelas variadas e profundas transformações geo-ecológicas que a metrópole é submetida e a forma como o processo de expansão urbana vem sendo adotado, somando a influência das brisas na formação das chuvas convectivas, podem gerar graves problemas sociais e ambientais à população da metrópole.

O período de verão é característico de formação de chuvas convectivas nas grandes cidades das regiões tropicais, devido à atmosfera sofrer grandes aquecimentos, que juntamente com a ação antrópica, produzindo mais calor, e a alta umidade sobre as regiões, são condições favoráveis à formação de chuvas convectivas nesse período, confirmado no estudo de Alves Filho e Ribeiro, 2006b onde, verificaram que existe, nos episódios de intensa precipitação e de enchentes, a forte interação existente entre a ilha de calor urbana, provocada por fatores antropogênicos, e a brisa oceânica.

2.2 Influência da Urbanização nas Precipitações

A rápida expansão horizontal da Região Metropolitana de São Paulo até a década de 60 resultou num aumento da temperatura do ar, sem necessariamente um aumento concomitante da quantidade de vapor de água próximo à superfície ou, como se sugere, houve uma diminuição da quantidade de vapor de água em virtude da redução das áreas vegetadas. Desta forma, o aumento da temperatura do ar e manutenção ou diminuição da quantidade de vapor de água tem resultado num contínuo decréscimo da umidade relativa do ar mais significativamente a partir da década de 60 (PEREIRA FILHO et al, 2004 op. cit). Os autores relatam que os grandes centros urbanos localizados nas regiões tropicais do planeta, podem sofrer um aumento nas temperaturas mínimas decorrente do aumento do gradiente térmico na camada limite planetária entre o centro e as periferias, sendo mais influenciado pelo processo

de urbanização do que pelas mudanças globais causadas pelos gases do efeito estufa. No caso da RMSP produziria um cenário onde haveria uma diminuição na concentração dos sistemas convectivos em sua periferia, devido a essa mudança no gradiente térmico, conseqüentemente menos precipitação nas áreas periféricas da metrópole (PEREIRA FILHO et al, 2007).

Existem na literatura alguns autores relatando que, pelas características do processo de urbanização de grandes centros urbanos, o efeito urbano direto provocado pelas ações antrópicas podem influenciar nos sistemas produtores de chuvas, principalmente as mais intensas e as mais leves. A cidade de São Paulo por ser um grande centro urbano e possuir um vasto processo de urbanização, é possível que o efeito urbano tenha contribuído significativamente para a mudança na distribuição da intensidade da precipitação (XAVIER et al, 1992).

Pereira Filho et al (2004) e Xavier et al (1994) mostraram que as chuvas de verão são mais intensas na RMSP devido aos efeitos de ilha de calor e circulação de brisa marítima. Verificaram também que a precipitação média diária mensal aumentou significativamente, principalmente no período chuvoso.

2.3 Tendências da Pluviometria na Região Metropolitana de São Paulo

Xavier et al (1992) utilizaram uma metodologia estatística baseada: (1) análise de coerência dos dados através do cálculo de correlações; (2) emprego da técnica de componentes principais, com a finalidade de revelar possíveis similaridades ou dissimilaridades entre os comportamentos dos postos pluviométricos; (3) a análise de tendências; e finalmente, (4) uma análise comparativa de médias pluviométricas calculadas com respeito a décadas consecutivas e a grupos de postos. O resultado preliminar para o IAG mostrou fraca tendência positiva, embora estatisticamente significativa para os trimestres (janeiro, fevereiro, março.) e (abril, maio, junho) e os meses de março e maio. Para a Estação da Luz não foi detectada qualquer tendência significativa para as séries mensais e trimestrais, no período de 1936 a 1991. Após análise dos componentes principais, foram selecionados os grupos de postos pluviométricos para décadas consecutivas considerando-se as médias pluviométricas acumuladas em cada um dos trimestres do ano. O resultado mostrou que os dois postos na região central apresentaram tendência para um déficit pluviométrico para os trimestres do outono, inverno e primavera. Já no verão prevaleceu um excesso pluviométrico,

quando comparado com as demais estações do ano. Por fim, diante de toda essa análise realizada, os autores afirmam que ainda não foi possível encontrar qual fenômeno possui maior peso, na influência dos mecanismos de produção da precipitação na Grande São Paulo, se a urbanização, industrialização, fenômenos de mesoescala ou a conjugação simultânea de todos esses fatores. Diante da análise de coerência dos dados tanto dos postos da Grande São Paulo quanto os do litoral, a maior coerência foi observada durante o outono e inverno e a menor coerência na estação do verão.

Haylock et al (2006) investigou tendências de extremos de chuva no Sudeste da América do Sul no período de 1960-2000. Eles acharam tendências positivas nos índices de precipitação sugerindo que a região de Sudeste da América do Sul experimentou um aumento na intensidade e frequência de dias com chuva intensa. Estas tendências sugerem aumento na intensidade e frequência de eventos de chuva no sudeste da América do Sul (OBREGÓN e MARENGO, 2007 op. cit).

Xavier et al (1994) realizaram um estudo para o período de verão e outono, onde foi desenvolvido um programa que permitiu calcular a partir dos dados diários, alguns parâmetros referentes a cada mês e em cada ano, foram eles: (a) o número de dias sem precipitação; (b) o número de dias com precipitação, inferior a (2 mm, 5 mm, 10 mm, etc.) e (c) o número de dias com precipitação maior ou igual a (10 mm, 20mm, 30 mm, etc.). Os dados coletados da estação meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas/Universidade de São Paulo (IAG/USP) mostraram que houve fraca tendência no aumento de precipitação mensal nos meses de fevereiro e maio, e também que os acumulados superiores a 30 mm/dia aumentaram nos meses de fevereiro e maio. Diferente de Xavier et al (1992) que encontraram tendência positiva em março e maio. Os acúmulos inferiores a 2 e 5 mm/dia diminuíram de forma mais significativa em fevereiro, mas ocorreram também em outros meses do ano (XAVIER et al, 1994).

As projeções de extremos segundo o 4º Relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (AR4/IPCC), sugerem para boa parte do Brasil, aumento na frequência de extremos de chuva, principalmente no oeste da Amazônia, sul e sudeste do Brasil, para o período de 2080 - 2099 comparado ao período de 1980 - 1999. Segundo o relatório, a porção norte do sudeste mostra tendência de aumento na frequência de dias secos consecutivos, e um aumento na frequência e na contribuição de dias muito chuvosos no restante do sudeste e na região sul do Brasil.

As projeções de clima para o futuro mostraram um aumento na precipitação intensa, o que também tem sido observado nos últimos 50 anos (*BOLETIM SBMET*, abril 2007). È

importante verificar se essas projeções do AR4 possuem alguma ligação com as variações nas temperaturas superficiais do Oceano Pacífico (TSM), pois, existe um padrão de longo prazo da TSM associado à variabilidade do Oceano Pacífico, conhecida como Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) descrita por Mantua et al. (1997). Os eventos da ODP persistem por 20 a 30 anos, enquanto os El Niños por 6 a 18 meses. A ODP apresenta duas fases. De maneira geral a fase fria é caracterizada por anomalias negativas de TSM no Pacífico Tropical e, simultaneamente, anomalias de TSM positivas no Pacífico Extratropical em ambos os hemisférios. A última fase fria ocorreu no período 1947 - 1976. Já a fase quente apresenta configuração contrária, com anomalias de TSM positivas no Pacífico Tropical e negativas no Pacífico Extratropical, e seu período estendendo de 1977 - 1998. Nas fases negativas da ODP ocorre um maior número de episódios de La Niña que tendem a ser mais intensos. Enquanto nas positivas um maior número de eventos El Niño. Mais informações sobre ODP, suas fases, seu índice, pode ser encontrado em Raimundo, (2009). Então, com base nesse raciocínio, isto é, se mantiver os padrões de maior ocorrência de precipitações acima de 30 mm/dia durante as fases quentes (maior ocorrência de El Niño) da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), nesses 20 anos o número de precipitações acima de 30 mm/dia tenderá ser maior que atualmente.

2.4 Eventos Extremos de Precipitação e sua Distribuição na Região Metropolitana de São Paulo

De acordo com Ambrizzi (2001) a precipitação anual acumulada vem aumentando nos últimos cinquenta anos, no Estado de São Paulo, embora ainda não sejam conclusivos se os motivos, para tal aumento, relacionam-se com mudanças no padrão geral de circulação da atmosfera ou se há interferência da ação antrópica.

Alves Filho e Ribeiro (2006a) fizeram uma análise decadal da distribuição em postos pluviométricos da cidade de São Paulo e constataram uma tendência ao aumento da pluviosidade. Destacando-se a década de 80, quando houve o episódio El Niño/Oscilação Sul (ENOS), o tão conhecido El Niño de 1983, considerado por muitos autores como o maior evento de anomalias de temperatura da superfície do mar do século XX. Segundo os autores, a média da década de 80 ultrapassou os 1600 mm, enquanto na década de 30 era pouco mais de 1200 mm, constatando-se o aumento.

Segundo os autores o aumento no volume total de chuvas, poderia ter sido gerado por alguns eventos ou até mesmo um evento extremo de precipitação. Essas seriam as situações de grandes centros urbanos, por se depararem com algumas alterações climáticas provocadas pelo processo de urbanização.

Monteiro (1984) verificou que eventos de chuvas intensas são capazes de paralisar a vida da metrópole, induzindo-a a um caos urbano. Inclui-se neste critério: bairros alagados com pessoas ilhadas, tráfegos ferroviário e rodoviário interrompidos, vias bloqueadas, grandes congestionamentos, desabamentos, populações desabrigadas, interrupção no fornecimento de serviços públicos, prejuízos nas indústrias, no comércio e nos serviços

Segundo Alves Filho e Ribeiro (2006a) no ano de 1926, foram realizadas obras para reverter o fluxo das águas do Rio Pinheiros para outros reservatórios, numa forma de tentar minimizar os impactos, gerados pelos eventos extremos de precipitação. Inaugurava-se naquele ano o Sistema Billings (um dos mais importantes reservatórios de água da RMSP), com o objetivo de amenizar as constantes inundações. Seabra (1987), estudou as enchentes de 1929, e verificou que no mês de fevereiro daquele ano, ocorreram chuvas intensas sobre São Paulo. E para analisar a magnitude desses eventos ao longo do tempo, foram utilizados os dados de precipitação da Estação da Luz, por não existirem dados pluviográficos. Porém, estes dados serviram apenas como referência, pois devido à variabilidade das precipitações no regime de verão, as chuvas sobre a Guarapiranga podem ter sido muito mais intensas e terem causado grandes transtornos a população. Diante disso, observa-se que as obras realizadas foram um paliativo e não uma solução para as enchentes.

No final da década de 20, a cidade de São Paulo sofreu uma inundação inusitada pela abertura das comportas das represas do sistema (Billings e Guarapiranga), houve uma elevação do nível dos rios, inundando grande parte da cidade. Nos anos de 1961 e 1971, foram realizadas obras para facilitar a regularização da vazão do sistema. No início do ano 1976, houve registros de altos acúmulos de precipitações, que coincidiu com o evento de El Niño decorrente daquele ano. No período entre 1982 e 1983, ocorreu o mais forte fenômeno de El Niño de todo século vinte, com a conversão para a costa leste do continente Sul Americano, sobretudo para o Sul do Brasil, de uma forte advecção de umidade (DESSAY et al, 2004). Esse evento contribuiu significativamente para uma maior irregularidade na distribuição das chuvas nesse período. Segundo Dessay et al (2004) em 1983 as condições de circulação atmosférica, da faixa leste da América do Sul, favoreceram a formação de sistemas semi-estacionários. Uma sucessão desses sistemas atingiu o sudeste do país, criando condições para a produção de chuvas intensas, inclusive no mês de junho.

O ano de 1983, dentre um período de dados pluviométricos de 1890 – 2000, foi o que registrou o maior índice pluviométrico da história no período, confirmado pelo período entre 1936 e 2000 na Estação Meteorológica do IAG/USP, um valor por volta de 2200 mm (ALVES FILHO e RIBEIRO, 2006a). Os autores constataram que em junho de 1987, se repetiu um padrão semelhante, ao observado em junho de 1983. Um sistema semiestacionário atuou por diversos dias sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), sendo detectadas anomalias na circulação atmosférica e nas temperaturas da superfície do mar pelo centro de análises climáticas dos EUA (*Climate Analysis Center - National Weather Services*) (Climanálise, 1987)

No final da década de 80 e início da década de 90, houveram grandes enchentes em São Paulo, levando a população a um verdadeiro caos. Mal a população se recuperava de uma inundação, outra ocorria na sequência e a sensação de caos era reforçada pelo repetido assédio da imprensa e pelas manchetes dos principais jornais (ALVES FILHO e RIBEIRO, 2006a). Sendo os meses de fevereiro e março de 1991, os que acumularam os maiores totais. Em específico, o mês de março foi aquele de maior total de chuvas já documentado nos registros da cidade desde 1890. Os autores verificaram essa informação utilizando dados do IAG, a partir de 1936 e puderam verificar que não houve mês que se aproximasse dos valores encontrados em março de 1991 com mais de 450 mm.

Segundo estudos, a circulação atmosférica no ano de 1991 foi influenciada por um El Niño de longa duração (1990 a 1995) porém irregular. Muitas vezes o El Niño, favorece a ocorrência de instabilidade atmosférica localizada, com a formação de nuvens convectivas tipo cumulus-nimbus, responsáveis por grande parte dos episódios de inundações (FUENTES, 1996).

Obras como os *piscinões* foram construídas com a finalidade de retardar o escoamento das águas nos episódios de chuvas intensas. No ano de 1995 houveram grandes episódios de inundação, em especial, o mês de fevereiro de 1991. A estação meteorológica do IAG-USP registrou o maior acumulado de precipitação da história. Todo esse volume de chuva estaria associado a sistemas de bloqueio atmosféricos, que proporcionariam a formação de sistemas estacionários sobre São Paulo. Alguns desses episódios de chuvas intensas foram provocados pelo deslocamento de VCAN – Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis para a região (ALVES FILHO e RIBEIRO, 2006a).

Segundo a literatura, muitos autores questionam que estaríamos entrando num ciclo frio da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), cuja última fase quente ocorreu entre 1977 e 1998. Além do mais há evidências comprovadas que durante as fases quentes ocorrem mais

eventos de El Niño, que nas fases frias. Logo com a diminuição dos El Niños, sugere-se diminuição espacial das chuvas. Então aceitando a hipótese que a ODP seja importante controlador do clima global, a tendência, para essa região, seria a redução dos totais pluviométricos e uma melhor distribuição espacial das chuvas dentro do ciclo anual (Molion, 2005).

Alves Filho e Ribeiro (2006a) ao analisar dados de precipitações decendiais acima de 40 mm/dia e 80 mm/dia da estação Meteorológica do Aeroporto de Congonhas, perceberam uma queda nos dias de chuvas com esses limiares, podendo ser indicativo de mudanças climáticas. Outra observação importante citada pelos autores é que o maior número de episódios acima de 40 mm/dia ocorreu em anos de El Nino (1983 - 1991). E os de chuva acima de 80 mm/dia, ocorreram em sete anos do decênio 1982 - 1991 e em apenas três anos do decênio seguinte (1992 - 2001). Mesmo depois de todo esse trabalho de obras de engenharia, piscinões, desvio de curso de rio, etc, usados para tentar conter toda a água gerada por eventos extremos de precipitação, pensava-se ter solucionado os problemas. Mas no ano de 2005 o problema reapareceu, registrou-se uma chuva de 140 mm em 24h.

Na incumbência de analisar a probabilidade de ocorrência de eventos extremos de precipitação de até 30 mm/h, Soares e Silva Dias (1986) após analisar dados de precipitação e duração horária durante o período de 1951 a 1980, usaram a probabilidade condicional e incondicional baseadas nas séries climatológicas da estação de superfície do IAG/USP - SP. E afirmaram a importância da previsão de ocorrência de eventos meteorológicos extremos, com a seguinte ressalva, que se deve reconhecer que mais importante ainda é a determinação da persistência de tais ocorrências no tempo. Então, calcularam as probabilidades incondicionais mensais da precipitação exceder 5, 10, 20 e 30 mm/h, e chegaram a constatar que as maiores probabilidades concentraram-se na época mais quente do ano (outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março) em torno do solstício de verão, sendo fevereiro, o mês de maior probabilidade de ocorrência de todos os casos analisados.

As menores probabilidades ocorreram na época mais fria do ano, de maio a setembro, e a mínima probabilidade, entre os meses de julho e agosto. No entanto, Soares e Silva Dias (1986) na tentativa de explicar as elevadas taxas de precipitação em São Paulo, levaram em conta algumas hipóteses de alguns mecanismos físicos, que poderiam elevar essas taxas, são eles:

- 1) Brisa Marítima - Oliveira e Silva Dias (1982) observaram que existe uma relação entre a penetração da brisa marítima e a ocorrência de precipitações elevadas. Esses máximos de precipitação, que ocorrem no período da tarde, nos meses de verão, devem, portanto, estar

associados à penetração da brisa marítima. Poderia ser argumentado que a precipitação a tarde tem origem simplesmente na atividade convectiva, característica do período da tarde. A persistência dessas características aponta para o ar marítimo que ultrapassa a Serra do Mar, como principal responsável por essa modificação.

2) Processos Radiativos - Os máximos relativos de precipitação de madrugada, talvez possam ser resultantes da diferença de radiação existente entre regiões cobertas por nuvens e regiões vizinhas sem nebulosidade. Segundo Gray e Jacobson (1977), a atmosfera vizinha às regiões cobertas por nuvens ajusta sua grande perda radiativa noturna através de subsidência extra. Esta subsidência incrementa a convergência em baixos níveis, em direção às regiões cobertas por nuvens.

Durante o dia, o calor solar reduz a perda de radiação troposférica. Nessa ocasião, nas regiões claras, o aquecimento por subsidência e a convergência em baixos níveis são, substancialmente reduzidos. Nos níveis superiores, as regiões cobertas por cirrus bloqueiam o esfriamento mais intensamente do que nas regiões vizinhas sem nuvens. Isto ocorre mais à noite que de dia. Estes fenômenos, somados às condições existentes em baixos níveis, alteram a região coberta por nuvens e suas vizinhanças, o que resulta em maior convergência de vapor pela manhã e menor convergência à tarde. Cumulus convectivos respondem à essas alterações diurnas gerando maior convecção pela manhã e inibindo a convecção à tarde (SOARES e SILVA DIAS, 1986).

3) Sistema de Circulação Local de Vento - Pode existir um elo entre o sistema de circulação local de vento determinado pela topografia e a atividade da chuva observada.

O ano de 2011 está iniciando com características bem distintas, pois segundo os noticiários, o mês de janeiro já é o mais chuvoso da história de São Paulo desde que a medição pluviométrica foi iniciada, em 1943, informação obtida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (<http://www.dn.pt/inicio/globo/interior...>). Entre os dias 01 e 25 de janeiro de 2011, acumulou 491,5 mm, superando o recorde anterior de 481,4 mm registrado em 1947. Segundo dados do INMET, as chuvas que atingiram Guarulhos no dia 11 de janeiro do corrente ano, acumularam 101 mm em 24 horas, já em Mirante de Santana, no dia 24 de janeiro do corrente ano, o acumulado foi de 88 mm/dia, são eventos de chuva que realmente desencadeiam grandes transtornos a população da metrópole em geral (<http://www.inmet.gov.br/>).

2.5 Distribuição Gumbel e Tempo de Retorno

Sansigolo (2008) analisou as diferentes séries de extremos de precipitação diária, temperaturas máximas e mínimas, e velocidade do vento, para verificar se existe uma possível tendência de acréscimo, numa longa série (1917 a 2004) da Estação Agrometeorológica da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP) de Piracicaba, SP. Para evidenciar a existência de eventuais tendências na série, foram utilizados os testes de Mann-Kendall (SNEYERS, 1975). Também foram aplicados à série os Testes de Fisher estendidos, para verificar a existência de periodicidade significativa (SHIMSHONI, 1971). Testes de Mann-Kendall aplicados as quatro séries temporais não detectaram tendências significativas ao nível de 95%. Sansigolo (2008) relata que, como Hershfield e Kohler (1960) que analisaram milhares de estações pluviométricas nos Estados Unidos, a distribuição de Gumbel é a mais adequada para estimar as probabilidades de ocorrência de eventos extremos de precipitação de diversas durações. Outra fato que levaram em conta foi que nem sempre a distribuição que melhor se ajusta, leva às melhores extrapolações.

Mudanças climáticas globais ou regionais, que poderiam estar associadas, por exemplo, ao aquecimento urbano, não afetaram significativamente os registros. Logo, conclui-se que as tendências significativas, que poderiam estar associadas com mudanças climáticas, não foram constatadas em nenhuma das quatro séries de extremos analisadas (SANSIGOLO, 2008).

Outros autores como: Back (1996), Beltame et al (1991), Eltz et al (1992) Leopoldo et al (1984), Nobukuni (2000), Vieira et al (1994), Pinto (1999), entre outros, tendo em vista a grande importância do conhecimento das precipitações diárias máximas, também utilizaram a distribuição de Gumbel para estimar a probabilidade das precipitações máximas prováveis ou o período de recorrência. Com base nessa informação BEIJO et al (2005) realizaram um trabalho com o objetivo de analisar o ajustamento da distribuição de valores extremos aos dados agrupados em períodos de quinze dias, um mês e um ano. Com o objetivo de estimar a precipitação pluvial diária máxima provável com seus respectivos intervalos de confiança, para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50 e 75 anos, na região de Lavras – MG e concluíram que, os dados de precipitação máxima diária, agrupados nos períodos mensal e anual ajustaram-se à distribuição de valores extremos de Gumbel, exceto os meses de julho e agosto. Já para os períodos de quinze dias, houve ajuste somente para a estação chuvosa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A área de estudo está concentrada na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) onde estão dispostas as 21 estações pluviométricas (Figura 1). É importante salientar que não foi possível a obtenção de dados diários mais ao sul, sudoeste e sudeste da RMSP devido a presença de muitas falhas nas séries das estações, por isso, só foi possível coletar dados nas regiões mais ao norte, nordeste, noroeste, leste, oeste e central da metrópole. A Região Metropolitana de São Paulo, também conhecida como Grande São Paulo, reúne 39 municípios do Estado em intenso processo de conurbação. Possui uma área de 7.944 km² (WIKIPÉDIA, 2010). A primeira definição legal, de RMSP é datada de 1967, mediante Decretos Estaduais, onde foi oficialmente estabelecida a divisão do Estado em regiões Administrativas (www.observatoriodasmetropoles.ufrj.br). O termo refere-se à extensão da capital paulista, formando com seus municípios limítrofes uma mancha urbana contínua. Com 19.672.582 habitantes, é o maior centro urbano do Brasil e da América Latina, e a sexta maior área urbana do mundo (IBGE/2010). A região exibe um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 416,5 bilhões, o que representa 57,3% do PIB paulista. A configuração espacial da RMSP teve como um dos principais fatores determinantes a infraestrutura de transportes, provocando a transferência e/ou a instalação de novas fábricas nas suas imediações. Com a implantação das indústrias em São Caetano, São Bernardo do Campo, Santo André e Diadema (também conhecida com região do ABCD) e o elevado crescimento populacional de seus municípios alterou a dinâmica urbana da região. A RMSP mantém elevada participação na produção industrial do Estado e a sua indústria concentra os setores de produção de bens com alto valor agregado e conteúdo tecnológico. Na RMSP localiza-se, também, o maior complexo científico-tecnológico do país, com a presença de inúmeros institutos e centros de pesquisa e de várias universidades e faculdades, destacando-se a Universidade de São Paulo (USP) (FOCO, 2007).

A RMSP apresenta, em geral, relevo suave, onde correm as águas do Rio Tietê e de seus afluentes. Parte do território metropolitano possui um relevo mais irregular: ao norte e a noroeste, encontram-se as serras do Itaqui, da Cantareira, do Bananal e da Pedra Branca, pertencentes à região serrana de São Roque; a leste, a Serra do Itapeti; ao sul e a sudoeste, a Morreria do Embu (Serras do Mar, de Taquaxiara e de Paranapiacaba, entre outras). Na região

do Médio Vale do Paraíba, a nordeste, as matas restringem-se a algumas manchas encontradas na Serra do Itapeti e as colinas sedimentares são propícias ao desenvolvimento de atividades agropecuárias e minerais. No Planalto de Ibiúna, a oeste da região, possui área favorável ao desenvolvimento de atividades agrícolas. O município de São Paulo, a despeito de seus problemas sociais, ambientais e urbanos, continua sendo o principal centro da economia brasileira (FOCO, 2007).

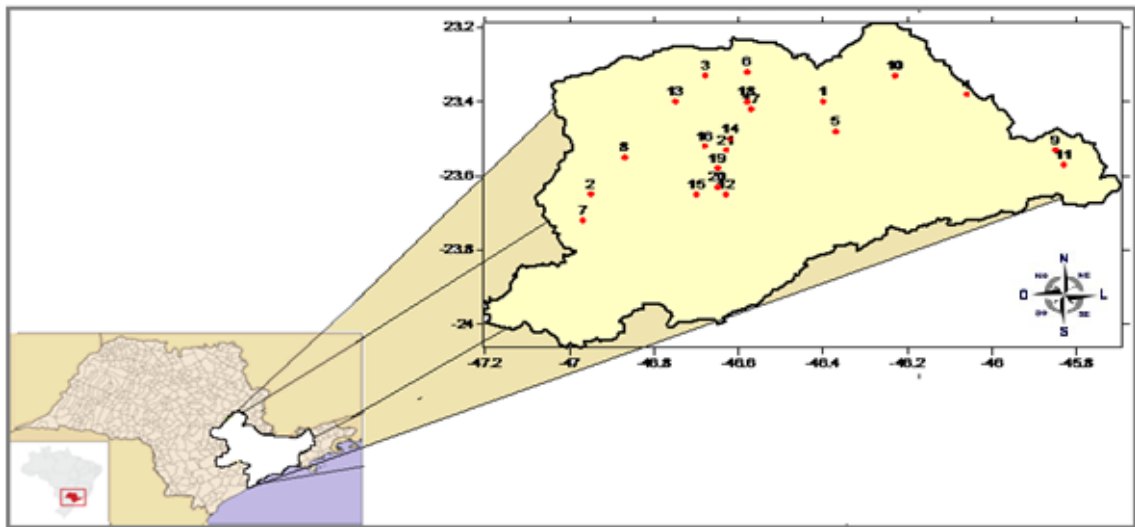


Figura 1: Região Metropolitana de São Paulo, destacando as 21 estações pluviométricas distribuídas na RMSP. Fonte: Autor, 2011.

Partindo da localização das estações meteorológicas usadas neste estudo, a RMSP possui um relevo variando de 580 m (município de Guararema) a 920 m (município de Cotia) como mostrado na Figura 2.

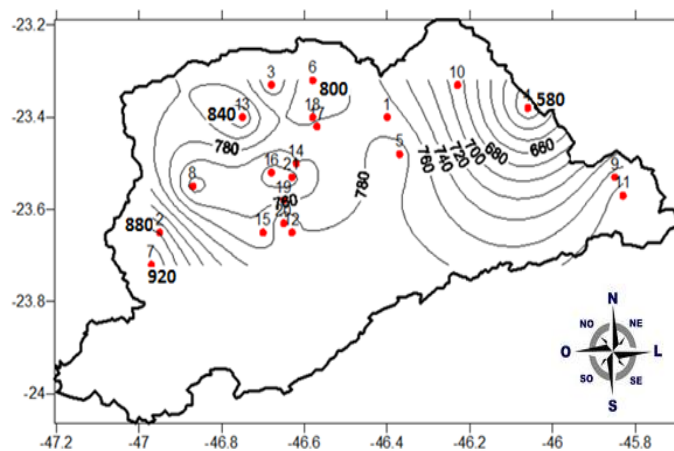


Figura 2: Altitude da RMSP com base nas 21 estações pluviométricas distribuídas na região. Fonte: Autor, 2011

As áreas mais a oeste, sudoeste e norte são as que se concentram maiores altitudes. A região central possui um relevo variando de 760 a 800 m, é uma região elevada se comparada à algumas localidades mais a leste (Salesópolis com 770 m) e nordeste da metrópole (Santa Isabel e Guararema, com 690 e 580 m respectivamente).

3.2 Dados Utilizados

Foram utilizados séries de dados diários de precipitação de 21 estações pluviométricas, distribuídas na RMSP, como dispostas na Tabela 2.

Tabela 2: Localização espacial e geográfica, período e falhas das estações pluviométricas da RMSP.

Nº	Nome da estação/Município	Lat:	Lon:	Altitude (m)	Período (anos)	Período (falhas)
1	Bom Sucesso – Guarulhos	-23:25:0	-46:24:0	770	1940 - 2004	-
2	Cachoeira da Graça – Cotia	-23:39:0	-46:57:0	880	1935 - 2004	-
3	Franco da Rocha (Hosp. Juqueri) - Franco da Rocha	-23:20:0	-46:41:0	740	1937 - 2004	-
4	Freguesia da Escada – Guararema	-23:23:0	-46:4:0	580	1943 - 2004	-
5	Monte Belo - Itaquaquecetuba	-23:29:0	-46:22:0	790	1943 - 2004	-
6	Mairiporã	-23:19:0	-46:35:0	800	1937 - 1998	1997/1998
7	Pedro Beicht – Cotia	-23:43:0	-46:58:0	920	1936 - 2004	-
8	Baixo Cotia – Barueri	-23:33:0	-46:52:0	730	1937 - 2004	1949/1950 1950/1951
9	Salesópolis	-23:32:0	-45:51:0	770	1927 - 2004	-
10	Santa Isabel	-23:34:0	-46:14:0	690	1937 - 2004	1938/1939 1939/1940 1950/1951 1951/1952
11	Usina Salesópolis - Salesópolis	-23:34:0	-45:50:0	790	1928 - 2003	-
12	Observatório do IAG – SP	-23:39:0	-46:38:0	780	1933 - 2004	-
13	Perus – SP	-23:24:0	-46:45:0	840	1938 - 1998	1948/1949 1949/1950 1997/1998
14	Santana – SP	-23:30:0	-46:37:0	760	1936 - 2004	-
15	Santo Amaro – SP	-23:39:0	-46:42:0	764	1936 - 2002	-
16	Água Branca – SP	-23:31:0	-46:41:0	730	1937 - 2004	1981/1982 1997/1998
17	Barrocada – SP	-23:25:0	-46:34:0	760	1941 - 1998	-
18	Engordador - SP	-23:24:0	-46:35:0	800	1941 - 1998	1997/1998
19	Instituto Biológico – SP	-23:35:0	-46:39:0	760	1943 - 2003	1962/1963 1963/1964 1964/1965 1965/1966
20	Congonhas (Aeroporto) – SP	-23:38:0	-46:39:0	800	1946 - 2003	-
21	Estação da Luz – SP	-23:32:0	-46:38:0	730	1888 - 2004	1978/1979

Fonte: Autor, 2011

Esses dados foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA), a partir do site <http://hidroweb.ana.gov.br>. O período e/ou intervalo correspondente a cada estação, nome da

estação, município, localização geográfica, altitude e as respectivas falhas anuais na série, estão listados na Tabela 2.

3.3 Metodologia

Dentre as inúmeras técnicas estatísticas existentes atualmente, para elaboração desta pesquisa, foi utilizada a estatística descritiva e inferencial (média, desvio padrão, medidas de frequência, coeficiente angular da reta, dentre outros), que utiliza diversas técnicas a fim de sumarizar um conjunto de dados extraindo todas informações possíveis e as seguintes:

- Técnicas de visualização - gráficos de dispersão, dendrogramas, mapas com isolinhas;
- Distribuição de probabilidade - ideal para análise de eventos extremos, conhecida como Distribuição de Gumbel, sendo os parâmetros descritivos, (α) e (β) estimados pelo Método dos Momentos e da Máxima Verossimilhança;
- Análise multivariada - trata-se da análise de “cluster” ou de agrupamento.
- Análise de tendências pelo teste de Mann-kendall.

3.3.1 Teoria dos valores extremos

A teoria de valores extremos tem como objectivo o estudo estatístico de fenômenos com risco elevado, com impactos catastróficos, sendo muito utilizado pela Meteorologia e a Climatologia. Valores extremos podem ser considerados como eventos raros que se distanciam da média e/ou mediana, ocorrem nas caudas das distribuições. Não existe uma definição universal para eventos extremos, pois há muita variação de região para região ou de localidade para localidade. Embora, eventos extremos possam ser definidos como aqueles eventos que excedem em magnitude a algum limiar ou patamar, como também, os valores máximos (ou mínimos) de uma variável em determinado período. Em estudos climáticos ambientais requerem-se modelos para estudos de extremos muito pequenos, assim como, de extremos muito elevados. Outros estudos afirmam que extremos são definidos como sendo os valores máximos em blocos (*Block Maxima*), ou seja, podem ser representados blocos

máximos, enquanto outras definem como sendo os dados excedentes de um limiar pré-estabelecido (POT - *Peaks Over Threshold*) (IDALINO *et al*, 2009). Como ilustrado na Figura 3 logo abaixo.

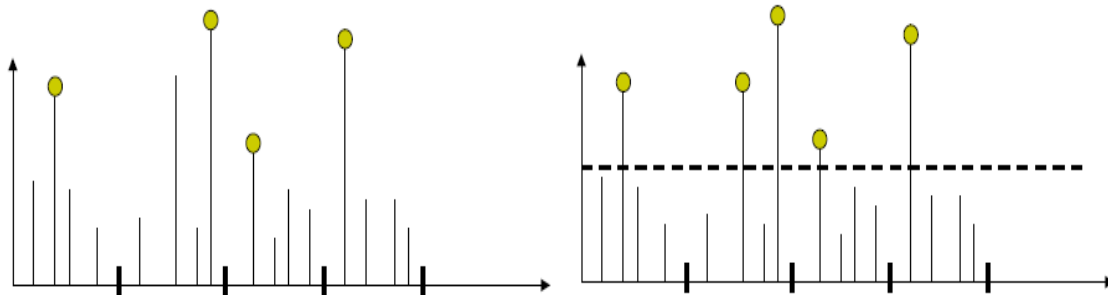


Figura 3: Representatividade das definições de extremo. a) máxima de blocos e b) pontos acima de um limiar. Fonte: Adaptado de IDALINO *et al*, 2009.

Os primeiros trabalhos teóricos sobre extremos foram baseados no máximo (empírico) de um conjunto de observações consideradas como variáveis aleatórias (máximo do bloco/conjunto). Precisamente, dadas n variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (*i.i.d.*'s) X_1, X_2, \dots, X_n , a teoria de valores extremos busca (dentre outras coisas) as leis de probabilidade de $Y_n = \max(X_1, X_2, \dots, X_n)$. O Teorema dos Três Tipos garante a existência de uma distribuição limite $F(X)$ de Y_n quando $n \rightarrow \infty$. As distribuições de valor extremo são geralmente consideradas, compreendidas como pertencentes às três famílias:

1. (Gumbel) $P(Y_n \leq x) = F(x) = \exp[-\exp(-x)], \forall x \in \mathfrak{R};$
2. (Fréchet) $P(Y_n \leq x) = F(x) = \exp[-x^{-\xi}], \forall x > 0;$
3. (Weibull) $P(Y_n \leq x) = F(x) = \exp[-|x|^\xi], \forall x < 0.$

Ao aplicar as três famílias, as representações dos valores extremos aparecem de forma diferente. Então para resolver esse tipo de problema e identificar qual a distribuição mais adequada, para uma determinada amostra de dados e na estimação dos parâmetros dessa distribuição, e uma vez escolhida, a inferência de que essa escolha era a correta. Jenkinson (1955) propôs combinar estas três famílias numa única família, a Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV) que poderia ser identificada através dos seus parâmetros de localização μ , escala σ e forma ξ , que tem como função distribuição acumulada de probabilidade dada por:

$$G(x) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\} \quad (1)$$

para $1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) > 0$. Nesta equação μ é um parâmetro de localização, σ é um parâmetro de escala, e ξ é um parâmetro de forma.

Para qual:

μ - parâmetro de localização (ou de posição), a mesma ideia de média;

σ - parâmetro de escala, a mesma ideia de desvio padrão;

ξ - parâmetro de forma, que define a forma da cauda da distribuição de probabilidades, isto é, se as caudas são mais pesadas ou mais leves.

As três distribuições individuais previamente apresentadas, podem ser desdobradas a partir de uma GEV da seguinte forma:

1. (Gumbel ou GEV-1), quando $\xi \rightarrow 0$;
2. (Fréchet ou GEV-2), quando $\xi > 0$.
3. (Weibull ou GEV-3), quando $\xi < 0$.

3.3.1.1 Distribuição de Gumbel

A distribuição de Gumbel é também conhecida como distribuição de eventos extremos ou de Fisher-Tippett I, sendo calculada pela equação (2). É muito utilizada para estimar a probabilidade de ocorrência e o tempo de retorno dos eventos extremos de precipitação, em séries anuais. Para obtenção da estimativa das probabilidades de ocorrências das PMDA, seguiram-se os seguintes passos:

$$f(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\beta}{\alpha}\right)}} \quad (2)$$

1º Passo: Estimou-se os parâmetros descritivos (α) e (β), quais foram determinados pelo Método dos Momentos, baseados na média (μ) e no desvio padrão (s).

3.3.1.2 Média (μ)

É bastante utilizada em estatística como o objetivo de encontrar os valores médios de uma determinada amostra. A média aritmética simples (μ) é obtida dividindo-se a soma das observações pelo número delas.

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (3)$$

Para qual, (X) é o dado observado e (n) é o número de observações.

3.3.1.3 Desvio padrão (s)

Em probabilidade e estatística, o desvio padrão é a medida mais comum da dispersão dos dados. As medidas de dispersão representam o quanto os dados se distanciam da média (μ) ou a variabilidade dos dados (x_i) em torno da média. Quanto maior for o desvio padrão, mais dispersas estarão as medições individuais em relação à média.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n-1}} \quad (4)$$

$$i = (1, 2, 3, \dots, n)$$

3.3.1.4 Método dos Momentos

É o método cujos parâmetros (α) e (β) são calculados com base nos primeiros momentos amostrais (média e desvio padrão), podendo ser obtidos pelas seguintes equações abaixo, segundo Assis et al (1996):

$$\hat{\beta} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} s \quad \text{ou} \quad \hat{\beta} = 0,7801s \quad (5)$$

Para as quais, (s) é o desvio padrão da amostra e

$$\hat{\alpha} = \mu - 0,5772\hat{\beta} \quad (6)$$

Para qual, (μ) é a média do período.

2º Passo: Depois de calculados os parâmetros (α) e (β) , estimou-se os valores das PMDA para as séries de precipitações através da equação (7), para os tempos de retorno de 2 e 200 anos. Seus resultados sob são dispostos forma de uma reta como exemplificado na Figura 4.

$$\mathbf{u} = (\mathbf{x} - \hat{\beta})/\hat{\alpha} \quad (7)$$

onde (x) é o dado, nesse caso a precipitação diária.

3º Passo: Calculou-se a frequência relativa (fr) , que pode ser definida como o número de vezes que a observação acontece dividido pelo tamanho da amostra, ou seja, é similar ao percentual ou a probabilidade de ocorrência do evento (Figura 4).

$$fr = \frac{i}{(n+1)} \quad (8)$$

Para qual (i) é o número de anos correspondentes a cada série, $i = (1, 2, 3, \dots, k)$ e (n) é total de dados da amostra.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1																			
2		S. Amaro	freq	u		T	u	prec											
3	1	39,2	0,01493	-1,4362		2	-0,367	58											
4	2	41	0,02985	-1,25606		200	5,296	151											
5	3	41	0,04478	-1,13336		500	6,214												
6	4	42,3	0,05970	-1,03617															
7	5	44,1	0,07463	-0,95368															
8	6	47,6	0,08955	-0,88084															
9	7	48,2	0,10448	-0,81483															
10	8	48,5	0,11940	-0,75389															
11	9	48,5	0,13433	-0,69687															
12	10	50,2	0,14925	-0,64296															
13	11	50,2	0,16418	-0,59156															
14	12	50,5	0,17910	-0,5422															
15	13	50,5	0,19403	-0,49454															
16	14	50,9	0,20896	-0,44829															
17	15	51,8	0,22388	-0,40322															
18	16	52,2	0,23881	-0,35914															
19	17	52,5	0,25373	-0,31589															

Figura 4: Planilha de visualização do cálculo da frequência relativa. Coluna A) contagem das PMDA; B) município com respectiva PMDA; C) frequência relativa; D) variável de Gumbel; F) tempo de retorno; G) Variável de gumbel correspondente a cada tempo de retorno; H) precipitação máxima estimada. Fonte: Autor, 2011.

A variável de Gumbel (u) também pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$u = -\ln(-\ln(P(x))) \quad (9)$$

ou,

$$Fr = P(x) = e^{-e^{-u}} \quad (10)$$

- (u) é a variável de Gumbel;
- P(x) é a probabilidade de ocorrência do evento, ou a frequência de distribuição relativa (fr);
- (x) é o dado, nesse caso a precipitação diária.

O resultado da distribuição de Gumbel pode ser visualizado a partir de gráficos, como exemplificado abaixo, onde no eixo das ordenadas tem-se a variável de Gumbel (u) e na abscissa o dado de precipitação (Figura5):

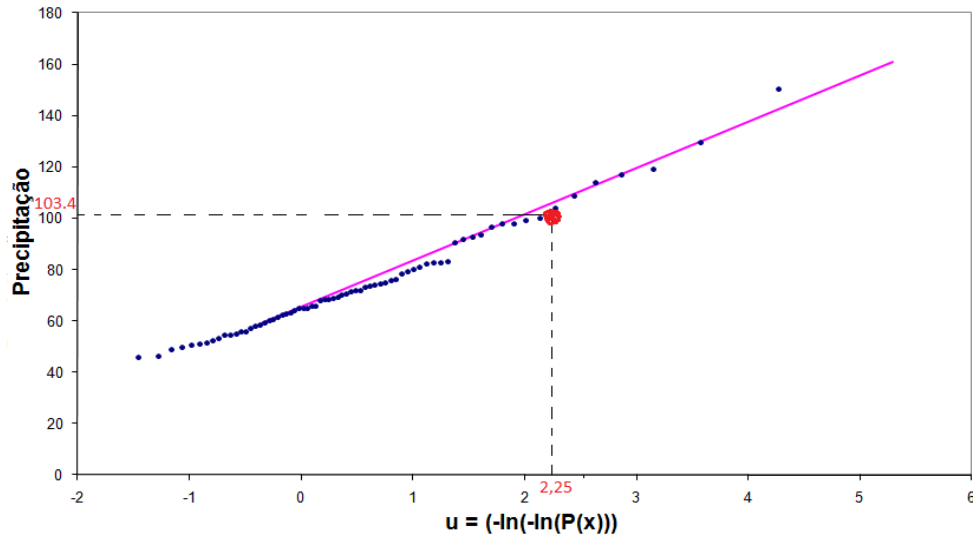


Figura 5: Exemplo da estimativa da precipitação através da Distribuição de Gumbel, com dados da estação do IAG/USP. Fonte: Autor, 2011.

Com o valor da variável de Gumbel tem-se a probabilidade de ocorrência do evento e vice - versa, a partir da Tabela 3:

Tabela 3: Probabilidade estimada para diferentes valores da variável de Gumbel (u) e P(x) é a probabilidade de ocorrência do evento.

u	-2	-1	0	1	2	3	4	5
P(x) %	0,1	6,6	36,8	69,2	87,3	95,1	98,2	99,3

Fonte: Autor, 2011.

3.3.1.5 Tempo de retorno (T)

Tempo de retorno, também conhecido como período de recorrência, é o intervalo de tempo estimado de ocorrência de um determinado evento. O tempo de retorno é comumente aplicado quando se trata de chuvas, enchentes, secas, furacões, entre outros. Pois, é de suma importância ter conhecimento do tempo de recorrência de tais fenômenos meteorológicos. Em obras de engenharia ele é muito aplicado como forma de dimensionamento de vertedouros de barragens, obras de drenagem, com o objetivo de minimizar os efeitos provocados por fenômenos naturais. O tempo de retorno é calculado a partir da formulação a seguir:

$$T = \frac{1}{1-P(x)} \quad (11)$$

$$P_s = 1 - P(x) \quad (12)$$

- Para a qual: $P(x)$ é a probabilidade de ocorrência do evento e (T) é geralmente expresso em anos e (P_s) é a probabilidade do evento ser superado.

Nesta pesquisa foram utilizados os seguintes tempos de retorno $T = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500$ anos.

O tempo de retorno pode ser expresso em forma gráfica, como segue (Figura 6). Para o qual, no eixo das abscissas tem-se a variável que se pretende estudar (nesse caso precipitação) e nas ordenadas tem-se o período de retorno dado em anos. Nesse exemplo, para uma precipitação ($p = 103,4$ mm) (Figura 4) registrada na estação do IAG/USP – SP tem a probabilidade de $P(x) = 0,90$ de ocorrência desse evento de chuva, então, seu período de retorno será: $T = 1/1-P(x) = 1/0,1 = 10$ anos.

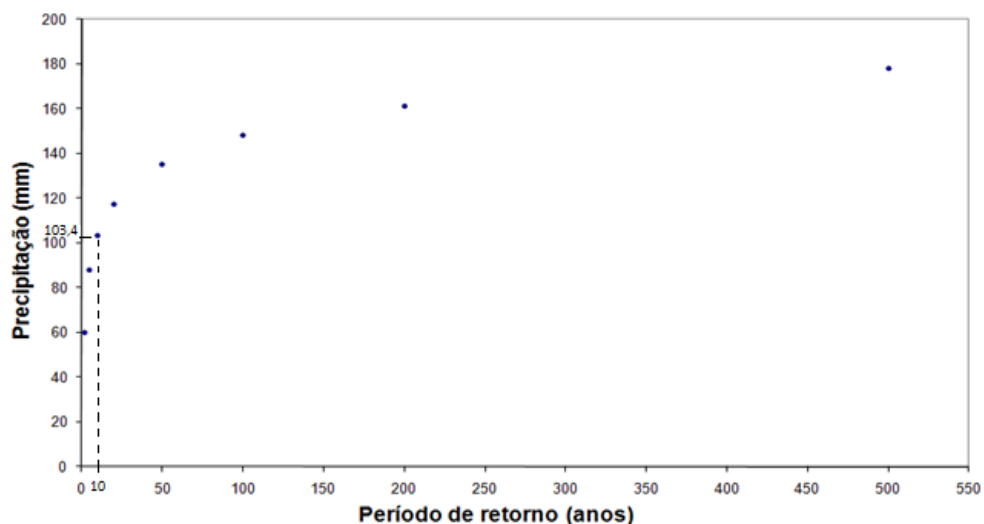


Figura 6: Exemplo de período de retorno para estação do IAG/USP. Fonte: Autor, 2011.

3.4 Análise de Cluster ou de Agrupamento

A análise de cluster ou agrupamento busca agrupar elementos de dados baseando-se na similaridade entre eles. Os grupos são determinados de forma a obter-se homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre eles. Para análise de agrupamento, utilizou-se o intervalo comum de 1947 a 1998, para todas as 21 estações desse estudo. Foi escolhido esse intervalo, devido o período característico comum a todas as estações. Para as medidas de

similaridade, a maioria dos métodos de análise de cluster requer uma medida de similaridade entre as variáveis a serem agrupadas, normalmente é expressa como uma função distância, em nosso estudo será utilizada a distância de Manhattan, definida logo abaixo.

Primeiro foram calculadas as médias e o somatório dos totais anuais e sazonais, e do número de eventos de precipitação das diferentes classes (Tabela 4), onde a média (μ) foi calculada pela equação (3), seguido da distância de Manhattan e do processo de aglomeração usando o método de Ward.

Neste trabalho a precipitação foi dividida em cinco classes, cujos limiares foram estabelecidos a partir de acumulados em 24 horas, como mostradas na Tabela 4.

Tabela 4: Frequência de classes de precipitação e seus intervalos correspondentes.

Classes de precipitação	Intensidade (mm)
CHS – chuvisco	$0,0 < CHS \leq 5,0$
Mo – moderada	$10,0 \leq Mo < 30,0$
Fo – forte	$30,0 \leq Fo < 50,0$
MF – muito forte	$50,0 \leq MF < 100,0$
PE – precipitação extrema	$PE \geq 100,0$

Fonte: Autor, 2011.

3.4.1 Distância de Minkowski

Dados dois vetores (q) e (r), a distância de Minkowski (L_p) é dada por:

$$L_p(q, r) = \left(\sum_{i=0}^k |q_i - r_i|^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (13)$$

Para qual, $i = (0, 1, 2, \dots, k)$, p é um parâmetro que modifica a distância de Minkowski resultando em outras distâncias conhecidas. Se $p = 2$ então na verdade L_2 é a distância euclidiana, se $p = 1$ tem-se a distância de Manhattan, city block ou distância taxicab. Para p se aproximando do infinito, a distância se transforma na métrica Max (LOPES et al, 2008):

$$\max_i (|q_i - r_i|) \quad (14)$$

Essa distância é normalmente representada na forma de matriz quadrada $n \times n$, ou seja, em uma matriz de similaridade, a qual é simétrica.

$$D = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{nn} \end{vmatrix}$$

Para qual, $D = n \times n$ é a matriz de similaridade gerada através da distância Manhattan.

3.4.2 Método de Ward

Este é um método hierárquico que, como padrão, utiliza a distância euclidiana para medir a similaridade ou dissimilaridade entre os indivíduos, ou seja, a distância entre os indivíduos X_i e X_j (EVERITT, 1993). Nesta pesquisa utilizou-se, como método aglomerativo o de Ward, e como distância de ligação, a distância de Manhattan inserida na equação (13), quando ($p = 1$):

$$L_p(q, r) = (\sum_{i=0}^k |q_i - r_i|) \quad (15)$$

O método de Ward propõe que em qualquer fase da análise a perda de informação, que resulta do agrupamento de elementos entre grupos, é medida pela Soma dos Quadrados dos Desvios (SQD) de cada ponto a média do grupo a qual pertence (EVERITT, 1993).

$$SQD = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n X_i)^2 \quad (16)$$

3.4.3 Procedimentos de aglomeração

A aglomeração hierárquica se caracteriza pelo estabelecimento de uma hierarquia ou estrutura em forma de árvore. Os grupos, nos métodos hierárquicos, são geralmente representados por um diagrama bi-dimensional: chamado de dendrograma ou diagrama de árvore. O dendrograma é um gráfico em forma de árvore muito utilizado na análise de cluster, através dele e do conhecimento prévio sobre a estrutura dos dados, deve-se determinar uma distância de corte para definir quais serão os grupos formados. Essa decisão é subjetiva, e deve ser feita de acordo com o objetivo da análise e o número de grupos desejados.

Observa-se a seguir o passo a passo da construção de um dendrograma (Figura 7). No eixo das ordenadas estão as variáveis (estações) e nas abscissas a distância de Manhattan. O objetivo é agrupar as variáveis mais próximas, ou seja, com a mesma distância. Nesse caso, a variável 1 e 2 possuem distâncias diferentes das 3 e 4, ficando em grupos diferentes e sucessivamente.

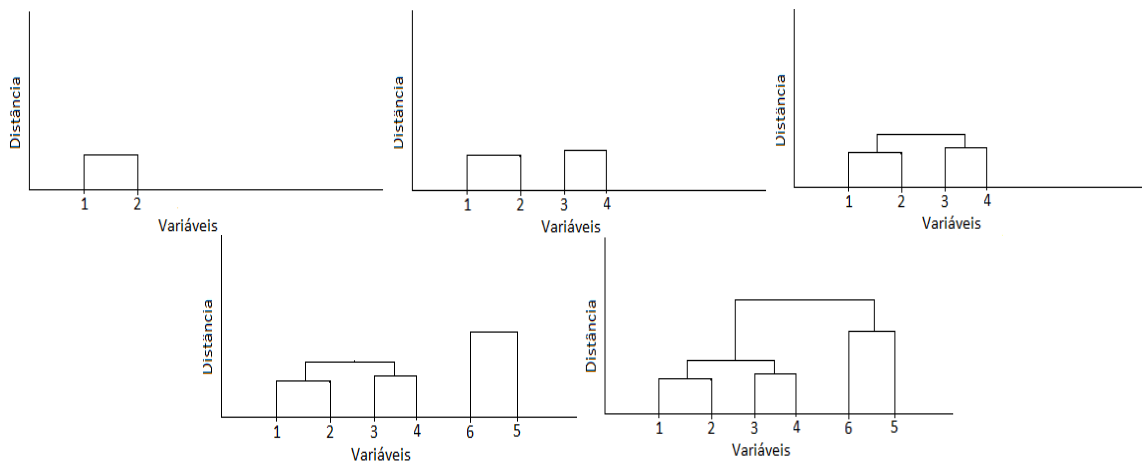


Figura 7: Exemplo da construção de um dendrograma. Fonte: Autor, 2011.

Neste diagrama, cada “ramo” representa um elemento, enquanto a “raiz” representa o agrupamento de todos os elementos (Figura 8). As estações semelhantes são agrupadas entre si. Para os procedimentos de aglomeração, deve-se optar por um método específico (RAIMUNDO, 2009).

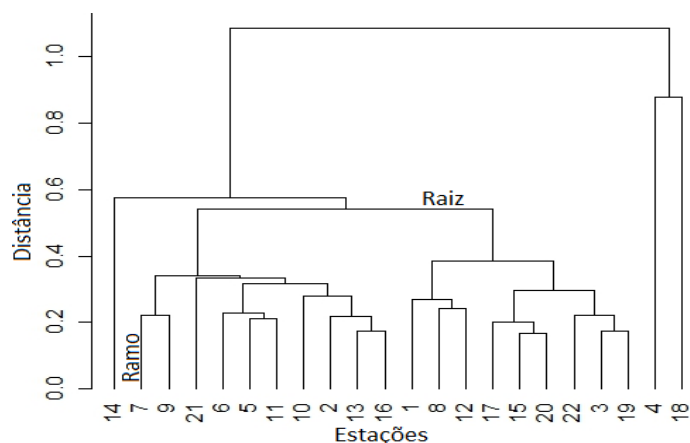


Figura 8: Exemplo de um dendrograma. Fonte: Autor, 2011.

Os dendrogramas foram elaborados com auxílio do software R, para as seguintes variáveis: A) Total anual hidrológico; B) Total sazonal (DJF); C) Total anual e sazonal de cada classe; D) Número de eventos anual e sazonal de cada classe, as classes estão dispostas na Tabela 4.

3.5 Análise de Tendências

O teste de tendência foi aplicado apenas às classes de precipitação chuvisco, moderada e acima de 30,0 mm/dia. Sendo escolhidas estas classes, devido ao teste de tendência realizar o cálculo da tendência ano a ano. Como as classes: forte ($30,0 < Fo < 50,0$ mm/dia), muito forte ($50,0 < MF < 100,0$ mm/dia) e extrema ($PE > 100,0$ mm/dia) condiz de limiares que não possuem uma frequência regular de ocorrência ano a ano, então, surgem muitos zeros nas séries, principalmente na classe extrema. Logo, as classes chuvisco e moderada dispõem de uma frequência regular, isto é, poucos zeros surgiram nas séries e os que surgiram foram preenchidos pela média da série correspondente a cada estação. Para análise de tendências crescentes e/ou decrescentes das séries temporais das classes estabelecidas acima, foi utilizado o teste de Mann-Kendall e foi adicionada aos gráficos uma reta de tendência com suas respectivas equações para ser comprovado se há ou não tendência significativa, nas séries de precipitação, pelo teste de tendência.

3.5.1 Coeficiente angular da reta

O coeficiente angular da reta é definido como a tangente do ângulo (α) que a reta faz com o eixo das abscissas (Figura 9). Quando a reta for paralela ao eixo y, ou seja, tiver uma inclinação igual a 90° o seu coeficiente angular não irá existir, pois não é possível calcular a tangente de 90° .

$$\tan\alpha = m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (17)$$

Para qual y_1 e y_2 , x_1 e x_2 são valores nos eixos das abscissas e ordenadas, respectivamente, que formam os pontos (x_1, y_1) e (x_2, y_2) no plano cartesiano e a união desses pontos forma a reta.

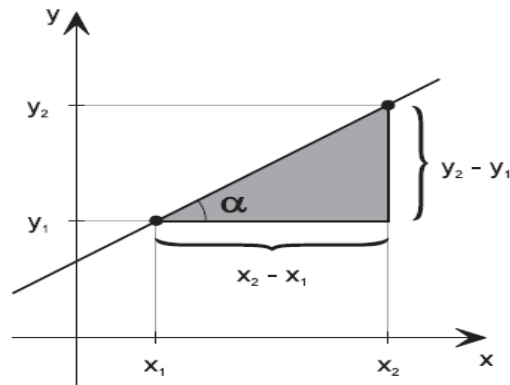


Figura 9: Ilustração da reta de tendência. Fonte: Autor, 2011.

Para a avaliação da tendência climática foi utilizado o teste de tendência de Mann-Kendall (MK), proposto inicialmente por Sneyers (1975).

Goossens e Berger (1986) afirmam que o teste de Mann-Kendall é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas. Este teste tem sido bastante empregado para verificar tendências em séries pluviiais, com intuito de analisar mudanças climáticas. O teste de Mann-Kendall consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial. Pode ser definido, como a contagem do número de vezes que, os termos restantes são maiores, do que o valor analisado. O teste considera que, assumindo a hipótese nula (H_0) de estabilidade de uma série temporal, os valores da variável aleatória são independentes e igualmente distribuídos. Moraes et al, (1995) descrevem o método considerando uma série temporal de X_i de N termos ($1 \leq i \leq N$); o teste consiste na soma (t_n) do número de termos (m_i) da série, relativo ao valor X_i cujos termos precedentes ($j < i$) são inferiores ao mesmo ($X_j < X_i$), isto é, sob hipótese nula (H_0) de ausência de tendência de variação (positivo ou negativo), o teste consiste no somatório, como apresentado na equação abaixo:

$$t_n = \sum_{j=i+1}^N m_i (X_j - X_i) \quad (18)$$

Supondo que H_0 seja verdadeira, para séries com grande número de termos (N) então a estatística t_n apresenta uma distribuição Normal, com média igual a zero e variância (VAR) conforme equação abaixo:

$$\text{VAR} = \frac{N(N-1)(2N+5)}{18} \quad (19)$$

Em geral, considera-se o nível de significância do teste $\alpha = 0,05$, o que corresponde a aceitar a Hipótese H_0 , para uma probabilidade de 95% de confiança.

Com base na análise da estatística (Z), é feita a decisão final de aceitar ou rejeitar H_0 , ou seja, pode-se confirmar a hipótese de estabilidade dos dados ou rejeitá-la a favor da hipótese alternativa, ou seja, de existência de tendência nos dados.

$$Z = \begin{cases} \frac{t_n - 1}{\sqrt{\text{VAR}(t_n)}} & \text{se } t_n > 0 \\ 0 & \text{se } t_n = 0 \\ \frac{t_n + 1}{\sqrt{\text{VAR}(t_n)}} & \text{se } t_n < 0 \end{cases} \quad (20)$$

Sendo assim, adotando-se o nível de significância 5%, utilizado por Moraes et al. (1995), Back (2001), H_0 deve ser rejeitada sempre que o valor de Z estiver fora do intervalo de confiança $[-1,96; +1,96]$, ou seja, quando existe uma tendência significativa na série temporal. Em outras palavras, se o valor de Z foi inferior à $-1,96$ há, de acordo com o teste MK, significativas tendências de queda nos valores da série sob investigação. Quando Z é superior a $1,96$ há significativas tendências de elevação. Os valores do intervalo de confiança foram calculados conforme abaixo. Como o teste de Mann-kendall, segue o padrão da distribuição normal, que é caracterizada por ter média (μ) igual a 0 (zero) e desvio padrão (s) igual a 1, a Figura 10 sugere que o desvio-padrão (s) controla o grau, para o qual a distribuição se "espalha", para ambos os lados da curva. Percebe-se que aproximadamente toda a probabilidade está dentro de $(\pm 3s)$ a partir da média.

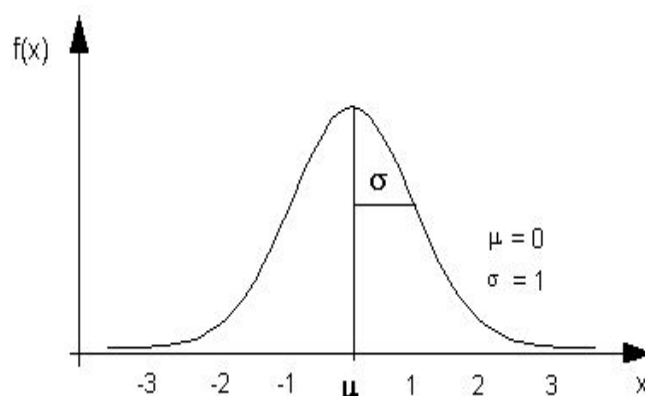


Figura 10: Modelo do padrão de distribuição normal. Fonte: www.ufpa.br

Se a variável (x) tem distribuição normal, pode ser transformada para uma forma padrão, denominada (z) (ou, como comumente se diz, pode ser padronizada) subtraindo-se sua média (μ) e dividindo-se pelo seu desvio padrão (s):

$$z = (x - \mu) / s \quad (21)$$

Para a distribuição Normal, a proporção de valores dentro de um, dois, ou três desvios padrão da média, estão dispostos na Tabela 5:

Tabela 5: Percentual correspondente aos valores de um, dois, ou três desvios padrão.

Escala	Percentual correspondente
$\mu \pm 1s$	68,26% (1)
$\mu \pm 2s$	95,44% (2)
$\mu \pm 3s$	99,74% (3)

Fonte: Autor, 2011.

Sendo assim, considerando a área sob a curva normal, então a área correspondente a exatos 95% da curva foi calculada como segue:

$$z = 95\% = 0,95$$

$$0,95 / 2 = 0,4750$$

Procurando esse valor (0,4750) na tabela de (z) chega-se a 1,96 (Tabela 6).

O valor de (z) na distribuição normal para um nível de significância de 5%, (z) deve estar entre -1,96 e 1,96 (valores do intervalo de confiança).

Tabela 6: Valores da Distribuição Normal Padrão.

Distribuição Normal Padrão										
z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0,1	0,0398	0,0438	0,0478	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675	0,0714	0,0753
0,2	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987	0,1026	0,1064	0,1103	0,1141
0,3	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368	0,1406	0,1443	0,1480	0,1517
0,4	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1736	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879
0,5	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088	0,2123	0,2157	0,2190	0,2224
0,6	0,2257	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2517	0,2549
0,7	0,2580	0,2611	0,2642	0,2673	0,2704	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852
0,8	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2995	0,3023	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133
0,9	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
1,0	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
1,1	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3729	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
1,2	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015
1,3	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177
1,4	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319
1,5	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
1,6	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
1,7	0,4554	0,4564	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4633
1,8	0,4641	0,4649	0,4656	0,4664	0,4671	0,4678	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706
1,9	0,4713	0,4719	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767
2,0	0,4772	0,4778	0,4783	0,4788	0,4793	0,4798	0,4803	0,4808	0,4812	0,4817
2,1	0,4821	0,4826	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,4857
2,2	0,4861	0,4864	0,4868	0,4871	0,4875	0,4878	0,4881	0,4884	0,4887	0,4890
2,3	0,4893	0,4896	0,4898	0,4901	0,4904	0,4906	0,4909	0,4911	0,4913	0,4916
2,4	0,4918	0,4920	0,4922	0,4925	0,4927	0,4929	0,4931	0,4932	0,4934	0,4936
2,5	0,4938	0,4940	0,4941	0,4943	0,4945	0,4946	0,4948	0,4949	0,4951	0,4952
2,6	0,4953	0,4955	0,4956	0,4957	0,4959	0,4960	0,4961	0,4962	0,4963	0,4964
2,7	0,4965	0,4966	0,4967	0,4968	0,4969	0,4970	0,4971	0,4972	0,4973	0,4974
2,8	0,4974	0,4975	0,4976	0,4977	0,4977	0,4978	0,4979	0,4979	0,4980	0,4981
2,9	0,4981	0,4982	0,4982	0,4983	0,4984	0,4984	0,4985	0,4985	0,4986	0,4986
3,0	0,4987	0,4987	0,4987	0,4988	0,4988	0,4989	0,4989	0,4989	0,4990	0,4990
3,1	0,4990	0,4991	0,4991	0,4991	0,4992	0,4992	0,4992	0,4992	0,4993	0,4993
3,2	0,4993	0,4993	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4994	0,4995	0,4995	0,4995
3,3	0,4995	0,4995	0,4995	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4996	0,4997
3,4	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4997	0,4998
3,5	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998	0,4998
3,6	0,4998	0,4998	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,7	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,8	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999	0,4999
3,9	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
4,0	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
4,1	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
4,2	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
4,3	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
4,4	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
4,5	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000

Fonte: <http://aulasdematematica.com.br>.

Portanto, como o valor da área é o mesmo valor da probabilidade, se uma variável (x) tem distribuição normal, com média (μ) e desvio padrão (s), a probabilidade de se sortear da população de valores de (x) um valor contido no intervalo ($\pm 1,96$) é igual a 95% (47,5% para cada lado da curva) e a probabilidade de se sortear da população de valores de (x) um valor não contido no intervalo $\mu \pm 1,96 s$ é igual a 5% (2,5% em cada extremo da curva) (Figura 11).

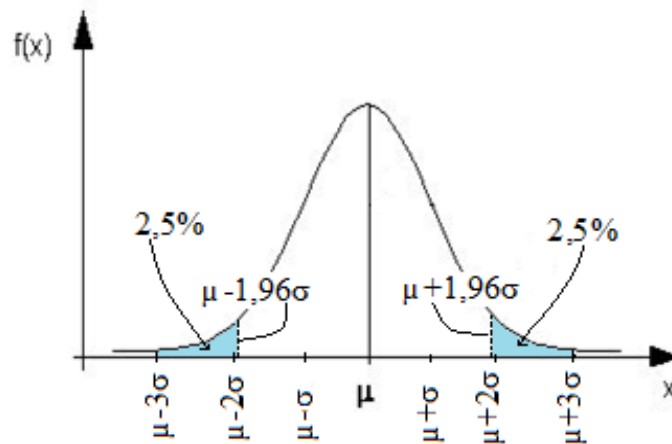


Figura 11: Limites da distribuição normal mostrando os valores críticos para validação do teste de tendência.
Fonte: Autor,2011.

Os resultados do teste de Mann-kendall seguem o padrão da distribuição normal com 95% de confiança. Os valores de ($\pm 1,96$) são denominados de valores críticos, ou seja, o teste de tendência só será válido se ultrapassarem esses limites (positivo ou negativo). Caso contrário, a série pode mostrar tendência pela equação da reta e seus valores estarem dentro do intervalo de distribuição normal. Então a tendência não será significativa. Pela distribuição normal com 95% de confiança, temos a seguinte informação:

1. Se teste MK $> + 1,96 \Rightarrow$ tendência crescente significativa
2. Se teste MK $< - 1,96 \Rightarrow$ tendência decrescente significativa
3. Se MK entre $\pm 1,96 \Rightarrow$ não há tendência significativa

Todas as estações usadas para as análises de tendências possuem intervalos variados, sendo que nenhuma não ultrapassa o ano de 2004 (Tabela 2).

3.6 Procedimentos Metodológicos e Aspectos Práticos

Para análise do comportamento anual das classes de precipitação, foi utilizado o ano hidrológico (de agosto a julho do ano seguinte), devido o período mais chuvoso da região sudeste concentrar-se de dezembro a março.

Para análise do comportamento sazonal, foram escolhidos os meses do período mais chuvoso da região, são eles: dezembro, janeiro e fevereiro (DJF), estação de verão no Hemisfério Sul.

Como dito anteriormente, essa pesquisa é dividida em três partes distintas, as quais são descritas abaixo:

1ª Análise: Estimar a probabilidade e o tempo de retorno das precipitações máximas diárias anuais (PMDA) através da Distribuição Gumbel. Primeiro passo: foram calculados os parâmetros da Distribuição de Gumbel (α e β) pelo Método dos Momentos. Os resultados desse cálculo são representados na forma de uma reta no gráfico de dispersão, onde essa reta representa os valores de precipitação para os tempos de retorno entre 2 e 200 anos. Segundo passo: foram selecionadas nas séries de precipitações de cada estação, as PMDA para verificar o ajustamento dessas precipitações, aos resultados obtidos através da Distribuição de Gumbel. Terceiro passo: foram calculadas a frequências relativas das PMDA para cada série, necessárias para obtenção da variável de Gumbel, que através dela calculou-se a probabilidade de ocorrência e o tempo de retorno das PMDA estimadas. E por fim os valores das PMDA observadas foram mostrados sob a forma de gráficos de dispersão.

2ª Análise: Para obtenção do comportamento anual (ano hidrológico) e sazonal (dezembro, janeiro e fevereiro) da precipitação entre as estações (Tabela 2), foi utilizado à análise de cluster e/ou de agrupamento, onde foram agrupadas as estações de acordo com a distribuição da frequência de classes (Tabela 4). Os cálculos efetuados foram: (I) total anual e sazonal de cada classe, médias anuais e sazonais; (II) número de eventos anual e sazonal correspondente a cada classe estabelecida, visando encontrar a similaridade entre as estações com base no agrupamento da análise de cluster. Primeiro passo: foram calculados os totais anuais e sazonais, em seguida o número de eventos anual e sazonal correspondente a cada classe de precipitação, como dispostas na Tabela 4. Segundo passo: foi calculada a distância de ligação através da distância de Manhattan e como método de aglomeração o método de Ward. Terceiro passo: foram elaborados os dendrogramas com o auxílio do software R. E escolhidos os cortes a partir dos dendrogramas e conhecimento prévio dos dados.

3ª Análise: Detectar as tendências nas séries de precipitação, começando pelos totais anuais e sazonais seguindo pelo número de eventos de precipitação da classe chuvisco, moderada e acima de 30 mm/dia. Primeiro passo: foram calculados os totais acumulados anualmente e no período sazonal. Segundo passo: foram calculados o número de eventos da classe chuvisco (precipitação de 0,0 a 5,0 mm/dia), da classe moderada (precipitação de 10,0 a 30,0 mm/dia) e de todas as precipitações acima de 30 mm/dia. Terceiro passo: foram adicionadas linhas de tendência aos gráficos juntamente com suas respectivas equações, a fim de extrair o coeficiente angular da reta e verificar se há tendência significativa nas séries, pelo teste de tendência de Mann-Kendall. Quarto passo: aplicação do teste de tendência de Mann-

Kendall e elaboração dos mapas com isolinhas (com auxílio de um software gráfico) representando: o total anual e sazonal, número de eventos das diferentes classes (chuvisco, moderada e acima de 30 mm/dia).

Os resultados da análise anual e sazonal foram comparados a fim de verificar diferenças ou semelhanças entre os períodos. Posteriormente, foram discutidos as tendências em cada classe de precipitação, (chuvisco, moderada e acima de 30,0 mm/dia).

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

Os resultados estão dispostos como indicado no item 3.6, divididos em três análises distintas, como seguem:

4.1 Ajuste das Precipitações Máximas Diárias Anuais pela Distribuição Gumbel

Será discutido, nesse tópico, o ajuste das precipitações máximas diárias, a partir da Distribuição Gumbel, devido muitos autores relatarem na literatura sobre o bom ajuste que a distribuição Gumbel exerce, quando se refere a precipitações extremas. Foram analisadas 21 estações pluviométricas da RMSP. Percebeu-se que todas as estações possuem um bom ajuste dos valores de precipitações máximas diárias anuais (PMDA) (Figura 12). A partir da Distribuição de Gumbel, estimou-se a probabilidade de ocorrência e o tempo de retorno para cada variável de Gumbel da Figura 12, como listadas na Tabela 7, na qual se observa que, quanto maior a variável de Gumbel, maior a probabilidade de ocorrência do evento e maior o tempo de retorno.

Tabela 7: Probabilidade de ocorrência estimada ($P(x)$) e os tempos de retorno T , para diferentes valores da variável de Gumbel (u).

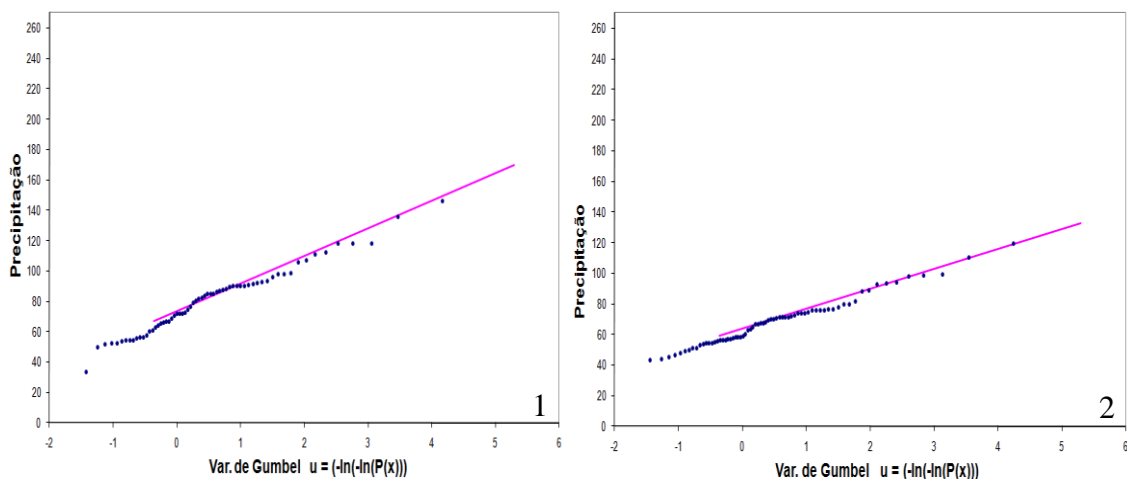
u	-2	-1	0	1	2	3	4	5
$P(x)$ %	0,1	6,6	36,8	69,2	87,3	95,1	98,2	99,3
T (anos)	1,0	1,07	1,58	3,2	7,87	20,4	55,6	142,9

Fonte: Autor, 2011.

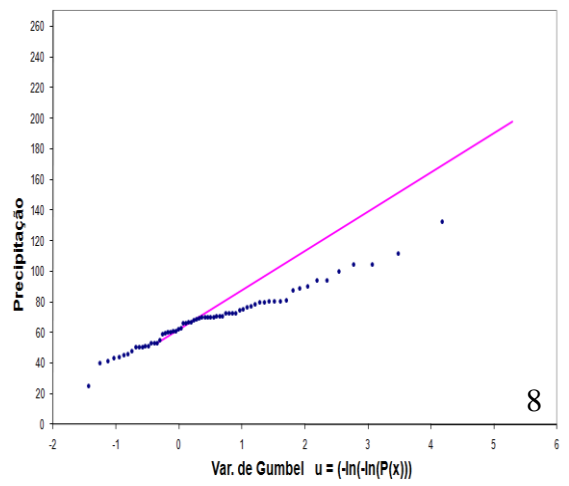
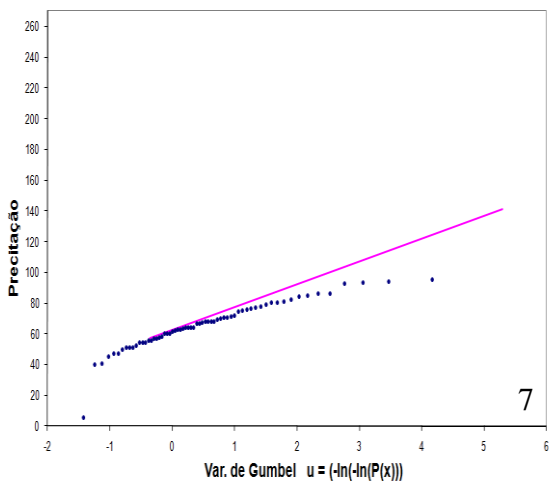
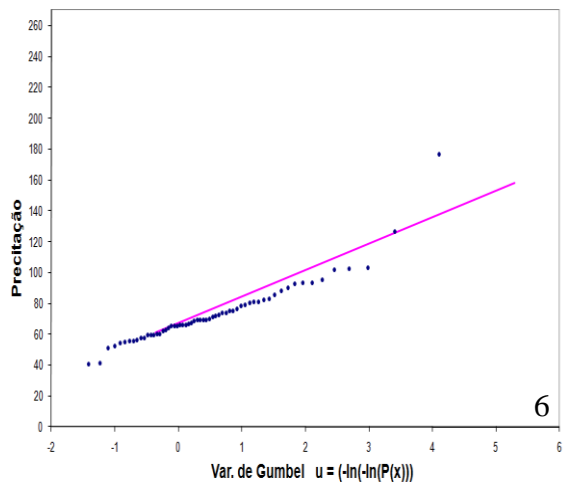
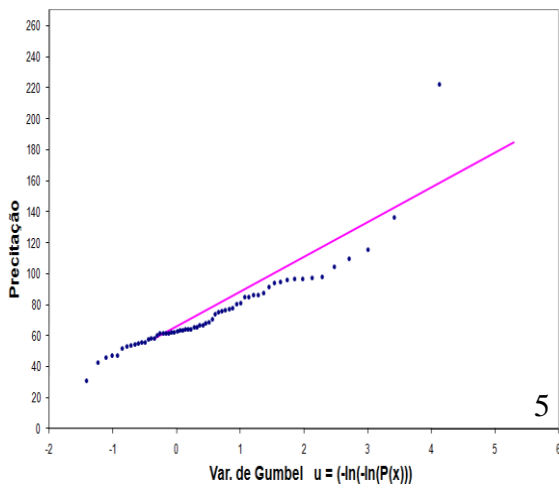
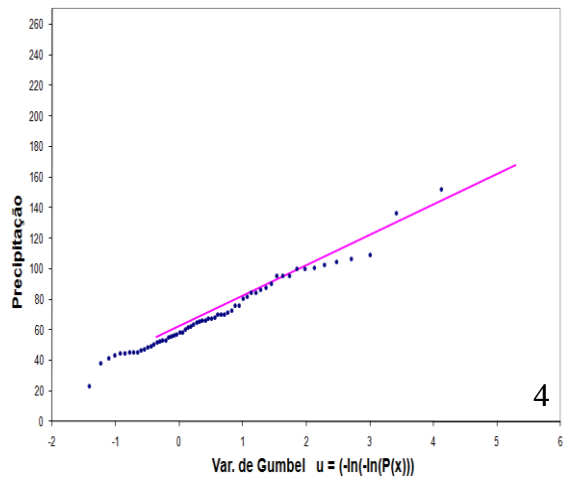
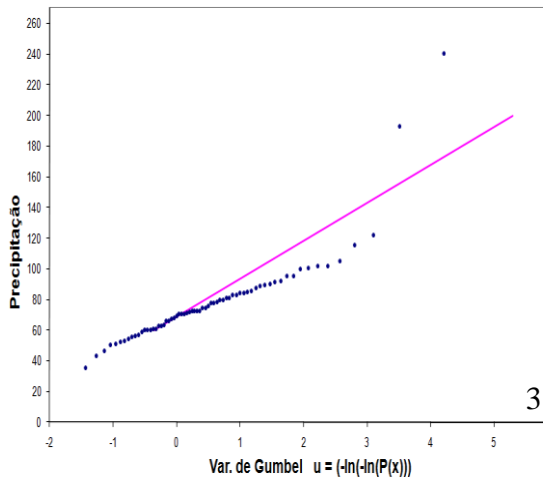
Para a melhor compreensão dessas precipitações e seu comportamento, foram elaborados gráficos de dispersão, com uma reta representando o tempo de retorno de T (2 (início) e 200 (final) anos, calculado a partir de (u)). Analisou-se o comportamento dessas precipitações, através do gráfico de dispersão, em todas as 21 estações, as quais possuem período de dados diários de precipitação distintos (Tabela 2) e também foi analisado se houve ajuste significativo dos dados observados (“reta” de referência) (Figura 12.1, 12.2, ..., 12.21). Na Figura 12, observa-se a estimativa da precipitação a partir da distribuição de Gumbel. Nas abscissas têm-se os valores da variável de Gumbel, a partir da qual se pôde calcular T , e nas ordenadas, tem-se a PMDA estimada. A reta foi calculada a partir dos parâmetros (α) e (β) e

serve de referência para verificar se os dados se ajustam a distribuição. Percebeu-se que, na maioria das estações que os valores das PMDA se ajustaram significativamente a “reta” de referência. Em algumas estações, como: Franco da Rocha, Pedro Beicht – Cotia e Barueri (Figura 12. (3, 7, 8)) os valores das PMDA acima de 60 mm se distanciaram um pouco da reta de referência, mas não comprometendo a análise da Distribuição Gumbel, a qual mostrou bom ajustamento, como encontrado por Leopoldo et al (1984), Nobukuni (2000), Vieira et al (1994), Pinto (1999), dentre outros. As estações Salesópolis (9), Santo Amaro (15), Instituto Biológico (19), Congonhas (20) e Estação da Luz (21) apresentaram os melhores ajustes, tendo seus valores de PMDA muito próximas da reta de referência.

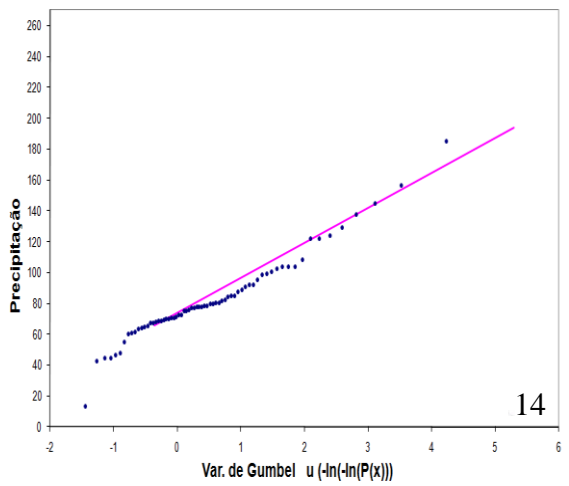
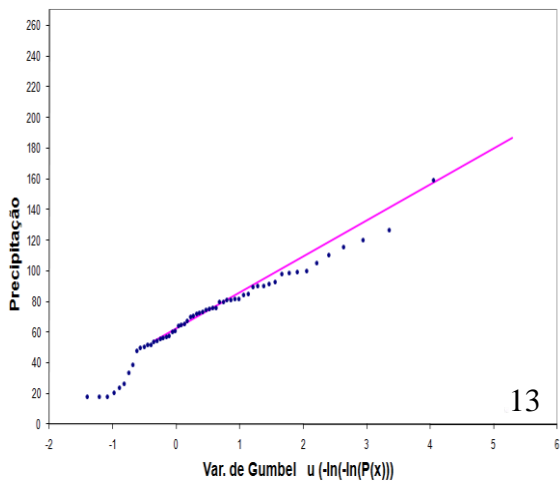
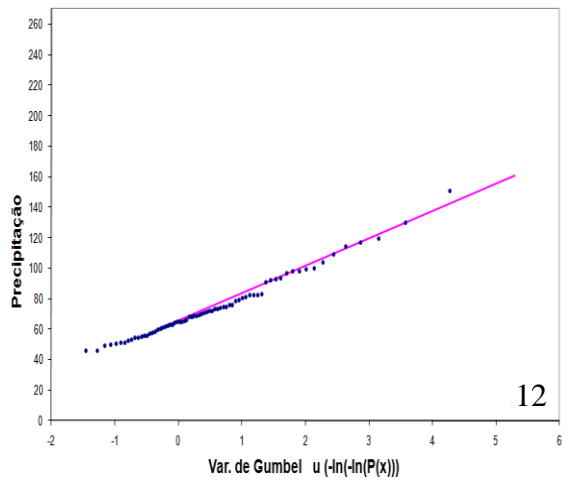
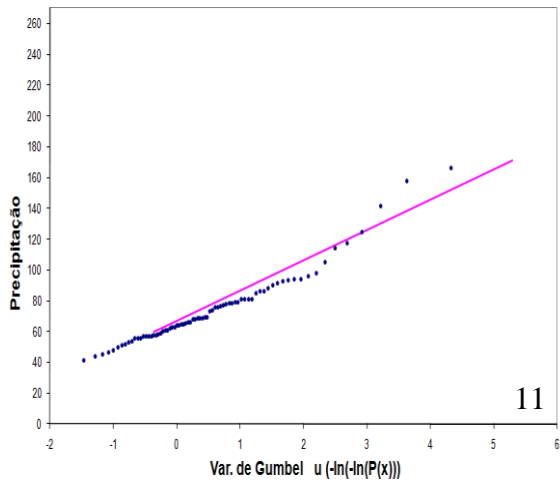
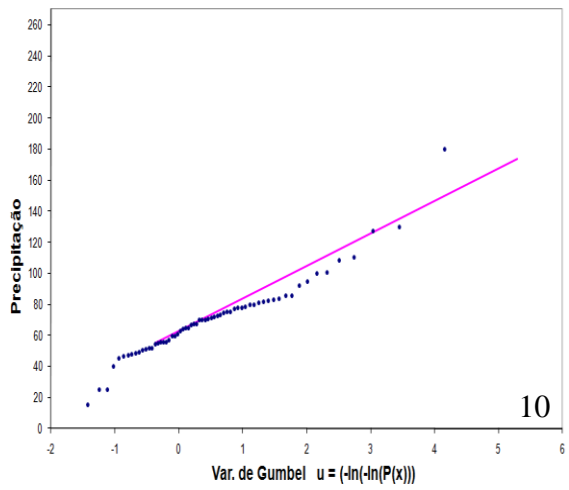
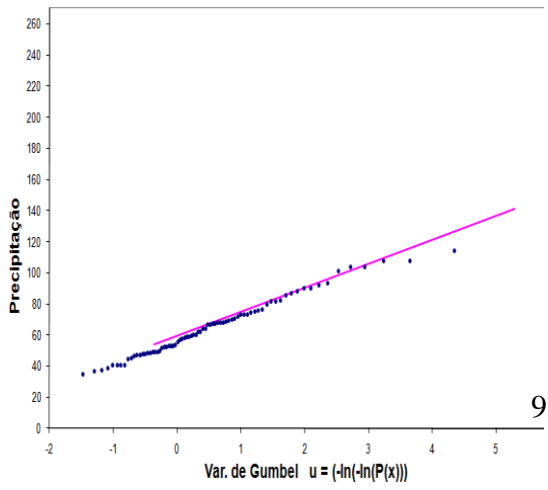
Alguns valores se distanciaram da reta por serem totais anômalos, ou seja, são valores extremos de precipitação, pois não ocorrem com frequência. Verificou-se que os valores das PMDA variam de estação para estação, pois, por possuírem localização diferente, os sistemas produtores de chuva podem atuar de forma diferente em cada localidade. Portanto, para que haja uma melhor compreensão dessa espacialização, posteriormente será feita a análise de agrupamento entre as estações e os resultados serão expostos na forma de mapas com isolinhas correspondentes a cada variável: a) total anual e sazonal; b) total anual e sazonal de cada classe; c) número de eventos anual e sazonal de cada classe (Tabela 4), visualizando as áreas que possivelmente possuam homogeneidade com relação a cada variável adotada.



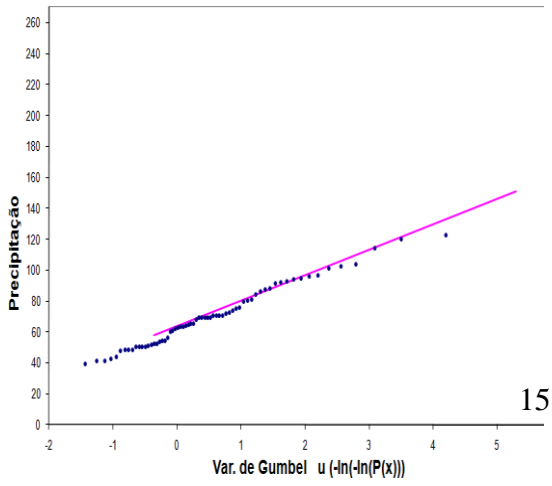
(continua)



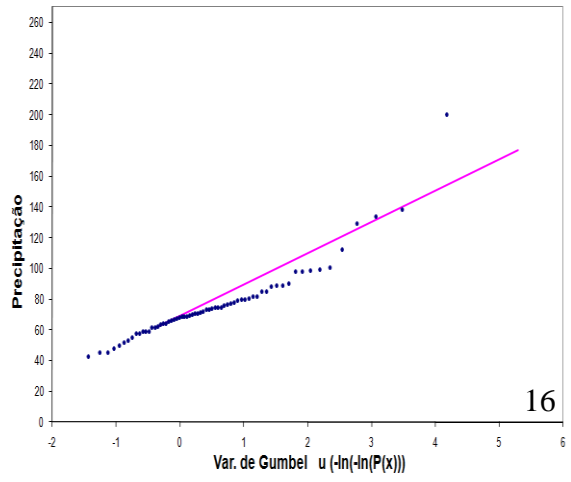
(continua)



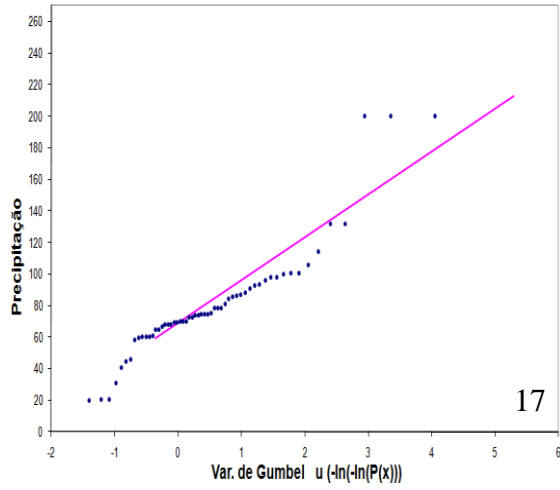
(continua)



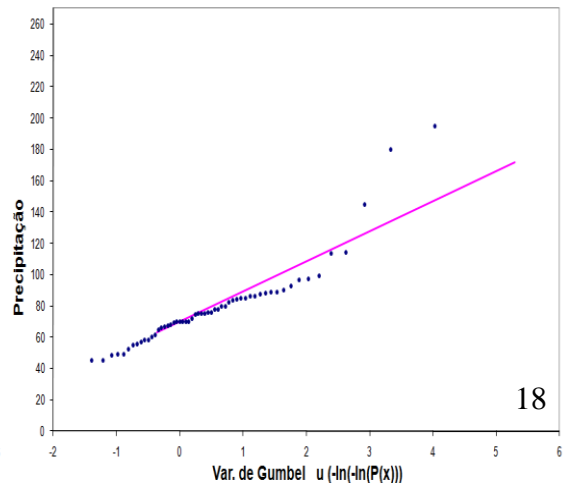
15



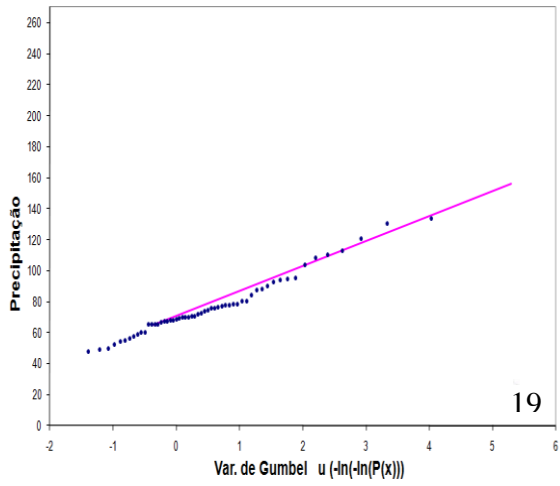
16



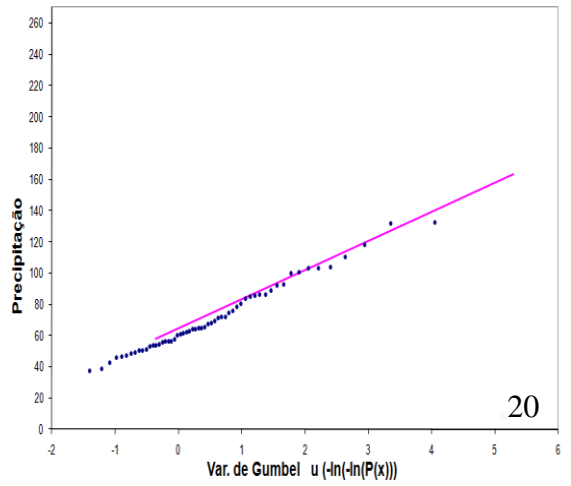
17



18



19



20

(continua)

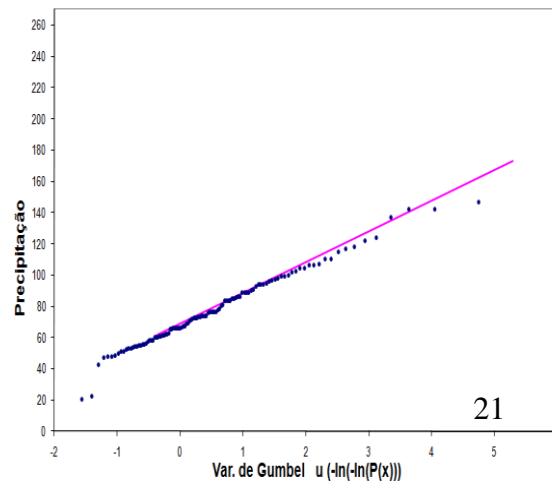


Figura 12: Estimativa da precipitação através da Distribuição de Gumbel para: 1) Guarulhos; 2) Cachoeira da Graça; 3) Franco da Rocha; 4) Guararema; 5) Itaquaquecetuba; 6) Mairiporã; 7) Pedro Beicth; 8) Barueri; 9) Salesópolis; 10) Santa Isabel; 11) Usina Salesópolis; 12) IAG; 13) Perus; 14) Santana; 15) Santo Amaro; 16) Água Branca; 17) Barrocada; 18) Engordador; 19) Instituto Biológico; 20) Congonhas Aeroporto e 21) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.

Nem sempre a distribuição que melhor se ajusta a um conjunto pequeno de dados é a que leva à melhor extrapolação. Só um estudo extensivo ou séries longas permite dizer qual distribuição que levam às melhores extrapolações.

Na Tabela 8, ilustram-se o tempo de retorno (T), a probabilidade de ocorrência de um evento de PMDA $P(x)$, e a probabilidade do evento ser superado $P(s)$, calculado a partir da distribuição de Gumbel (Figura 12. (1, 2,..., 21)). Na análise da Tabela 8, percebeu-se que para um período de retorno de 2 anos, há uma probabilidade de 50% de chance do evento se precipitação repetir-se novamente e com 50% de chance de ser superado. Já, para um tempo de retorno de 100 anos, a probabilidade de recorrência é de 99%, sendo 1% de possibilidade do evento ser superado e, para 500 anos, é de 99,8% com 0,2% de ser superado. Assim sendo, quanto maior o tempo de retorno, maior a probabilidade de ocorrência do evento.

Tabela 8: Probabilidade estimada de ocorrência do evento $P(x)$, de ser superação $P(s)$, para diferentes tempos de retorno.

T(anos)	2	5	10	20	50	100	200	500
$P(x)$ %	50	80	90	95	98	99	99,5	99,8
$P(s)$ %	50	20	10	5	2	1	0,5	0,2

Fonte: Autor, 2011.

Na Tabela 9, ilustram-se as PMDA estimadas pelo Método dos Momentos para as 21 estações, na ordem disposta na Tabela 2, e os respectivos tempos de retorno.

Pelos dados da estação do IAG/ USP, o valor de 59,4 mm/dia possui tempo de retorno de 2 anos, para 117,3 mm/dia, o tempo de retorno é de 20 anos, e para PMDA de 178,2 mm/dia o tempo de retorno correspondente é de 500 anos (Tabela 9). Por isso, é muito importante o conhecimento do tempo de retorno, principalmente de precipitações bem elevadas, já que obras de engenharia, como construção de barragens, drenagem urbana e etc, precisam dessa informação. É importante saber qual a probabilidade de ocorrência de um evento, mas também, é primordial ter conhecimento do volume de água que uma precipitação pode gerar, principalmente nos grandes centros urbanos, como a RMSP. Pois, 117 mm/dia numa área de 10 km² implica um volume superior a 1 bilhão de litros de água. Portanto, a ocorrência de um evento desse tipo por volta da década de 60, a proporção de impacto social e econômico seria muito menor, se comparado à atualidade. Analisando os valores da PMDA, verificou-se que a maior precipitação estimada provável foi de 239,3 mm para o tempo de retorno de 500 anos na estação de Barrocada (17), seguida de Franco da Rocha (3), Barueri (8), Santana (14), Perus (13) e Iquaquecetuba (5) nas quais a precipitação estimada ultrapassou os 200 mm (Tabela 9). Precipitações menores são esperadas para um período de retorno menor, pois, a probabilidade de ocorrência e superação é de 50%.

Para um tempo de retorno de 2 anos (Tabela 9) a maior precipitação estimada foi de aproximadamente 69 mm registrada na estação de Mairiporã (6) (Figura 12.6). Para 20 e 100 anos foi de aproximadamente 147 mm e 194 mm, respectivamente, na estação de Barrocada (Figura 11.17). É interessante frisar que existem para um mesmo valor de precipitação estimada, períodos de retorno diferentes, como visto em Cachoeira da Graça – Cotia e Mairiporã (Figuras 12.2 e 12.6) onde o tempo de retorno da precipitação de 145,4 mm, são bem diferentes, para a Cachoeira da Graça (2) de 500 anos e Mairiporã (6) de 100 anos. Já, para T de 2 anos, as precipitações apresentaram pouca variação em todas as estações. Portanto, para períodos de retorno acima de 20 anos as precipitações estimadas são bem distintas, ou seja, quanto maior o T, maior a distinção entre os registros de PMDA.

Sendo assim, para estruturas de Engenharia, como piscinões, é preciso analisar com cautela o tempo de retorno de cada região ou localidade, pois dimensionar uma obra de drenagem, por exemplo, é necessário uma análise criteriosa para ter conhecimento se a região ao redor da obra a ser executada, possui influência direta com a contribuição de acumulados de precipitação oriundos de outras regiões. Podemos citar, como exemplo, as estações Cachoeira da Graça e Mairiporã mencionadas acima, pois, como possuem localização geográfica e tempo de retorno diferentes, as obras devem ser dimensionadas de acordo com a influência das precipitações e partindo do pressuposto das influências dos arredores. Se a

estrutura em Mairiporã for projetada para suportar um tempo de retorno menor e local, mas se o sistema de drenagem recebe efluentes de Cachoeira da Graça, então, a obra, terá que ser ampliada para suportar um grande acúmulo de água, tanto do local quanto oriundo da outra região. Por isso, a importância da não generalização de um estudo local (utilizando apenas uma estação) e do conhecimento do tempo de retorno das regiões vizinhas para que as estruturas possam cumprir sua finalidade.

Tabela 9: Probabilidade das precipitações máximas estimadas pelo Método dos Momentos com seus respectivos períodos de retorno.

Estações	Prp			prp			Prp			prp			
	mm	P(x) %	T anos	mm	P(x) %	T anos	mm	P(x) %	T anos	mm	P(x) %	T anos	
Guarulhos	1	67,1	50	2	125,4	95	20	156,4	99	100	186,7	99,8	500
C.G.- Cotia	2	58,8	50	2	101,0	95	20	123,4	99	100	145,4	99,8	500
Franco da Rocha	3	60,5	50	2	139,7	95	20	181,7	99	100	222,9	99,8	500
Guararema	4	55,1	50	2	119,4	95	20	153,5	99	100	186,9	99,8	500
Itaquaquecetuba	5	57,8	50	2	130,3	95	20	168,7	99	100	206,4	99,8	500
Mairiporã	6	68,8	50	2	116,0	95	20	145,4	99	100	174,1	99,8	500
Pedro Beicht	7	57,3	50	2	105,1	95	20	130,5	99	100	155,4	99,8	500
Barueri	8	53,4	50	2	135,8	95	20	179,5	99	100	222,3	99,8	500
Salesópolis	9	53,6	50	2	103,2	95	20	129,5	99	100	155,3	99,8	500
Santa Isabel	10	55,0	50	2	122,8	95	20	158,8	99	100	194,1	99,8	500
U. Salesópolis	11	60,2	50	2	123,1	95	20	156,5	99	100	189,2	99,8	500
IAG	12	59,4	50	2	117,3	95	20	148,1	99	100	178,2	99,8	500
Perus	13	53,8	50	2	129,6	95	20	169,8	99	100	209,2	99,8	500
Santana	14	66,0	50	2	138,8	95	20	177,5	99	100	215,3	99,8	500
Santo Amaro	15	58,0	50	2	110,7	95	20	138,7	99	100	166,2	99,8	500
Água Branca	16	61,5	50	2	127,2	95	20	162,1	99	100	196,2	99,8	500
Barrocada	17	58,7	50	2	146,7	95	20	193,5	99	100	239,3	99,8	500
Engordador	18	63,2	50	2	125,0	95	20	157,8	99	100	189,9	99,8	500
I. Biológico	19	64,9	50	2	116,7	95	20	144,2	99	100	171,2	99,8	500
C. Aeroporto	20	57,5	50	2	117,5	95	20	149,3	99	100	180,5	99,8	500
Estação da Luz	21	62,4	50	2	125,5	95	20	158,9	99	100	191,7	99,8	500

Fonte: Autor, 2011.

No próximo item, discutir-se-á o agrupamento das estações, sejam por período (anual ou sazonal), quanto por classes (chuvisco, moderada, forte, muito forte e extrema), como segue.

4.2 Análise Multivariada das Precipitações

Nos tópicos que seguem será feita uma abordagem para dois períodos: anual (ano hidrológico, que se estende desde agosto a julho do ano seguinte) e sazonal (estação de verão, devido ser o período chuvoso da região de estudo), onde verificou-se se as classes de precipitação, como dispostas na Tabela 4, possuem similaridade nos dois períodos, utilizando a análise de agrupamento.

4.2.1 Total anual hidrológico

Na Figura 13, ilustra-se o dendrograma dos totais anuais para as 21 estações estudadas. O comportamento de cada grupo formado pelos cortes estabelecidos nos dendrogramas mostrou-se bem distintos, porém muitas estações possuem similaridade. Percebeu-se que, pelo 1º corte no dendrograma, foram formados apenas dois grupos, sendo cinco estações no G1 = (4, 9, 13, 8 e 10) e dezesseis no G2 = (17, 18, 1, 6, 14, 2, 7, 16, 21, 9, 19, 20, 11, 3, 12, e 19). Para obter-se uma visão espacial do comportamento e da similaridade de cada grupo com relação ao total de precipitação anual acumulado no ano hidrológico, dispuseram-se, na forma de mapa, as 21 estações (como listadas na Tabela 2) representadas por um ponto vermelho (Figura 13).

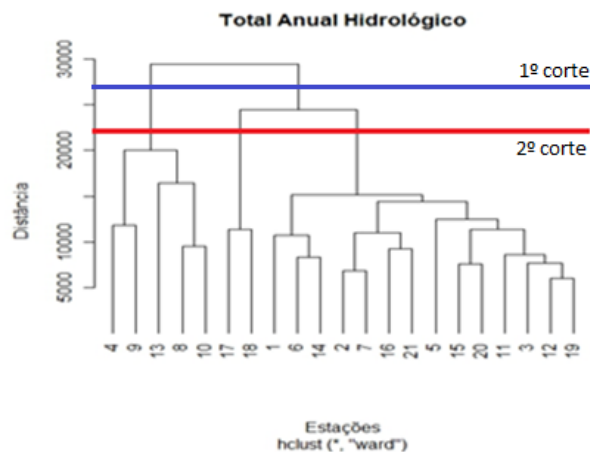


Figura 13: Dendrograma do total de precipitação anual acumulado no ano hidrológico. Fonte: Autor, 2011.

A partir da análise espacial do total anual de precipitação, sugeriu-se o 2º corte no dendrograma (Figura 13), formando-se três grupos distintos (G1, G2 e G3). As estações do G1 = (4, 9, 13, 8 e 10) possuem os menores totais anuais, inferiores a 1310 mm e apresentam uma similaridade por se situarem no extremo leste e oeste da RMSP, tomando o centro da cidade de São Paulo como referência espacial (Figura 14). O segundo grupo G2 formado por (17 e 18, Barrocada e Engordador), possuem os maiores totais (superior a 1450 mm) ambas localizadas na região centro-norte da Metrópole, enquanto, o terceiro grupo G3 = (1, 6, 14, 2, 7, 16, 21, 5, 15, 20, 11, 3, 12 e 19) possui seus totais anuais variando entre 1380 mm e 1450 mm. As estações do G2 e G3 apresentam similaridade por se situarem na porção central da RMSP. As estações do G3 apresentam baixa distinção entre os totais das estações do grupo, ou seja, pouca variação quantitativa do total anual acumulado em cada estação, justificando o agrupamento. Igualmente no G2, situado próximo a região central, as duas estações apresentaram os maiores totais anuais acumulados (Figura 14).

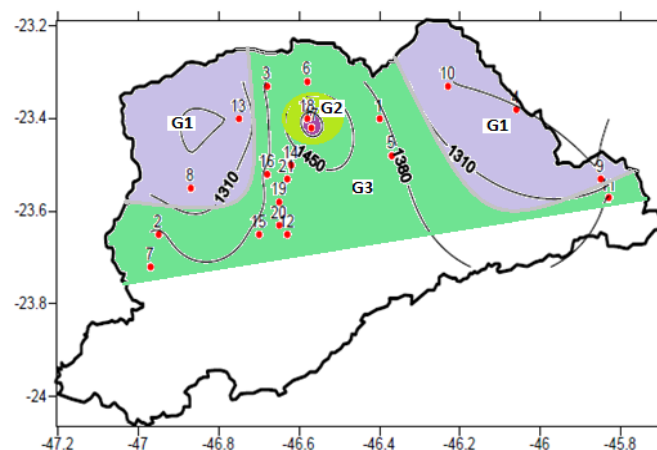


Figura 14: Isolinhas do total de precipitação acumulada no ano hidrológico. Fonte: Autor, 2011.

A Figura 13 sugere que os totais aumentem em direção à região central. Essa diferença entre os grupos pode ser devido aos sistemas atuantes, como também devido ao relevo, pois, pelo mapa de altitude (Figura 2), verificou-se que as estações 17 e 18 localizam-se a uma altitude de 800 m, comparadas as do leste e oeste com altitudes variando entre 660 - 700 e 780 - 920, respectivamente. Vale salientar que a influência brisa no lado leste é maior que no oeste, no entanto a altitude (oeste) pode ter contribuído para aumentar os valores.

No tópico seguinte, será analisado o comportamento de cada classe de precipitação (chuvisco, moderada, forte, muito forte e extrema)

4.2.1.1 Classe de precipitação chuvisco

Analisando a classe de chuvisco, observou-se no dendrograma (Figura 15), a formação de dois grupos bem distintos, o primeiro grupo $G1 = (17, 18, 20, 2, 11, 12, 7, \text{ e } 9)$ cada estação possui em média um total acumulado de chuvisco de 134,7 mm/ano, enquanto as do segundo grupo $G2 = (1, 6, 19, 5, 3, 15, 21, 14, 16, 8, 4, 10 \text{ e } 13)$ em média 99,8 mm/ano (Figura 15). Com isso, nota-se uma diferença de, aproximadamente 26% nos totais médios entre os grupos. Percebeu-se que as estações, que apresentaram os menores valores médios de precipitação acumulada por estação situam-se regiões mais extremas da metrópole, ou seja, a nordeste, extremo norte, extremo noroeste e parte da região central (Figura 16).

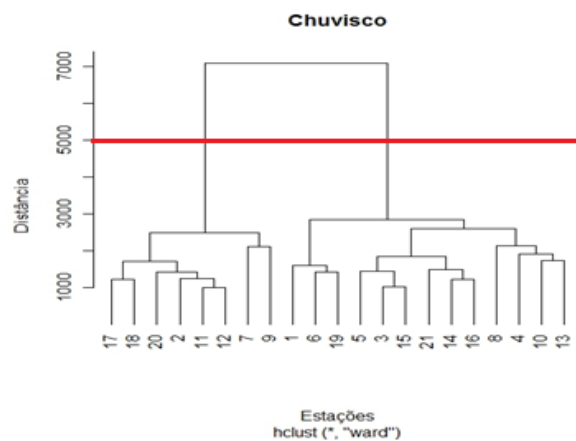


Figura 15: Dendrograma do total de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor.

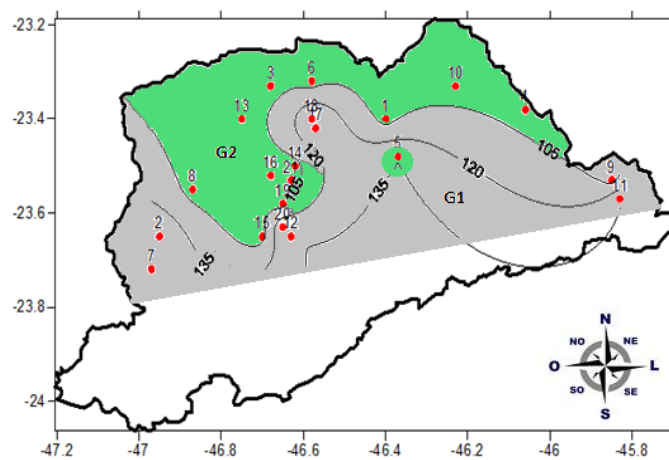


Figura 16: Isolinhas do total médio anual de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor, 2011.

4.2.1.2 Classe de precipitação moderada

Para a classe moderada (Figura 17), apesar da formação de dois grupos com características distintas, o primeiro G1 = (13, 8 e 17), com acumulado médio por estação inferior a 565 mm/ano, e, o segundo G2 = (1, 5, 4, 9, 18, 6, 19, 11, 2, 7, 12, 10, 16, 20, 21, 14, 3 e 15), com acumulado médio por estação superior 575 mm/ano, verificou-se uma variação espacial pouco significativa nos totais médios acumulados por estação. Ou seja, há praticamente uma distribuição regular da precipitação para toda RMSP, com exceção do extremo oeste onde se verificaram os menores acumulados.

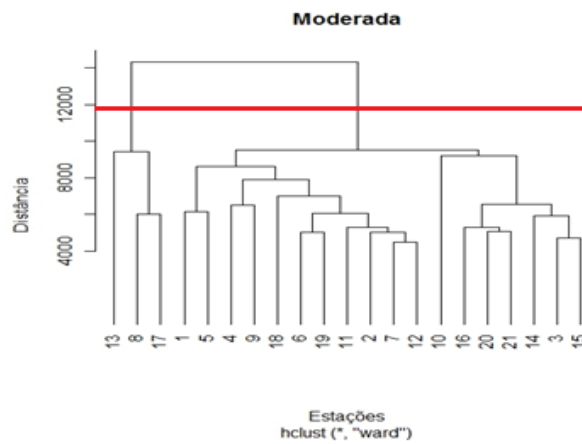


Figura 17: Dendrograma do total de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor, 2011.

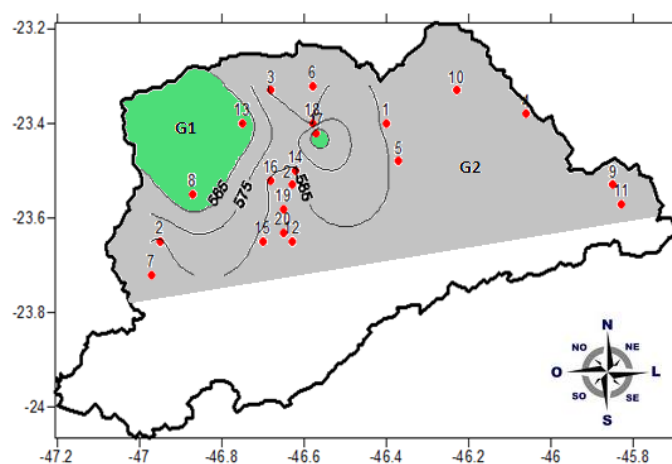


Figura 18: Isolinhas do total médio anual de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor, 2011.

Apenas três estações apresentaram menores totais acumulados nessa classe, foram: duas na região noroeste, Barueri (8) e Perus (13) e outra ao norte, Barrocada (17) em média com um acumulado de 555 mm/ano, enquanto as demais, por volta de 587 mm/ano (Figura 18).

4.2.1.3 Classe de precipitação forte

Na classe de precipitação forte (Figura 19), por haver pouca variação espacial nos totais médios de cada estação, a análise de agrupamento não de grupos bem distintos. Assim sendo, a distribuição das chuvas de 30,0 a 50,0 mm/dia mostrou pouca variação espacial, ou seja, essa classe é bem homogênea para toda a RMS. A partir do dendrograma (Figura 19), foram formados três grupos, o G1 = (9, 11, 4, 10 e 13), o G2 = (17) e o G3 = (21, 1, 5, 2, 7, 14, 6, 19, 3, 18, 8, 20, 12 e 15). Maior atenção merece a estação de Barrocada (17), situada próxima da região central da cidade de São Paulo (Figura 20), que aparece sozinha no agrupamento devido à presença de um acumulado anual médio de aproximadamente 348 mm, destacando-se perante as demais, que, em média, oscilaram entre 274 a 330 mm/ano.

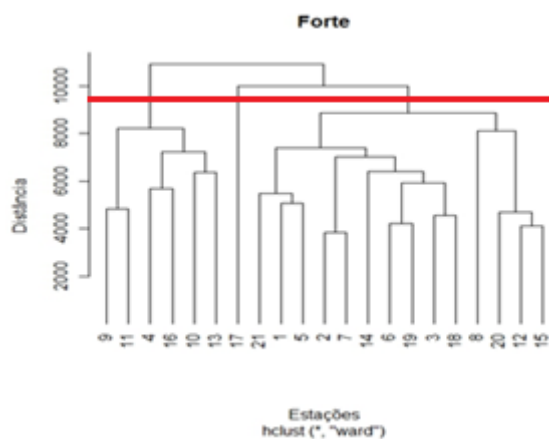


Figura 19: Dendrograma do total de precipitação da classe forte. Fonte: Autor, 2011.

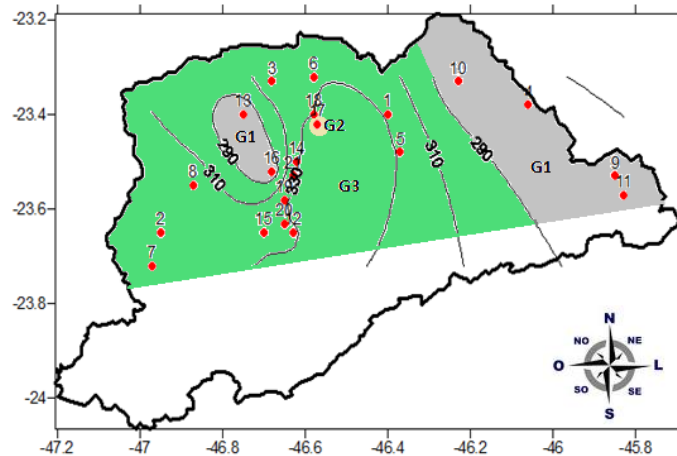


Figura 20: Isolinhas do total médio anual de precipitação da classe forte. Fonte: Autor, 2011.

4.2.1.4 Classe de precipitação muito forte

Na classe muito forte, (Figura 21), surgiram dois grupos bem definidos, sendo o primeiro G1 = (16, 21, 14, 17, 3 e 18) e o segundo G2 = (1, 2, 5, 7, 6, 11, 8, 19, 15, 12, 20, 10, 13, 4 e 9). O primeiro grupo apresentou total médio acumulado de 239 mm/ano, e o segundo grupo, de 168 mm/ano. As estações do G1 estão localizadas mais no centro-norte (Figura 22), com altitude variando entre 730 - 800m (Figura 2). E alguns sistemas produtores de precipitação muito forte podem atuar com maior intensidade, devido a sua localização mais ao norte da Metrópole, onde a umidade oriunda da Amazônia ao adentrar nessa região, pode encontrar condições termodinâmicas favoráveis e ocasionar precipitações muito fortes.

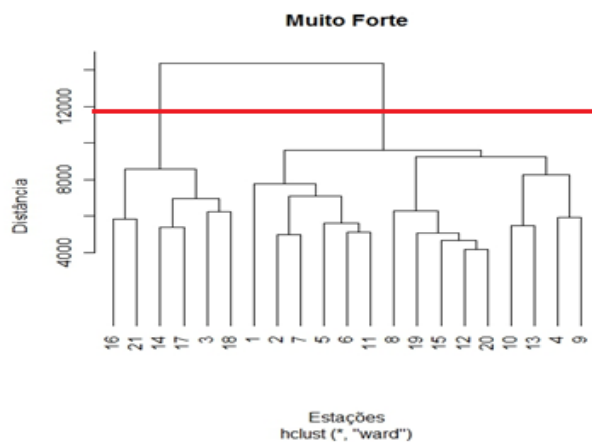


Figura 21: Dendrograma do total de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011.

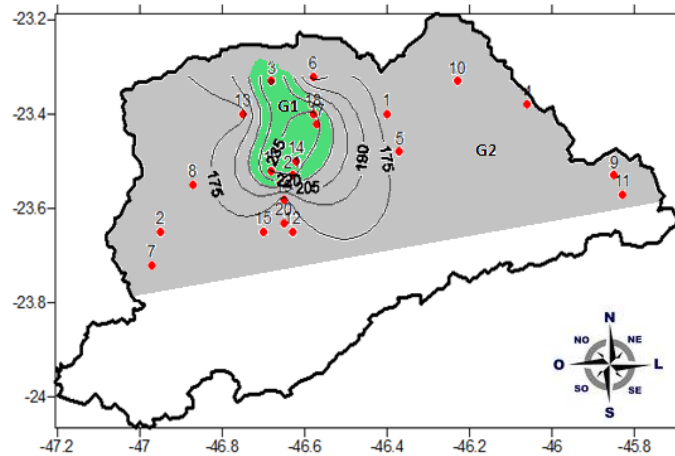


Figura 22: Isolinhas do total médio anual de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011.

4.2.1.5 Classe de precipitação extrema

Na classe de precipitação extrema (Figura 23), notou-se uma configuração interessante, pois as estações (14) do G1 e (8 e 11) do G3, apesar de se situarem em pontos diferentes da Metrópole (Figura 24), são as que apresentaram totais médios de precipitação extrema mais elevados. Por isso, no agrupamento elas aparecem formando grupos isolados. Contudo, vale salientar que essas estações possuem altitudes aproximadas de 780 m (Figura 2). Se os sistemas frontais se deslocam de sul-sudoeste, e as elevações de norte são maiores, então o efeito orográfico pode ser importante.

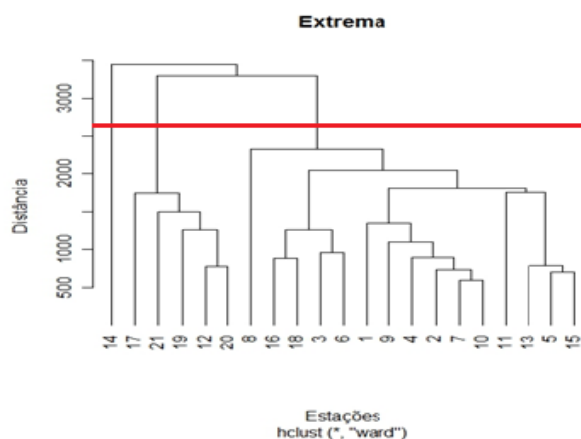


Figura 23: Dendrograma do total de precipitação da classe extrema. Fonte: Autor, 2011.

No entanto, com essa classe não se conseguiu um bom agrupamento, pois apenas três estações se destacaram espacialmente em três pontos, uma mais ao leste, Usina Salesopolis

(11) com o total anual médio de 22,5 mm/ano, outra, próxima a região mais central, Santana (14), registrando 42,7 mm/ano e a última, mais a oeste, Barueri (8) com 30 mm/ano. Enquanto as demais contribuem entre 5 e 26 mm/ano (Figura 24). Portanto essa classe de precipitação contribui em média com muito pouco para o total anual, devido à baixa frequência desses eventos.

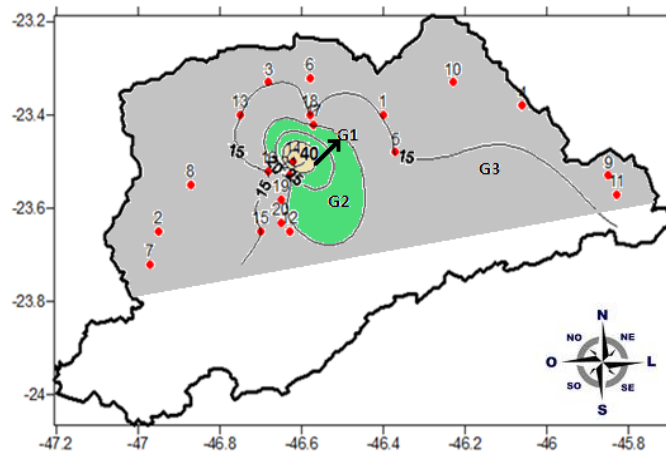


Figura 24: Isolinhas do total médio anual de precipitação da classe extrema. Fonte: Autor, 2011.

No geral, a partir dos agrupamentos, verificou-se que as estações da região central da Metrópole são as que mais contribuem para o total anual em todas as classes. As demais regiões têm contribuições diferentes nas diferentes classes.

4.2.2 Número total de eventos de precipitação no período anual

4.2.2.1 Classe de precipitação chuvisco

Após a análise dos agrupamentos a partir dos totais anuais de cada classe, agora agrupar-se-á com relação ao número total de eventos anuais, para obter o comportamento espacial de cada estação referente a cada classe, se os grupos formados possuem a mesma característica dos agrupamentos realizados pelos totais anuais de cada classe.

Para classe chuvisco (Figura 25) foram formados dois grupos, o primeiro G1 = (11, 15, 16, 9, 10, 8, 19, 4, 5, 3, 13, 14, e 21) e o G2 = (7, 6, 12, 1, 17 e 18). Percebe-se a formação de três

áreas bem homogêneas, duas com número médio de eventos acima de 110 eventos/ano (leste noroeste) e uma abaixo de 85 eventos/ano (Figura 26). Verificou-se pouca similaridade desse agrupamento com o total anual de precipitação (Figura 14), pois nem todas as estações que se agruparam pelos totais anuais das classes, se agrupam pelo número de eventos da mesma classe, só algumas estações do G1, como Barrocada (17), Engordador (18), Cachoeira da Graça (2), Pedro Beicth (7) e IAG (12) permanecem no mesmo grupo G2 (Figura 25). Percebeu-se no G1, que aproximadamente 63% das estações condiz com maior número de eventos. Notou-se também que o G1 apresentou 43% mais número de eventos do que no G2, uma média de 119 casos, contra 68 casos do G1 (Figura 26).

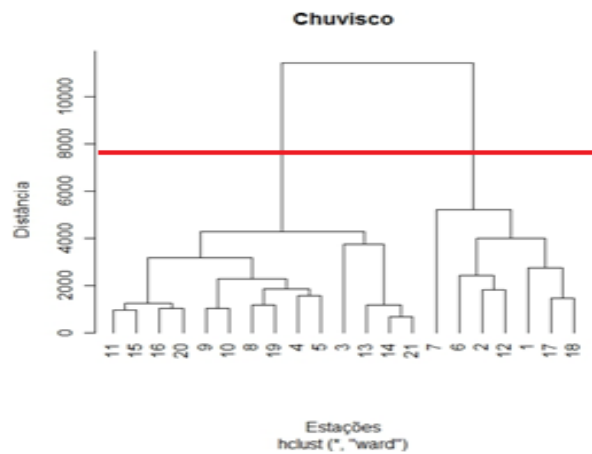


Figura 25: Dendrograma do número de eventos anuais de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor, 2011.

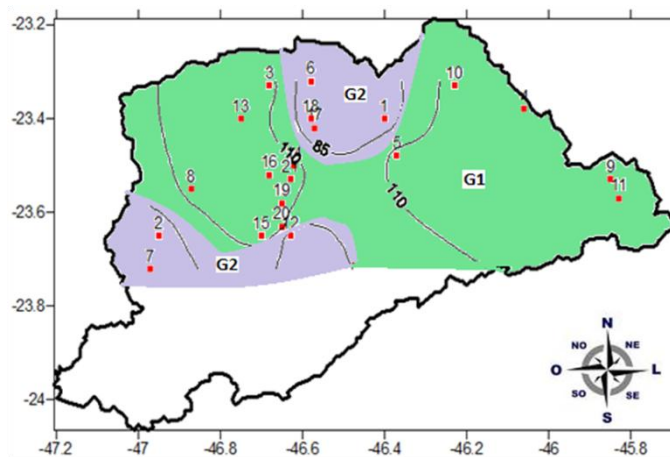


Figura 26: Isolinhas do número médio de eventos anuais de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor, 2011.

4.2.2.2 Classe de precipitação moderada

Para a classe moderada o dendrograma sugere vários grupos (Figura 27) podendo-se optar por dois ou apenas um, por não verificar uma distribuição irregular para o número de eventos. Pois, optando-se por dois grupos verificou-se que tanto G1 = (10, 4, 2, 9, 14, 16, 21, 6, 19, 15, 7, 12, 3, 20, 1 e 5) como o G2 = (13, 8, 17, 11 e 18) apresentam em média de

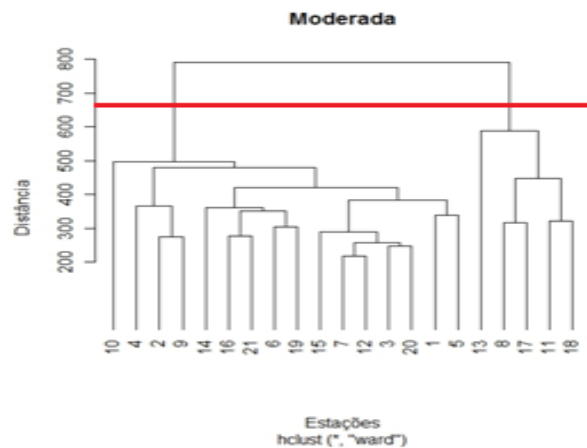


Figura 27: Dendrograma do número de eventos anuais de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor.

33 a 35 eventos por ano nessa classe, sugerindo que os eventos de chuva moderada ocorrem ao mesmo tempo em toda metrópole (Figura 28).

Se compararmos os dois agrupamentos, total anual dessa classe (Figura 18) e o número de eventos, praticamente todas as estações se agrupam, isso pode ocorrer devido a regularidade na distribuição das precipitações dessa classe.

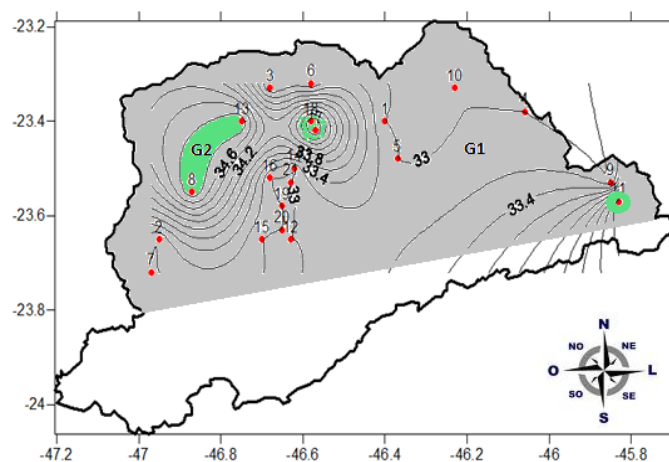


Figura 28: Isolinhas do número médio de eventos anuais de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor, 2011.

4.2.2.3 Classe de precipitação forte

Na classe de precipitação forte, como analisado anteriormente para os totais anuais (Figura 19), nessa classe há pouca variação espacial nos totais médios anuais, o mesmo ocorrendo com relação ao número de eventos, pois variam entre 8 e 9 eventos, em média por ano e por isso os agrupamentos não mostram muita distinção nos grupos formados (Figura 29).

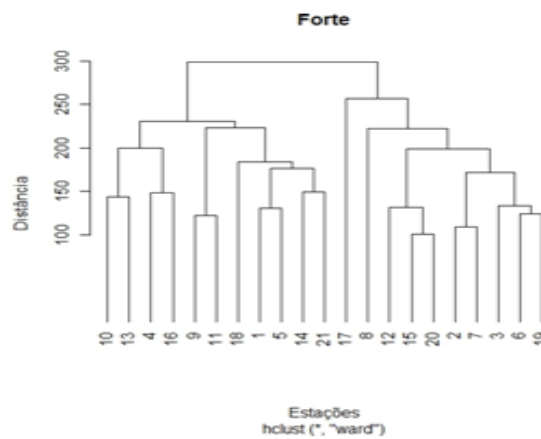


Figura 29: Dendrograma do número de eventos anuais de precipitação da classe forte. Fonte: Autor, 2011.

No entanto, a distribuição espacial (Figura 30) sugere que os eventos de chuva forte são mais evidentes seguindo de oeste (8,6 eventos/ano) para leste (8 eventos/ano).

A distribuição espacial (Figura 30) não apresenta muita distinção entre as estações, pois o número de eventos não sofre variação espacial. Sugerindo que o efeito da topografia para essa classe pode influenciar a quantidade de eventos dessa magnitude, pois mais a oeste a ocorrência de eventos é superior a 8,6 e a altitude pode alcançar 920 m, na parte central a quantidade de eventos diminui para 8,3 e a altitude chega aos 800 m, já na parte leste observa-se a menor ocorrência desse evento (inferior a 8) e altitude variando entre 780 e 660 m (Figura 2).

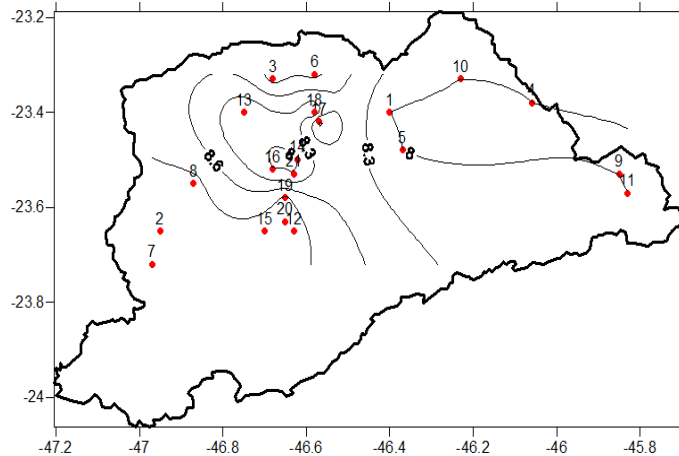


Figura 30: Isolinhas do número de eventos anuais de precipitação forte. Fonte: Autor, 2011.

4.2.2.4 Classe de precipitação muito forte

Para a classe muito forte, verificou-se a formação de dois grupos bem definidos, sendo o primeiro $G1 = (16, 21, 14, 17, 3 \text{ e } 18)$ e o segundo $G2 = (1, 5, 6, 11, 2, 7, 8, 19, 15, 12, 20, 10, 13, 4 \text{ e } 9)$ (Figura 31). Importante notar a similaridade dos grupos pelos totais médios anuais (Figura 21) e número de eventos (Figura 31), pois percebeu-se que as estações possuem o mesmo comportamento no agrupamento, tanto anual quanto no número de eventos.

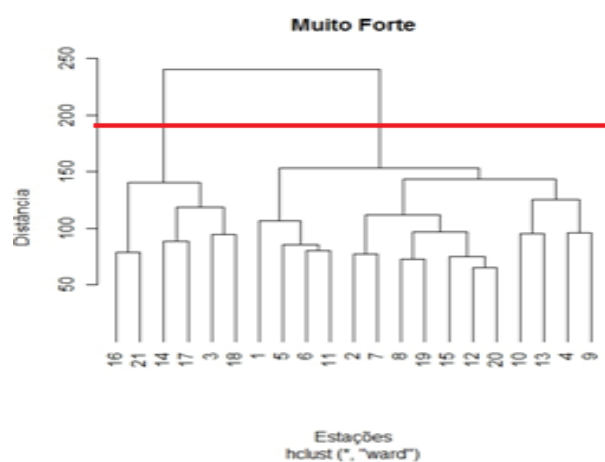


Figura 31: Dendrograma do número de eventos anuais de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011.

As estações do $G1$ apresentam em média entre 3,5 e 4 eventos por ano (região centro-norte), enquanto às do $G2$ em média 3 eventos ao ano (Figura 32). A altitude dessa região

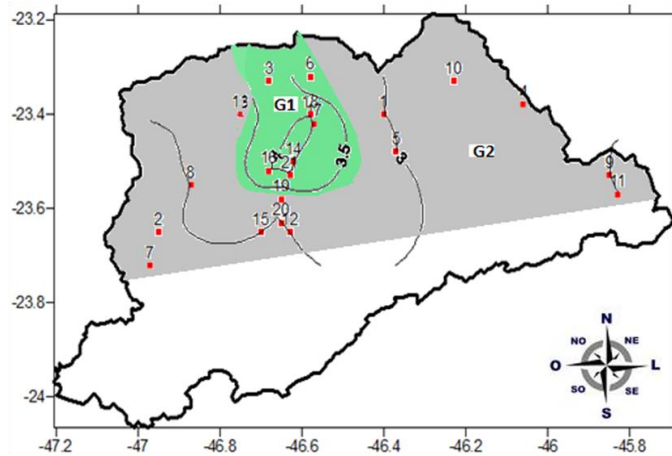


Figura 32: Isolinhas do número de eventos anuais de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011.

varia entre 730 e 800 m de altitude (Figura 2) e a Figura 22 sugere que os eventos de precipitação muito forte ocorrem com mais frequência na região centro-norte.

4.2.2.5 Classe de precipitação extrema

Apesar da baixa frequência de eventos dessa classe, apenas na estação de Santana (14) verificou-se o maior número médio de casos dessa magnitude (0,3 eventos/ano), destacando-se no agrupamento como um grupo isolado, pois o corte do dendrograma sugere três grupos (Figura 33).

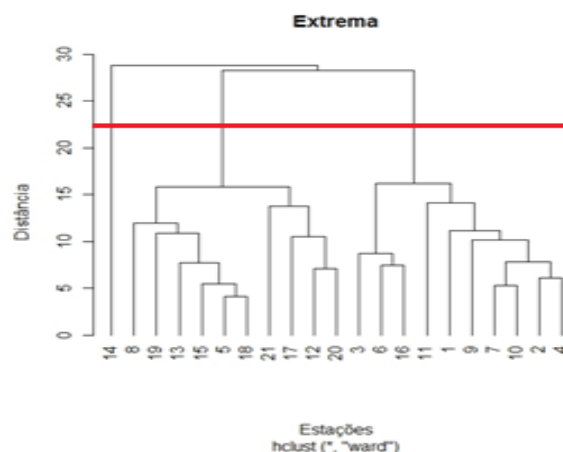


Figura 33: Dendrograma do número de eventos anuais de precipitação extrema. Fonte: Autor, 2011.

Se extrairmos a média anual desses eventos, nenhuma estação se aproxima de “um” evento por ano, portanto, é um evento muito raro ao longo do ano. Posteriormente, analisar-

se-ão os casos dessa classe no período mais chuvoso da região (DJF), onde possivelmente eventos extremos possam ocorrer com mais frequência.

Na Figura 34 verifica-se a localização da estação de Santana (14), muito próximo da região central da metrópole, a qual é totalmente recoberta por asfalto e edificações, que armazena energia ao longo do dia (forçante termodinâmica) que juntamente com a umidade oriunda da Amazônia ou do sistema de brisas, pode instabilizar e alimentar sistemas produtores de chuvas na região, tornando-os mais intensos.

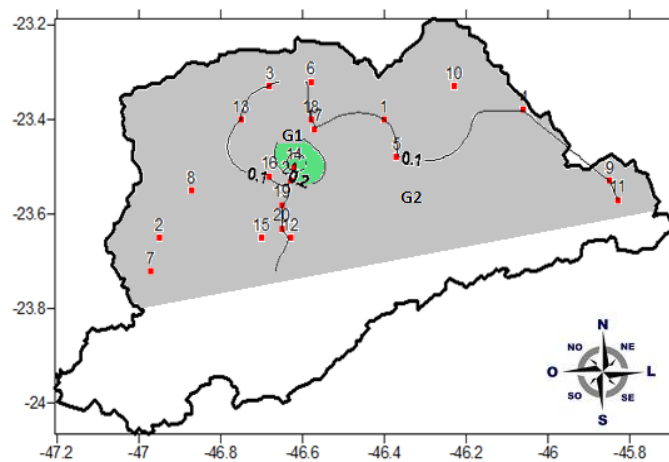


Figura 34: Isolinhas do número de eventos anuais de precipitação da classe extrema. Fonte: Autor, 2011.

4.2.3 Total sazonal acumulado no verão (DJF)

Para o total sazonal (DJF) (Figura 35) percebeu-se um comportamento diferente das estações, comparadas ao agrupamento do total anual, pois observou-se uma distinção evidente entre as estações, formando-se quatro grupos, sendo o primeiro composto pelas estações G1 = (16, 21, 3, 6, 14, 1 e 5), o segundo G2 = (17, 13, 8 e 10), o terceiro G3 = (18) e o quarto G4 = (2, 7, 12, 19, 15, 20, 4, 9 e 11). A estação do G3 (Engordador) (18), região centro-norte foi a que apresentou maior total médio sazonal acumulado, aproximadamente 709 mm/ano, seguido das estações do G1 com aproximadamente 650 mm/ano, G2 por volta de 600 mm/ano e do G4 com 588 mm/ano, os demais grupos não apresentam homogeneidade espacial (Figura 36).

Assim como nos totais anuais os totais sazonais também se comportam de forma similar, onde, à medida que se aproxima da região centro-norte, os totais acumulados tornam-se maiores (709 mm/ano) do que nas áreas periféricas da metrópole (590 mm/ano) (Figura

36), sugerindo mais uma vez que a impermeabilização do solo pode gerar calor suficiente para condensar umidade sobre a região, gerando precipitação, como também o relevo pode influenciar os totais pluviométricos.

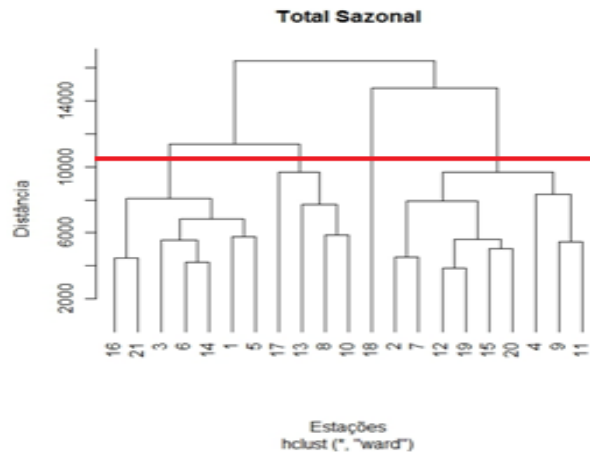


Figura 35: Dendrograma do total sazonal (Dezembro, Janeiro, Fevereiro). Fonte: Autor, 2011.

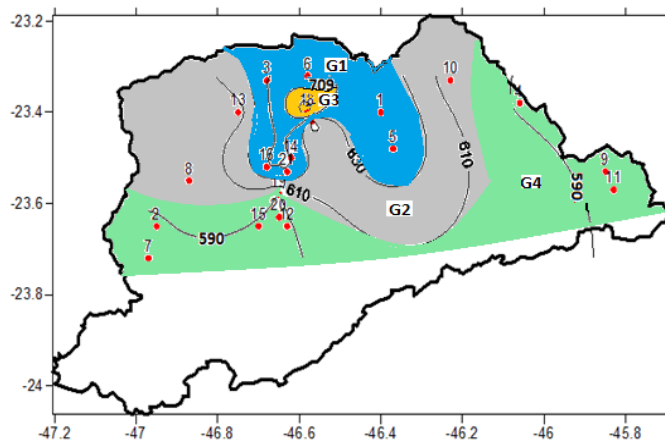


Figura 36: Isolinhas do total sazonal (Dezembro, Janeiro, Fevereiro). Fonte: Autor, 2011.

Em seguida, será agrupado o total sazonal nas cinco classes de precipitação (Tabela 4) para verificar qual o melhor agrupamento e qual região possui maior similaridade na atuação de cada classe.

4.2.3.1 Classe de precipitação chuvisco

Para a classe chuvisco (Figura 37) sugere-se dois grupos bem definidos, o primeiro composto pelas estações G1 = (2, 20, 3, 12, 10, 15, 5, 11, 17, 18, 6, 7 e 9) com valores

médios maiores que 40 mm/ano em regiões mais concentradas ao extremo norte, oeste e extremo leste e algumas na região central. Já o segundo G2 = (8, 1, 19, 4, 14, 16, 13 e 21) apresentou, em média um número menor cerca de 32 mm/ano, registrados nas estações a noroeste, parte central e nordeste da metrópole (Figura 38).

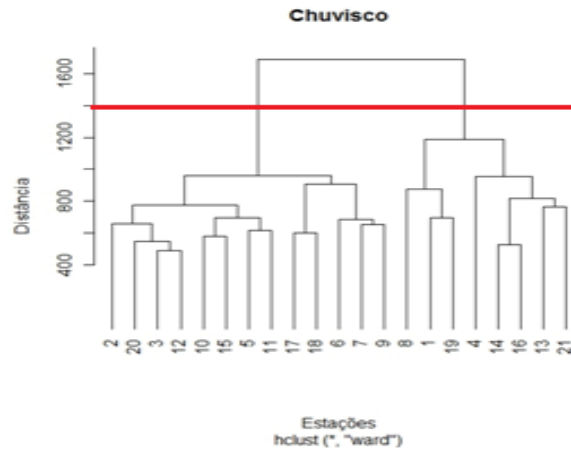


Figura 37: Dendrograma do total sazonal de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor, 2011.

Essa classe mostrou-se com grande variação espacial dos totais da classe, pois não existe uma região homogênea e sim pontos distintos pela metrópole. Pode ser que haja interferência do aquecimento diferencial da superfície das regiões e por se tratar de uma chuva leve, pode intervir na quantidade acumulada, pois o calor gerado pelo aquecimento da superfície pode ir de encontro à gota de chuva e fazer com que atenuie sua incidência ao solo.

Apesar da diferença quantitativa ser pequena, o G1 possui maior número de estações, podendo assim contribuir mais para o total médio dessa classe.

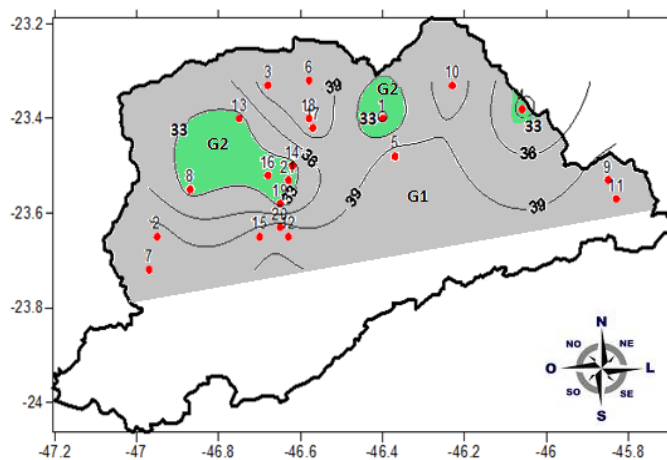


Figura 38: Isolinhas do total médio sazonal de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor, 2011.

4.2.3.2 Classe de precipitação moderada

Para a classe moderada (Figura 39), também verificou-se dois grupos, no entanto, não se evidencia uma diferença significativa no agrupamento, ou seja, as estações dispostas possuem pouca variação nos totais médios sazonais, o G1 = (16, 3, 14, 12, 20, 7, 15, 19 e 21) com um total médio de 242 mm/ano, enquanto o G2 = (2, 9, 11, 4, 6, 13, 17, 1, 5, 18, 8 e 10) com 250 mm/ano. Assim como no agrupamento pelos totais anuais, essa classe de precipitação se comporta de maneira regular em todas as estações estudadas da RMSP (Figura 40), ou seja, uma precipitação moderada ($10,0 < Mo < 30,0$ mm) atinge toda a metrópole de forma regular.

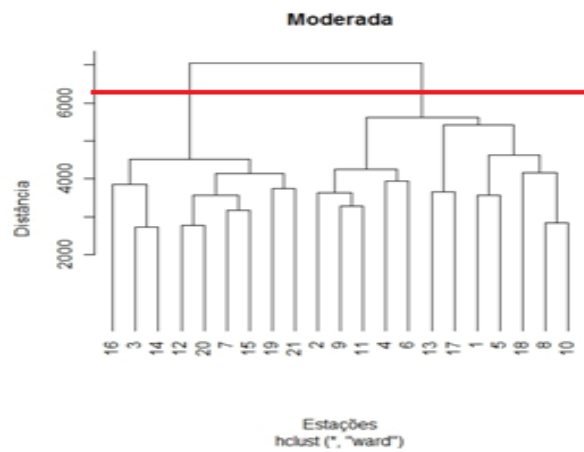


Figura 39: Dendrograma do total sazonal de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor, 2011.

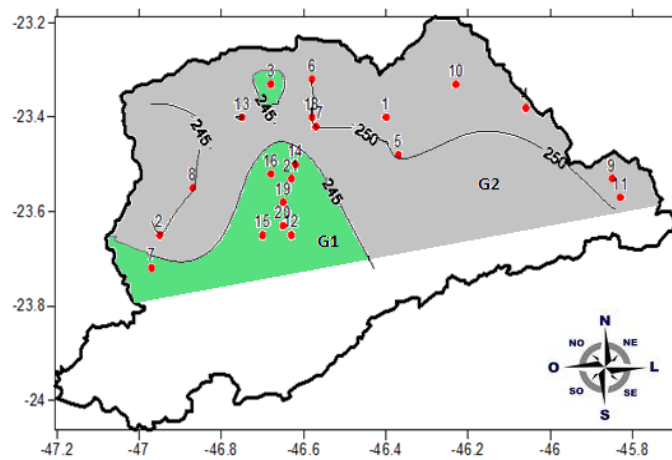


Figura 40: Isolinhas do total médio sazonal de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor, 2011.

4.2.3.3 Classe de precipitação forte

Comparando o agrupamento dos totais anuais (Figura 19) com os totais sazonais (Figura 41) verifica-se uma similaridade dos grupos, G1 dos totais anuais só difere dos totais sazonais pela presença da estação 10 no G1 (totais anuais) (Figura 19). A diferença também é quantitativa, pois, um agrupamento é para o período anual e o outro é sazonal, para essa estação, o acumulado anual é de aproximadamente de 307 mm/ano e no sazonal de 248 mm/ano. De maneira geral, analisando essa classe anualmente ou sazonalmente, não apresenta-se verifica muita variação entre as estações no acumulado nas chuvas dessa magnitude, ou seja, todas apresentam características similares na distribuição dessa classe de precipitação.

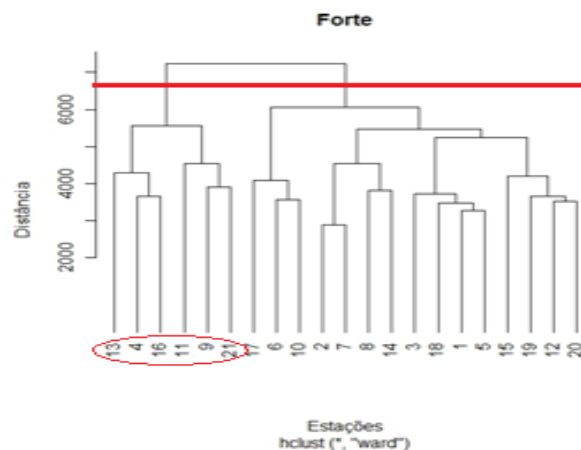


Figura 41: Dendrograma do total sazonal de precipitação da classe forte. Fonte: Autor, 2011.

Analisando a Figura 42 percebeu-se um aumento nos totais partindo das regiões periféricas em direção a região centro-norte e noroeste da metrópole (Figura 42). Isso pode ocorrer, mais uma vez ressaltando, que a concentração de calor na região mais central, em conjunto com o sistema de brisas podem influenciar no mecanismo de produção das precipitações, como também o relevo.

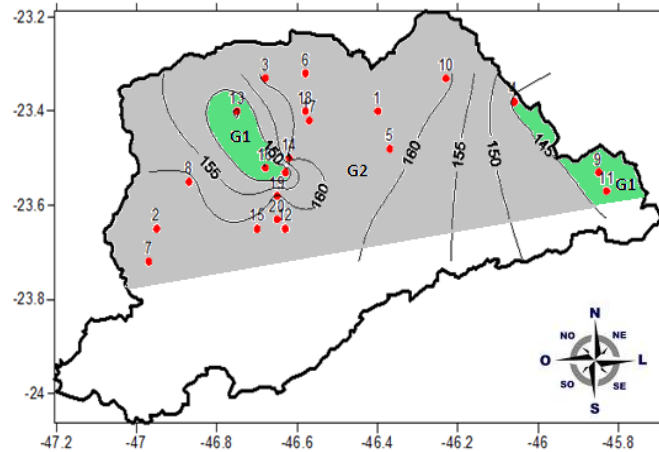


Figura 42: Isolinhas do total médio sazonal de precipitação da classe forte. Fonte: Autor, 2011.

4.2.3.4 Classe de precipitação muito forte

Para a classe de precipitação muito forte, o corte do dendrograma sugere três grupos distintos (Figura 43), sendo o primeiro G1 = (2, 7, 4, 9, 14, 12, 12, 8, 15 e 19), o segundo G2 = (21) e o terceiro G3 = (11, 6, 10, 1, 17, 3, 18, 16, 5 e 13). Uma atenção especial no agrupamento encontra-se no G2, onde apenas a Estação da Luz (22), situada na região central da metrópole (Figura 44), destaca-se diante as demais. Isso devido ao total médio acumulado nessa classe no período sazonal de aproximadamente 166 mm/ano, sugerindo grande importância na contribuição para o total anual. Diferente do G1 que registra um acumulado médio sazonal de 116 mm/ano e o G3 de aproximadamente 85 mm/ano.

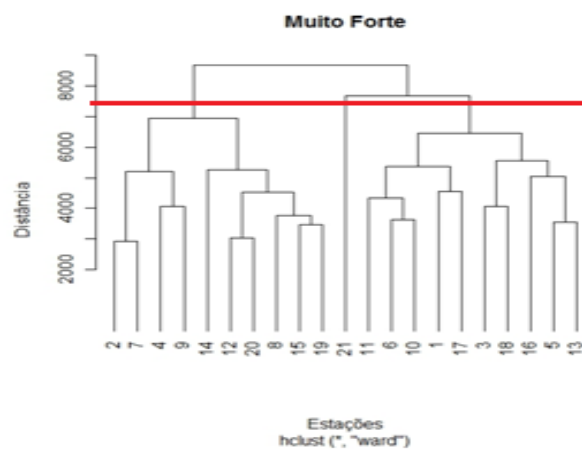


Figura 43: Dendrograma do total sazonal de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011.

A Figura 43 mostra que a região que possui o segundo maior acumulado médio por estação, está compreendida na porção de nordeste, centro-norte e a noroeste da metrópole e as que apresentaram menores registros concentraram-se a oeste e centro-leste da metrópole (Figura 44).

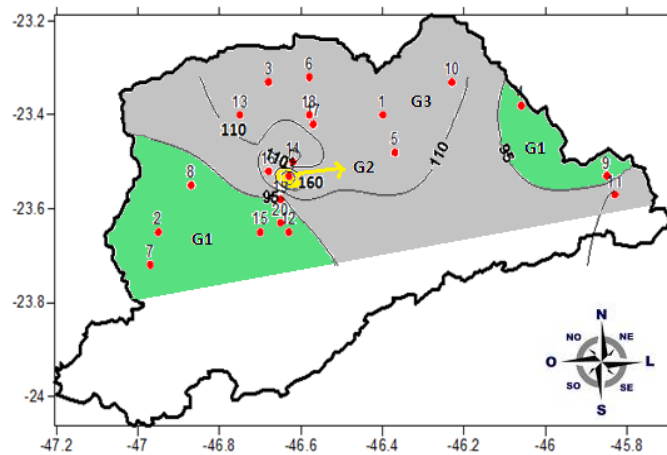


Figura 44: Isolinhas do total médio sazonal de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011

4.2.3.5 Classe de precipitação extrema

Na classe extrema (Figura 45), verificam-se cinco grupos G1 = (14), G2 = (1, 6, 8, 21, 3 e 16), G3 = (20, 17 e 18), G4 = (19, 5 e 13) e G5 = (9, 11, 4, 12, 15, 10, 2 e 7). Observou-se grande variação entre os grupos de estações. A distribuição dessa classe é bastante irregular, por acontecerem poucos eventos, e além de dificilmente ocorrer eventos seguidos em todos os anos, como sugerem os dados das estações usadas na elaboração desse estudo. Dos cinco grupos formados, apenas a estação de Santana (14) (localizada próximo a região central da metrópole) detém do maior regime médio com 32,6 mm/ano de contribuição para o total sazonal. O grupo que apresentou o menor índice de contribuição dessa classe para o total sazonal, foi o G5 onde em média cada estação contribui com 7,1 mm/ano. A maioria das estações inseridas nesse grupo está localizada nos extremos-norte, nordeste e leste, sendo apenas duas na região central, são elas: IAG (12) e Santo Amaro (15) (Figura 46).

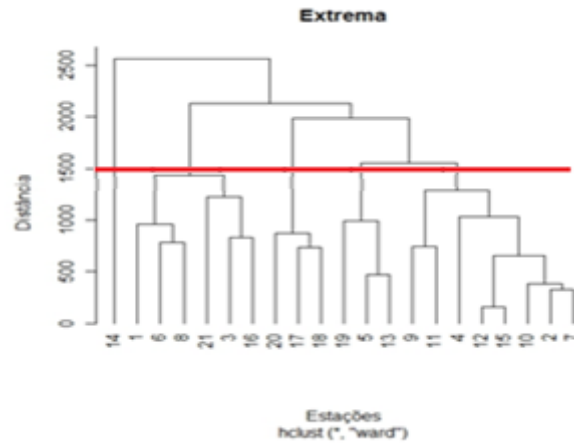


Figura 45: Dendrograma do total sazonal de precipitação da classe extrema. Fonte: Autor, 2011.

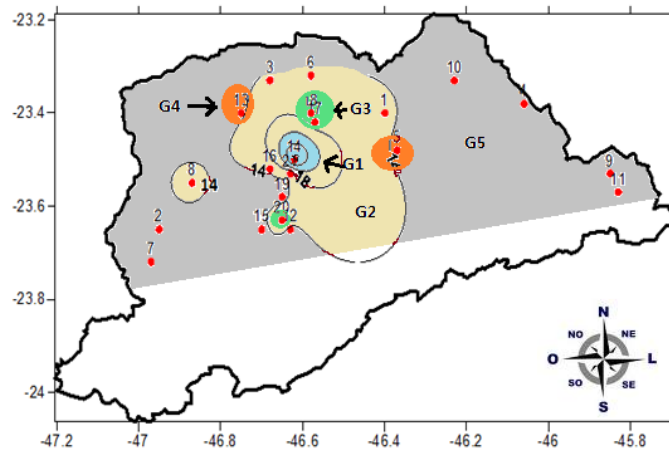


Figura 46: Isolinhas do total médio sazonal de precipitação da classe extrema. Fonte: Autor, 2011.

4.2.4 Número de eventos das classes de precipitação no período sazonal

4.2.4.1 Classe de precipitação chuvisco

Definiu-se três grupos a partir do dendrograma, para a classe chuvisco (Figura 47), G1 = (7 e 17), com o maior número médio de eventos no período (cerca de 34 eventos/ano), o segundo G2 = (3, 14, 16, 13 e 21) com 17 eventos/ano e o terceiro grupo G3 = (11, 10, 9, 19, 5, 8, 15, 4, 18, 1, 6, 2, 12 e 20) contabilizou aproximadamente 22 eventos/ano.

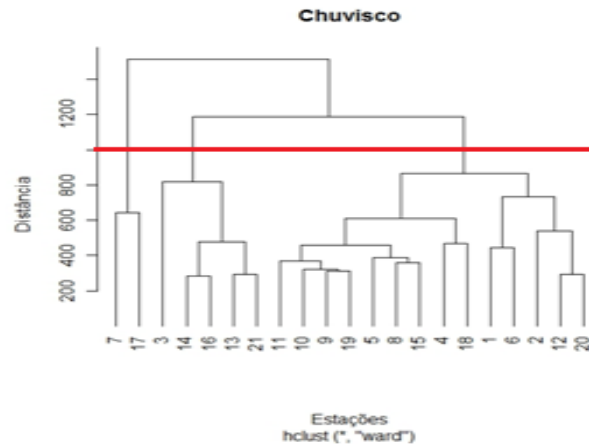


Figura 47: Dendrograma do número de eventos sazonal de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor, 2011.

As estações do G1 (destaque no agrupamento) possuem localização geográfica bem distinta, pois a estação de Pedro Beith (7) (município de Cotia) localiza-se mais a oeste e de Barrocada (17) na região centro-norte da metrópole. Diferente das estações do G2 que possuem espacialização mais homogênea (Figura 48). A região centro-norte possui maior representatividade na ocorrência dos eventos de chuvisco, em média cada estação (entre 25 e 34 eventos/ano), já as regiões mais periféricas representam um menor número de eventos (inferior a 23 eventos/ano).

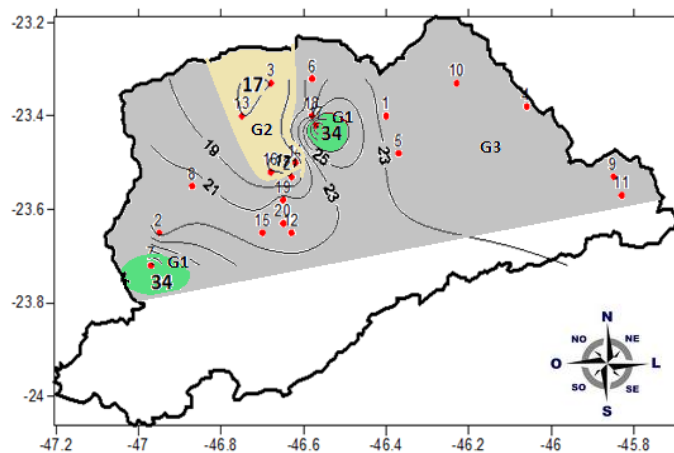


Figura 48: Isolinhas do número de eventos sazonal de precipitação da classe chuvisco. Fonte: Autor, 2011.

4.2.4.2 Classe de precipitação moderada

Na classe moderada (Figura 49) sugere-se a formação de dois grupos: G1 = (16, 3, 14, 12, 20, 15, 21, 7 e 19) e G2 = (6, 1, 5, 4, 2, 9, 11, 18, 8, 10, 13 e 17), a partir do dendrograma.

Verificou-se que não houve variação no número médio de eventos da classe moderada, devido ambos contabilizarem em média cerca de 13,6 e 14 eventos/ano no período sazonal, mostrando pouca variação espacial na distribuição do número médio de eventos/ano no período sazonal de cada estação (Figura 50). Percebeu-se que a região onde há uma maior distribuição do total acumulado de precipitação da classe moderada (Figura 40) condiz com a mesma região quando distribuídos o número de eventos da classe (Figura 50).

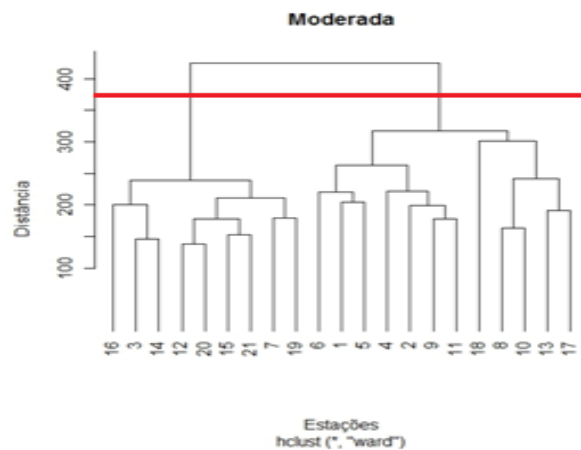


Figura 49: Dendrograma do número de eventos sazonais de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor, 2011.

A região central também condiz com menor total acumulado e menor distribuição do número de eventos. A espacialização dos dados sugere que há uma pequena variação espacial no número de eventos por cada grupo, G1, na região centro sul da RMSP, em média com 13,6 eventos/ano e G2 com 14,1 eventos/ano (Figura 50).

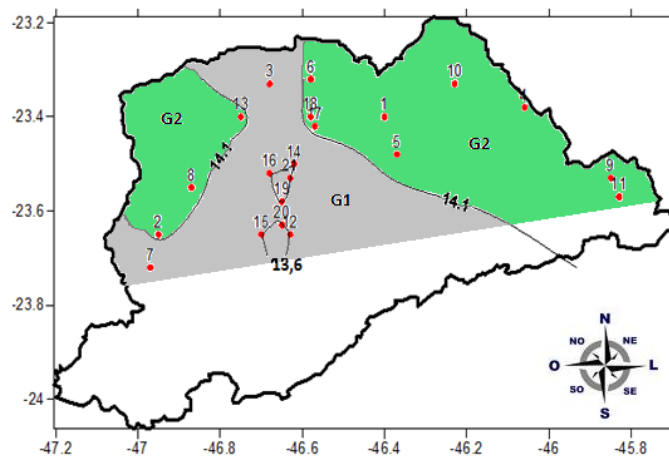


Figura 50: Isolinhas do número de eventos sazonais de precipitação da classe moderada. Fonte: Autor, 2011.

4.2.4.3 Classe de precipitação forte

Na classe forte (Figura 51) verificou-se três grupos o $G1 = (17, 6, 10, 14, 3 \text{ e } 8)$, $G2 = (15, 21, 1, 5, 2, 7, 12, 19 \text{ e } 20)$ e $G3 = (13, 4, 16, 18, 9 \text{ e } 11)$. Para essa classe o número médio sazonal de eventos por ano, em cada grupo, não ultrapassa 5 eventos/ano. Poucas estações permanecem agrupadas tanto no total sazonal quanto no número de eventos, ou seja, nessa classe de precipitação, nem sempre o maior total corresponde ao maior número de eventos. Isto é, como a classe possui um limiar entre 30 e 50 mm/dia em algumas estações pode ter maior acúmulo com menor número de eventos.

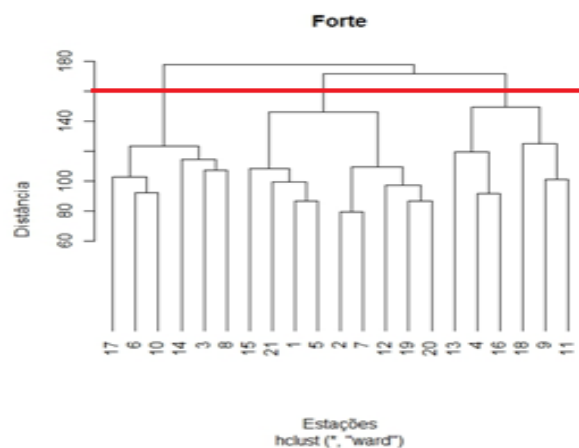


Figura 51: Dendrograma do número de eventos sazonais de precipitação da classe forte. Fonte: Autor, 2011.

Comparado a classe moderada (Figura 49), essa também não possui muita variação espacial, pois os grupos formados não possuem uma heterogeneidade, com número de eventos sazonais variando entre 4 e 4,2 eventos/ano (Figura 52).

Sugerindo que quando ocorre chuva forte atinge de forma homogênea toda a RMSP.

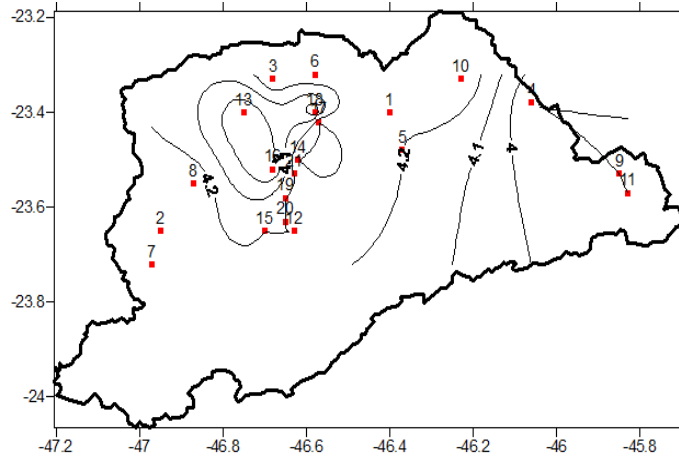


Figura 52: Isolinhas do número de eventos sazonais de precipitação da classe forte. Fonte: Autor, 2011.

4.2.4.4 Classe de precipitação muito forte

Para a classe muito forte (Figura 53) observou-se dois grupos (G1 = (5, 13, 12, 20, 15, 8, 19, 2, 7, 4, 9 e 11) e G2 = (18, 16, 21, 14, 1, 17, 3, 6 e 10)). O G1 contabiliza uma média de 1 evento a cada ano, enquanto o G2 contabiliza 2 eventos/ano.

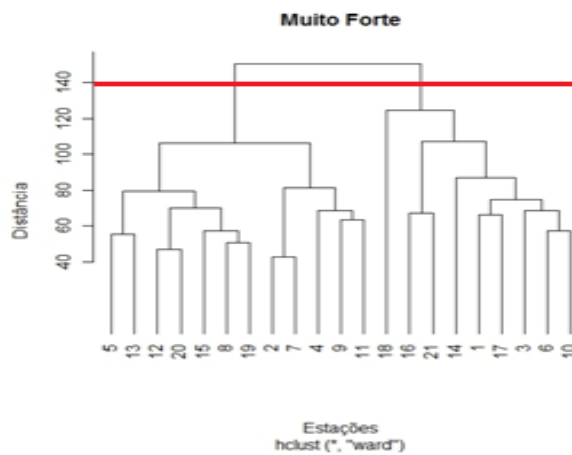


Figura 53: Dendrograma do número de eventos sazonais de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011.

A precipitação muito forte possui um limiar que varia entre 50,0 e 99,0 mm/dia, no entanto, poucas estações situam-se no mesmo grupo quando comparam-se os agrupamentos dos totais médios sazonais (Figura 43) e número de eventos para essa classe (Figura 53), pois, pode ter ocorrido um acumulado menor num maior número de casos. Então, as estações não permaneceram nos mesmos grupos.

Percebe-se no mapa (Figura 54) que as estações formadas em cada grupo possuem comportamento homogêneo. Sendo um primeiro grupo formado mais na porção centro-norte da metrópole e o segundo distribuído de leste a oeste. Sugerindo que os eventos de chuva muito forte ocorrem mais na região centro-norte e nordeste da metrópole.

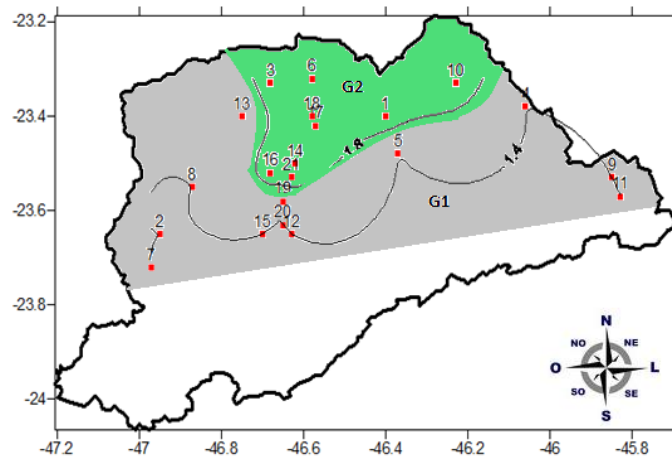


Figura 54: Isolinhas do número de eventos sazonais de precipitação da classe muito forte. Fonte: Autor, 2011.

4.2.4.5 Classe de precipitação extrema

Para a classe de precipitação extrema (Figura 55) verificou-se três grupos (G1 = (13, 12, 15, 10, 2, 7, 1, 6, 5, 8, 9, 11, 3, 16, 4 e 18), G2 = (14) e o G3 = (17, 20, 19 e 21). Nenhuma estação contabiliza em média 1 evento a cada ano e sim 0,1 para o G1 e G3 e 0,3 para o G2. Portanto, não existe um número de casos, seja na análise anual ou sazonal, que se aproxime de 1 evento/ano, pois essa classe de precipitação é realmente denominada de evento extremo, isto é, não é comum a contagem de eventos dessa magnitude, tornando-se assim um evento muito raro de ocorrer com frequência, mesmo no período mais chuvoso da região.

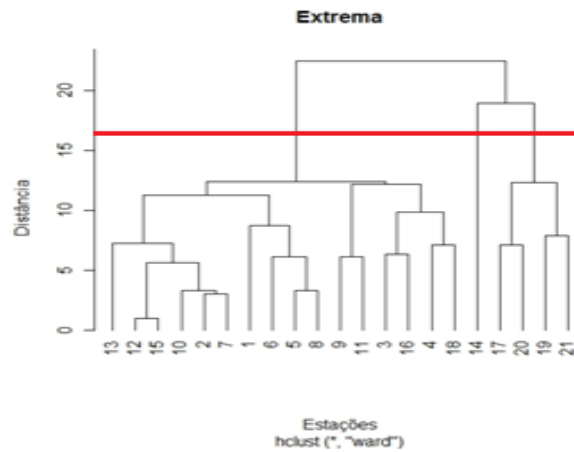


Figura 55: Dendrograma do número de eventos sazonal de precipitação da classe extrema. Fonte: Autor, 2011.

Por mais que ocorram poucos eventos durante o ano, essa classe, em média, possui um maior número de eventos na região mais central, comparado a periferia da metrópole (Figura 56), similarmente ocorre com os totais anuais (Figura 34) sugerindo que tanto no período anual quanto sazonal, o número de eventos dessa classe possui maior concentração na região central da metrópole.

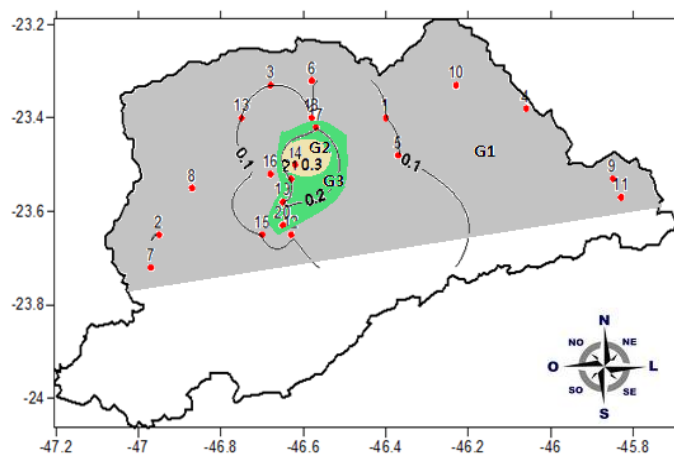


Figura 56: Isolinhas do número de eventos sazonal de precipitação da classe extrema. Fonte: Autor, 2011.

No próximo item se discutirá a análise de tendência das séries de precipitação, principalmente a classe chuvisco e moderada, por serem classes que aparecem com frequência na série de dados. A reta de tendência e o teste de significância de Mann-Kendall serão analisados.

4.2.5 Aplicação do teste de tendências de Mann-Kendall - MK

O teste de tendência de Mann-Kendall (significativo (crescente ou decrescente) se ultrapassar os valores críticos de $\pm 1,96$) foi aplicado para verificar se há tendência nas séries de precipitação do total anual e sazonal e para os grupos de estações, formados pela análise de agrupamento no número de eventos anual e sazonal.

4.2.5.1 Mann-Kendall para o total anual e sazonal

A análise do teste de tendência para o total anual hidrológico sugere tendência não significativa para várias estações, podendo ser observado melhor ao adicionar as linhas de tendência aos gráficos (Figura 57 I, II,..., XXI, APÊNDICE A), devido não alcançarem os valores críticos necessários para mostrar significância no teste. Diante disso apenas 9 estações mostraram tendência significativa (Tabela 10), dessas a maioria localiza-se na região central e um pequeno grupo mais a oeste.

No agrupamento do total anual as estações Barrocada (17) e Engordador (18) (Figura 14), região mais ao norte, apresentam tendência crescente significativa nos totais anuais (Tabela 10). Verificou-se também que a leste e oeste da metrópole as estações mostram tendência crescente, a partir da linha de tendência, não sendo significativa ao teste de MK.

Na região central, a Estação da Luz (21) possui uma série de dados maior que 100 anos, aplicado o teste MK observou-se que não há tendência crescente significativa, pois o valor de $MK = 1,198$ não ultrapassou o valor crítico ($\pm 1,96$). Já a estação do IAG/USP mostra tendência crescente, $MK = 3,231$. Analisando a linha de tendência da estação do IAG (12) (Figura 57 XII, APÊNDICE A), verificou-se, a partir dos anos de 1976/1977 (período de transição da fase fria da ODP para a fase quente) um aumento no total acumulado até 2003/2004, final da série.

Muitas estações apresentaram tendência crescente não significativa, mostrando um acréscimo nos totais acumulados no período da fase quente (1977 a 1998) da ODP quando comparados à fase fria (1947 a 1976). No ano de 1983, ano do grande El-Niño, foram registrados os maiores acúmulos em quase todas as estações (Figura 57 XII, APÊNDICE A). Segundo a literatura, muitos autores afirmam que eventos de El-Niño não são os principais

responsáveis pelo aumento nos totais acumulados na região, o que aconteceu naquele ano em específico foi uma situação de bloqueio atmosférico provocado pela influência da Alta a Bolívia sobre a região, além da grande instabilidade que existia sobre a região e conseqüentemente grande potencial termodinâmico provocado pelo aquecimento da superfície da metrópole, que juntamente com a umidade contribuiu para o aumento das precipitações daquele ano.

Com relação ao total sazonal (Tabela 10) apenas 4 estações mostraram tendência crescente significativa (Santo Amaro (15), IAG (12) e Instituto Biológico (19) na região central, e Franco da Rocha (3) na região mais ao norte), sendo que muitas estações também mostram tendência de aumento, no entanto, não significativo ao teste de MK (Figura 58 I, II, ..., XXI, APÊNDICE B).

Tabela 10: Resultado do teste de tendência e dos coeficientes da reta para total anual e sazonal. Sendo (X) para tendência crescente significativa e (-X) para decrescente significativa.

Estações	Total anual			Total sazonal verão (DJF)		
	Nº	Coef/MK	Tendência	Coef/MK	Tendência	
Guarulhos	1	MK	-0,197	MK	-1,309	
C.G.- Cotia	2	MK	0,549	MK	0,000	
Franco da Rocha	3	MK	3,858	X	MK	2,051 X
Guararema	4	MK	-0,149		MK	-0,635
Itaquaquecetuba	5	MK	1,294		MK	0,187
Mairiporã	6	MK	0,847		MK	0,585
Pedro Beicht	7	MK	0,847		MK	0,423
Barueri	8	MK	0,547		MK	1,315
Salesópolis	9	MK	0,695		MK	0,440
Santa Isabel	10	MK	2,592	X	MK	1,088
U. Salesópolis	11	MK	1,651		MK	0,270
IAG	12	MK	3,231	X	MK	2,914 X
Perus	13	MK	3,041	X	MK	1,607
Santana	14	MK	2,446	X	MK	1,196
Santo Amaro	15	MK	3,016	X	MK	2,773 X
Água Branca	16	MK	1,185		MK	0,860
Barrocada	17	MK	1,996	X	MK	0,867
Engordador	18	MK	2,809	X	MK	0,537
I. Biológico	19	MK	4,388	X	MK	3,508 X
C. Aeroporto	20	MK	0,922		MK	0,496
Estação da Luz	21	MK	1,198		MK	1,479

Fonte: Autor, 2011.

Os resultados sugerem que, o que ocorre com duas estações situadas na região mais central da metrópole, IAG (12) e Estação da Luz (21), comprovam os resultados de obtidos por Xavier et al (1992), os quais mencionam fraca tendência positiva apenas para a estação do IAG para o período mais chuvoso da região. Já para Estação da Luz, não encontraram qualquer tendência significativa. No entanto, atualmente não se percebe qualquer alteração com relação ao aumento nos totais do período mais chuvoso da região (DJF). Então o que está se notando, até o final do período deste estudo (ano 2004), pode não estar relacionado a alguma mudança climática, pois os totais mensais na maioria das estações, não estão mostrando aumento significativo, o que pode estar ocorrendo é o incremento do número de episódios de chuvas intensas estarem atuando com maior frequência, tanto no período anual quanto sazonal, confirmando os resultados de Monteiro (1986), que a partir de um estudo envolvendo a cidade de São Paulo, mostrou que não são suficientemente claros os sinais de aumento da precipitação, especialmente em termos dos valores (médios) anuais e sim um aumento em termos de aguaceiros episódicos.

Portanto, percebeu-se que existe tendência crescente significativa num maior número de estações para o período anual, do que para o período sazonal, mostrando que nem sempre o período mais chuvoso terá maior representatividade nas precipitações que geram maior acumulado.

Foi observado um resultado importante nos dois períodos, ou seja, as estações de Santo Amaro (15), IAG (12) e Instituto Biológico (19) na região central, e Franco da Rocha na região mais ao norte apresentaram tendência crescente significativa tanto para o período anual, quanto para o período sazonal (Tabela 10). Isso pode acontecer devido à ocorrência e/ou frequência de eventos de precipitação intensa e isolados, nessas regiões da metrópole e em anos atípicos (anômalos) tanto no decorrer do ano, quanto no período mais chuvoso. Notou-se que há alguma influência direta nas precipitações mais intensas que contribuem com maior parcela para os totais anuais e sazonais, pois, existem mecanismos que influenciam diretamente essas precipitações ao longo do ano, fora do período mais chuvoso. Mostrado pela maior quantidade de estações com tendências significativa crescente para os totais acumulados no período anual, do que para os totais acumulados no período sazonal. Então, essa influência pode ser termodinâmica (aquecimento urbano, ação antrópica), topográfica, maior atuação e intensificação do sistema de brisas em diferentes épocas do ano, maior presença de umidade em épocas diferentes ao longo ano, ou se a conexão de todos esses fatores, juntamente com as condições atmosféricas, regional ou local.

4.2.5.2 Mann-Kendall aplicado ao número de eventos de precipitação no período anual nas classes: chuvisco, moderada e acima de 30 mm/dia.

Analisando a classe chuvisco, verificou-se que mais a oeste da metrópole (estação de Pedro Beicht (7) município de Cotia) encontrou-se o maior número (médio) de eventos (por volta de 182 eventos/ano), de todas as estações analisadas. Apesar dessa quantidade expressiva de eventos, essa estação mostra uma linha de tendência decrescente quanto ao número de eventos ao longo dos anos (Figura 59 VII, APÊNDICE C), comprovando a tendência decrescente pelo resultado do teste de tendência de Mann-Kendall ($MK = -3,007$). Já a estação de Baixo Cotia (8) município de Barueri mostra uma linha de tendência crescente (Figura 59 VIII, APÊNDICE C), no entanto, pelo teste o valor de $MK (1,726)$ a tendência não é significativa. Do grupo de estações do $G2 = (7, 6, 2, 12, 1, 17, 18)$ (Figura 25) formado pelo agrupamento do número de eventos anual da classe de precipitação chuvisco, apenas uma mostrou tendência decrescente significativa, Pedro Beicht (7), enquanto, as outras mostraram tendência crescente significativa no número de eventos de chuvisco (Tabela 11), são estações situadas mais a oeste, noroeste e centro-norte da metrópole (Figura 26). Nas demais áreas não foram encontradas tendência crescente significativa no número de eventos de chuvisco. Muitas estações mostram linha de tendência crescente (Figura 59 I, II, ..., XXI, APÊNDICE C) mas o teste de MK não apresenta valores significativos.

Na classe Moderada os resultados sugerem baixa distinção entre os grupos formados (Figura 27), pois a distribuição do número de eventos na metrópole possui comportamento regular com pouca variação (Figura 38). Como nessa classe o número de eventos possui melhor distribuição, foi detectada apenas tendência crescente significativa em quatro estações (Figura 60 I, II, ..., XXI APÊNDICE D), uma mais ao norte, Franco da Rocha (3) e três na região central (IAG (12), Instituto Biológico (19) e Estação da Luz (21) especialmente representadas na Figura 27, dessas, a Estação da Luz mostrou tendência decrescente significativa (Tabela 11).

Tabela 11: Resultado do teste de tendência e dos coeficientes da reta para o número de eventos anual nas classes, chuva, moderada e precipitação > 30 mm/dia. Sendo (X) para tendência crescente significativa e (-X) para decrescente significativa.

Estações	Número de eventos anual (mm)									
	MK	CHS	Tmk	Coef/MK	MO	Tmk	Coef/MK	> 30	Tmk	
Guarulhos	1	MK	3,071	X	MK	0,649	MK	-2,908	-X	
C.G.- Cotia	2	MK	3,740	X	MK	-1,430	MK	-0,207		
Franco da Rocha	3	MK	-0,373		MK	2,051	X	MK	2,018	X
Guararema	4	MK	1,842		MK	-1,369		MK	-0,809	
Itaquaquecetuba	5	MK	1,021		MK	0,398		MK	0,460	
Mairiporã	6	MK	2,178	X	MK	-1,357		MK	1,469	
Pedro Beicht	7	MK	-3,007	-X	MK	0,381		MK	-0,730	
Barueri	8	MK	1,726		MK	-0,211		MK	-1,283	
Salesopolis	9	MK	8,049	X	MK	-1,067		MK	-0,194	
Santa Isabel	10	MK	5,125	X	MK	0,676		MK	2,040	X
U. Salesopolis	11	MK	4,085	X	MK	0,691		MK	0,288	
IAG	12	MK	-6,011	-X	MK	2,288	X	MK	2,487	X
Perus	13	MK	2,615		MK	-0,663		MK	1,097	
Santana	14	MK	0,396		MK	-1,387		MK	1,757	
Santo Amaro	15	MK	0,017		MK	1,677		MK	1,101	
Água Branca	16	MK	-4,205	-X	MK	-0,590		MK	0,179	
Barrocada	17	MK	6,251	X	MK	1,239		MK	-0,289	
Engordador	18	MK	3,414	X	MK	1,459		MK	-0,014	
I. Biológico	19	MK	4,031		MK	2,475	X	MK	2,143	X
C. Aeroporto	20	MK	-5,135	-X	MK	0,275		MK	1,432	
Estação da Luz	21	MK	1,341		MK	-2,482	-X	MK	0,262	

Fonte: Autor, 2011.

Para a classe de precipitação acima de 30 mm/dia (Tabela 11) e (Figura 61 I, II, ..., XXI, APÊNDICE E) verificou-se que apenas quatro estações apresentam tendências crescentes significativas; ao norte Franco da Rocha (3), a nordeste, Santa Isabel (10), e na região central, IAG (12) e (19) – Instituto Biológico (19). Já para a estação de Guarulhos (1), o teste mostrou tendência decrescente significativa, sugerindo tendência de diminuição do número de eventos acima de 30 mm/dia.

4.2.5.3 Mann-Kendall aplicado ao número de eventos de precipitação no período sazonal (DJF) nas classes: chuvisco, moderada e acima de 30 mm/dia.

A partir das Figuras 62 (I, II,..., XXI), 63 (I, II,..., XXI) e 64 (I, II,..., XXI) (APÊNDICE F, APÊNDICE G, APÊNDICE H, respectivamente) e as equações das retas com suas respectivas linhas de tendência, obteve-se a Tabela 12. Analisando o agrupamento, quanto ao número de eventos, com chuvisco (Figura 47) verificou-se a existência de estações que mostraram tendências crescentes e decrescentes significativamente, em um mesmo grupo. É o caso das estações do G1 = (7 e 17) a estação Pedro Beicht (7) mostra em sua série tendência significativamente decrescente (Tabela 12), enquanto, Barrocada (17), mostra tendência significativamente crescente. Analisando separadamente em Pedro Beicht (Figura 62 VII, Anexo VI) percebeu-se a ocorrência de maior número de eventos de chuviscos no passado, diferente de Barrocada que registrou menor número nesse período (passado), aumentando o número de eventos na atualidade. Portanto, a distribuição espacial dessa classe, para essas estações, pode estar sendo influenciada por algum fenômeno físico que possa alterar o micro-clima local e pode influenciar o aumento ou diminuição do número de chuvisco nessas localidades. Três estações mostraram tendência decrescente significativa em suas séries, uma a oeste Pedro Beicht (7) e duas na região central, Santana (14) e Água Branca (16) (Figura 48), sugerindo uma redução do número de eventos do tipo chuvisco. Além do mais, onze estações mostraram tendência crescente significativa (Tabela 12) em diferentes regiões da metrópole.

Na Classe moderada apenas a estação do Instituto Biológico (19) mostrou tendência crescente significativamente e cinco (Cachoeira da Graça (2), Guararema (4), Salesópolis (9), Santana (14) e Estação da Luz (21)) mostraram tendência decrescente significativa. Já as demais estações, na sua grande maioria, mostram tendência decrescente não significativa (Tabela 12). O mesmo ocorrendo para a classe de precipitação acima de 30 mm/dia onde a maioria das estações mostra tendência decrescente, no entanto não significativa, e apenas duas (Guarulhos (1) e Pedro Beicht (7)) com tendência decrescente significativa, nenhuma estação mostrou tendência crescente significativa no número de precipitação acima de 30 mm/dia no período mais chuvisco da RMSP.

Tabela 12: Resultado do teste de tendência e dos coeficientes da reta para o número de eventos sazonal nas classes, chuvisco, moderada e precipitação > 30 mm/dia. Sendo (X) para tendência crescente significativa e (-X) para decrescente significativa.

Estações	Número de eventos sazonal (mm)									
	Coef	CHS	Tmk	Coef/MK	MO	Tmk	Coef/MK	> 30	Tmk	
Guarulhos	1	MK	3,129	X	MK	-0,151	MK	-3,071	-X	
C.G.- Cotia	2	MK	2,579	X	MK	-2,289	-X	MK	-1,357	
Franco da Rocha	3	MK	-0,806		MK	1,867		MK	-0,449	
Guararema	4	MK	1,145		MK	-2,091	-X	MK	-1,381	
Itaquaquecetuba	5	MK	-0,050		MK	-0,473		MK	-1,842	
Mairiporã	6	MK	2,427	X	MK	-1,668		MK	-0,361	
Pedro Beicht	7	MK	-3,737	-X	MK	0,794		MK	-2,011	-X
Barueri	8	MK	2,441	X	MK	-0,904		MK	-1,932	
Salesopolis	9	MK	6,228	X	MK	-2,973	-X	MK	-0,932	
Santa Isabel	10	MK	2,863	X	MK	-1,109		MK	0,915	
U. Salesopolis	11	MK	1,112		MK	-0,983		MK	-0,782	
IAG	12	MK	-6,051	-X	MK	1,653		MK	0,144	
Perus	13	MK	2,256	X	MK	-1,105		MK	-0,816	
Santana	14	MK	-2,657	-X	MK	-3,292	-X	MK	0,286	
Santo Amaro	15	MK	-1,942	X	MK	0,105		MK	0,836	
Água Branca	16	MK	-3,685	-X	MK	-0,568		MK	-0,319	
Barrocada	17	MK	4,337	X	MK	0,165		MK	-0,441	
Engordador	18	MK	1,267		MK	0,096		MK	-1,101	
I. Biológico	19	MK	3,265	X	MK	2,156	X	MK	0,906	
C. Aeroporto	20	MK	-4,750	X	MK	-0,441		MK	-0,248	
Estação da Luz	21	MK	1,002		MK	-2,443	-X	MK	-0,095	

Fonte: Autor, 2011.

Xavier et al (1994) realizaram uma análise mensal do período de verão e mostraram que houve fraca tendência de aumento de precipitação mensal nos meses de fevereiro e maio, e também que os acumulados superiores a 30 mm/dia aumentaram nesses meses. Os acúmulos inferiores a 2 e 5 mm/dia (chuvisco) diminuíram de forma mais significativa em fevereiro, mas ocorreram também em outros meses do ano. Concordando com os resultados encontrados nessa pesquisa, que analisando todas as linhas de tendência da estação do IAG (12) percebeu-se que existe uma tendência decrescente significativa, para o teste de Mann-Kendall, para a classe chuvisco ($0,0 < CHS < 5,0$ mm/dia). E para a classe moderada (precipitação de 20 a 30 mm/dia) e precipitação acima de 30 mm/dia, nenhuma tendência foi encontrada para essa estação. Vale salientar que para presente estudo, o período adotado foi sazonal (dezembro, janeiro e fevereiro) e o de Xavier et al (1994) foi mensal.

Percebeu-se que quando foram plotados os valores das PMDA nos gráficos de dispersão utilizando a distribuição de Gumbel, todas a maioria das estações obtiveram um bom ajuste na reta de referência, exceto, três estações (para precipitações acima de 60 mm), são elas: Franco da Rocha, Pedro Beicht – Cotia e Barueri (Figura 12 (3, 7, 8)). Notou-se também que alguns valores de PMDA muito alto, quando são submetidos a análise gráfica seus valores se distanciam da reta de referência, por serem valores extremos de precipitação e não ocorrerem com frequência.

Foi constatado que as precipitações estimadas para o tempo de retorno de 2 anos, praticamente, não sofre muita variação quantitativamente, em todas as estações. O que chamou atenção foi a distinção entre os valores estimados das precipitações nos tempos de retorno acima de 20 anos, pois as estações não possuem o mesmo valor de precipitação quando o tempo de retorno varia de 20 a 500 anos, isto é, algumas estações possuem o mesmo valor de precipitação estimada em diferentes tempos de retorno, por exemplo, uma precipitação de 100 mm/dia pode ter um período de retorno de 100 anos em uma estação e 50 anos em outra, por isso da distinção quantitativa das precipitações estimadas entre as estações e a importância de não generalizar uma área a partir de dados de apenas uma estação.

Na análise multivariada, notou-se que os agrupamentos formados são muito distintos, nas diferentes classes ou variáveis, ou seja, dificilmente os mesmos grupos se repetem quando alterado as variáveis ou classes de precipitação. Exceto a classe muito forte onde as estações agrupadas pelo total anual se repetiram no número de eventos com precipitação da mesma classe. Uma informação obtida com precisão quando agrupado os totais anuais e sazonais, foi a de que as estações possuem similaridade, nos maiores totais, tanto no anual quanto no sazonal, quando direcionadas ao centro da metrópole.

Com relação à contribuição das classes para o total acumulado no período anual, a maioria das estações com maiores registros médios acumulados de chuva localizam-se nas regiões isoladas do norte, leste, oeste e central, não mostrando uma região de característica homogênea. Para a classe moderada pouca variação espacial, apenas algumas estações a noroeste e norte apresentam maiores acumulados, mas não com diferença significativa comparando com as demais regiões, já que essa classe possui distribuição bastante regular a precipitação. O mesmo ocorrendo na classe forte, pouca variação espacial e apenas a estação de Barroca (17) mais ao norte se destacou perante as demais. Na classe muito forte, diferente das anteriores, pois, a concentração é maior na região centro-norte da metrópole. Para a classe extrema as estações situadas nas proximidades da região central da metrópole, tendem a contribuir com maior frequência para os totais anuais.

Com relação à contribuição das classes para o total acumulado no período sazonal, para a classe chuvisco não apresenta uma região homogênea, pois existem estações em diferentes pontos da metrópole. Na classe moderada também apresentou uma distribuição regular. Já para as classes forte, muito forte o que se notou foi uma região mais específica a noroeste, centro-norte e nordeste. Enquanto na classe extrema os acumulados tornaram-se mais evidentes na região centro-norte da metrópole. No entanto, fazendo uma análise geral poderíamos deduzir que, como não existe uma região homogênea para a classe chuvisco (de 0,0 a 5,0 mm/dia) então pode ser que essa classe não sofra influência do sistema de brisas ou do aquecimento da metrópole, comprovando com os resultados de (ALVES FILHO e RIBEIRO, 2006b) onde mencionam que não ficam evidentes os efeitos das brisas e a influência do aquecimento urbano no processo de formação das chuvas leves. Já para as demais classes de precipitação, particularmente as classe forte, muito forte e extrema, podem ser influenciadas pelo processo das brisas e da ilha de calor, devido possuírem maiores evidências nas regiões centrais e proximidades e com isso o calor e a umidade trazida pelas brisas podem, nessas condições, principalmente no período de verão, formarem chuvas convectivas sobre essas regiões, e conseqüentemente acarretando a produção de grandes acumulados de precipitação. Essa informação também foi encontrada por Alves Filho e Ribeiro (2006b) onde relataram que a produção de calor pelas ações antrópicas juntamente com radiações solares intensas, principalmente no verão e com o efeito de brisas, nessas condições podem formar comumente chuvas convectivas de grande intensidade sobre RMSP. Outros autores como Pereira Filho et al (2004) e Xavier et al (1994) mostraram que as chuvas de verão são mais intensas na RMSP devido aos efeitos de ilha de calor e circulação de brisa marítima. Verificaram também que a precipitação média diária mensal aumentou significativamente, principalmente no período chuvoso.

Com relação à distribuição do número de dias com precipitação nas diferentes classes, tanto para o período anual quanto sazonal, percebeu-se que, para o número de eventos anual, a distribuição dos eventos de chuvisco possui comportamento distinto, pois, o maior número de eventos localiza-se nas regiões centro-noroeste e leste, o menor número compreende a região mais ao norte. Não diferindo do comportamento sazonal, onde o maior número desse evento concentra-se nas regiões mais centrais.

Para a classe moderada, a distribuição no período anual mostrou-se de forma irregular para algumas estações situadas em pontos diferentes da cidade, dificultando assim a obtenção de uma área de homogeneidade espacial para essa classe. Não ocorrendo o mesmo quando analisado o comportamento sazonal, que se mostrou homogênea, ou seja, houve melhor

distribuição espacial dessa classe de precipitação na região de estudo durante o período sazonal. Na classe forte, para o período anual, não se verificou distinção na distribuição espacial no número de eventos. O mesmo ocorrendo para o período sazonal, mostrando que essa classe possui uma regularidade na distribuição do número de eventos pela metrópole.

Para a classe muito forte, no período anual e sazonal, o maior número de eventos localiza-se de maneira similar na região centro-norte da metrópole. Por fim, na classe de precipitação extrema para o período anual e sazonal foi detectado mais eventos na região central, com número de eventos inferior a um, em ambos os períodos.

Percebeu-se também que algumas estações que mostraram similaridade quando realizado o agrupamento, quando submetidas ao teste de tendência de Mann-Kendall, não foi verificada similaridade nos resultados quanto à tendência crescente ou decrescente, uma possível explicação seria o fato de que dependendo da localização espacial, algum sistema termodinâmico pode intervir e alterar o resultado a ser alcançado, como também o relevo pode influenciar os totais, atuando na formação de algum sistema convectivo pela ascensão do transporte de partículas higroscópicas, que possam alimentar algum sistema atuante sobre a região afetada e com isso produzir maiores totais pluviométricos em episódios de chuvas isoladas, não sendo perceptíveis no acumulado mensal.

Os resultados do teste Mann-Kendall, para os totais anuais e sazonais, sugerem que existe um maior número de estações com tendência crescente significativa nos totais anuais do que nos totais sazonais, principalmente na região central da metrópole.

Na análise do número de eventos anuais nas diferentes classes: chuvisco, moderada e acima de 30 mm/dia, percebeu-se um número maior de estações apresentando tendência crescente significativa na classe chuvisco, do que para as classes moderadas e acima de 30 mm/dia. A região central da metrópole é a que apresenta um maior número de estações com tendência crescente significativa na classe chuvisco, moderada e acima de 30 mm/dia, comparando com as demais estações.

Quando dimensionamos para o número de eventos no período sazonal (mais chuvoso da região), constatamos que, há um predomínio de tendência crescente significativa na classe chuvisco comparada a moderada e acima de 30 mm/dia, mais uma vez na região central da cidade, comparada as demais regiões. Não foi detectada nenhuma tendência crescente significativa na classe acima de 30 mm acumulado em 24 horas, classe considerada a principal causadora de problemas de impactos sócio-econômicos na RMSP.

A tendência crescente significativa encontrada em algumas estações no número de eventos anual deve ter influência de alguns eventos de precipitações intensas fora do período

mais chuvoso da região, ou seja, pode existir um número maior de eventos de chuvas intensas ao longo do ano comparado ao período mais chuvoso.

Os resultados mostraram que, em geral, os valores negativos de MK ocorrem em estações a oeste e leste da metrópole, e os valores positivos de MK ocorrem mais na região central, embora tenham ocorrido valores positivos também a norte, nordeste, noroeste e oeste.

Foi notado em particular, que pelo teste de Mann-Kendall aplicado aos totais anuais e sazonais, número de eventos anuais e sazonais a detecção das tendências nem sempre fica muito visível no período mais chuvoso comparado a análise do período anual.

A literatura não dispõe de trabalhos científicos que possam afirmar de forma direta a ligação entre precipitação e urbanização, pois não é uma tarefa fácil desvendar os efeitos da urbanização sobre o aumento da precipitação, uma vez que a formação de chuvas é altamente variável, tanto no aspecto espacial como no temporal.

5 CONCLUSÕES

A distribuição de Gumbel mostrou-se adequada para estimar a precipitação máxima diária anual.

A análise multivariada mostrou-se satisfatória na detecção das regiões com maior acumulado total anual e sazonal, e na comparação entre as diferentes variáveis nos dois períodos.

Quanto à frequência de classes, houve distinção entre alguns grupos formados pelo total acumulado de cada classe de precipitação, devido à distribuição das precipitações na Metrópole não possuir regularidade espacial, principalmente nas classes chuvisco e extrema. A distribuição do número de dias, com precipitação moderada e muito forte, mostrou que ambas possuem características espaciais similares, pois não existe uma região específica de atuação dessa classe na metrópole. O número de precipitações extremas e os chuviscos são mais evidentes na região central da Metrópole, estações que possuem melhor similaridade.

O teste de Mann-Kendall (MK) mostrou que existe tendência crescente significativa no total anual, desde chuvisco à precipitação acima de 30 mm/dia para algumas estações. Portanto, existe maior evidência de tendência crescente significativa das séries temporais de precipitação no total anual, principalmente na região central comparada ao total sazonal. Também foi detectada tendência crescente significativa no número de eventos da classe chuvisco no período anual e sazonal, sendo algumas como: IAG, Pedro Beicht e Água Branca apresentaram tendência decrescente significativa ao teste. Um pequeno grupo de estações mostrou tendência crescente pouco significativa na classe moderada tanto no anual quanto no sazonal. Nenhuma evidência de tendência crescente foi verificada no número de eventos da classe acima de 30 mm/dia no período mais chuvoso da região, no entanto, verificaram-se algumas evidências de tendência crescente no número de eventos do período anual.

De uma forma geral, as linhas de tendência e o teste de Mann-Kendall mostraram que há uma tendência de aumento das classes de precipitação em diferentes localidades da RMSP.

É importante salientar, que o período de falhas nas séries poderia influenciar os resultados das precipitações acima de 30 mm/dia.

Como o estudo é mais “diagnóstico”, então poderá ser usado como forma de “prevenção” (planejamento) pelos órgãos competentes, na tentativa de minimizar os efeitos provocados pelas precipitações mais intensas, principalmente na região ao norte da Metrópole, onde boa parte da população esta se deslocando.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponível em: <www.hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2010.

ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CASTRO, C. A. C. Início das chuvas na região sudeste do Brasil: análise climatológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBMET, 2002. 1 CD-ROM.

ALVES, L. M. et al. Início da estação chuvosa na região Sudeste do Brasil: Parte 1 – Estudos observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 3, p. 385-394, 2005.

ALVES FILHO, A. P.; RIBEIRO, H. A percepção do caos urbano, as enchentes e as suas repercussões nas políticas públicas da região metropolitana de São Paulo. **Saúde e Sociedade** v. 15, n. 3, p. 145-161, set./dez. 2006.

_____; _____. Configuração espacial de eventos de precipitação extrema na região metropolitana de São Paulo: interações entre a ilha de calor e a penetração da brisa oceânica. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**. v. 2, n. 5, dez. 2007.

AMBRIZZI, T. Crise e chuvas: uma visão meteorológica. **Jornal da USP**, São Paulo, n. 556, jul. 2001. Caderno especial, p. 4-5.

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações e estatística à climatologia: teoria e prática**. Pelotas: Ed. da Universitária da UFPel, 1996, 161p.

AUSTIN. **Temperaturas e chuvas recordes registradas no estado de Rio de Janeiro durante o século vinte**. [S.l., S.n] 2001. Comunicação pessoal.

BACK, A. J. Análise das máximas intensidades de chuva para a região de Urussanga-SC. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA, 7., 1996, Salvador, **Anais...** Salvador: FENEA, 1996, p. 75–80.

_____. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 717-726, 2001.

BARBOSA, B. J. I et al. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, Washington DC: American Meteorological Society, v.19, 1490-1512, b2005.

BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; NETO, P. C. Tempo de retorno das precipitações máximas em lavras (mg) pela distribuição de valores extremos do tipo I. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 657-667, maio/jun., 2005.

BELTRAME, L. F. S.; LANA, A. E. L.; LOUZADA, J. A. S. **Chuvas intensas**. Porto Alegre: IPH-UFRGS, 1991. 69 p.

BOLETIM DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE METEOROLOGIA: Desafios Associados às Mudanças Climáticas, São Paulo: SBMET. v. 31, n. 1, abr. 2007. ISSN 1676-014X

BRANDÃO, A. M. P. Clima urbano e enchentes na cidade do Rio de Janeiro. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, E. S. B. (Org.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 123-124.

CABRAL, E.; JESUS, E. F. R. Eventos pluviiais extremos na grande São Paulo em 1981: impactos na vida urbana. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 4., 1991, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 1991. p.175-182.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in southern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, Washington DC: American Meteorological Society, v. 15, p, 2377-2394, 2002.

_____; _____. The South Atlantic convergence zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, Washington DC: American Meteorological Society, v. 17, p. 88-108, 2004.

CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática, São José dos Campos: INPE/CPTEC, v.1-6, 1987.

DESSAY, N. et al. Comparative study of 1982-1983 and 1997-1998 El Niño events over different types of vegetation in South America. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 25, n. 20, p. 4063-4077, Oct. 2004.

ELTZ, F. L. P.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 265-269, maio/ago. 1992.

ESPÍRITO SANTO, C. M.; SATYAMURTY, P. Eventos extremos de precipitação na região sudeste do Brasil e redondezas no período de 1997-2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., Foz de Iguaçu, 2002. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2002.

EVERITT, B. S. **Cluster analysis**. 3rd. London: Heinemann Educational Books, 1993. p. 170.

FUENTES, M. V. Bloqueios. CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática, São José dos Campos: INPE/CPTEC, v.11, p.70-89, out. 1996. Edição Especial Comemorativa de 10 anos.

GONÇALVES, N. M. S. **Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador-BA**. 1992. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

_____. Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, Berlin, v. 4, n. B4, p. 385-400, 1986.

GRAY, N.; JACOBSON, R. Diurnal variations of deep cumulus convection. **Mon. Wea. Rev.**, v. 105, n. 1, p. 171-188, 1977.

HAYLOCK M. R., *et al.* An empirical appraisal of the Gumbel extreme value procedure. **The Journal of Geophysical Research**, Washington, DC: American Geophysical Union, v. 65, n. 6, p. 1737-1746, 1960.

IDALINO, R. C. L.; OLIVEIRA, P. S.; LUCIO, P. S. Modelagem de extremos meteorológicos via GEV e GPD: uma análise comparativa de algumas capitais brasileiras. **Revista Brasileira de Estatística**, Rio de Janeiro, v. 70, n. 233, p.1-111, jul./dez. 2009. ISSN 0034-7175.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasil, censo demográfico, 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 5 dez. 2010.

Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 27 jan. 2011.

JANEIRO, o mês mais chuvoso da história de São Paulo. **GLOBO, Diário de Notícias**. Disponível em: <<http://www.dn.pt/inicio/globo/interior>>. Acessado em: 28 jan. 2011.

JENKINSON, A. F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) of meteorological elements. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v. 81, p. 158-171, 1955.

LEOPOLDO, P. R.; SANSIGOLO, C. A.; MARTINS, D. Análise estatística das intensidades e precipitações máximas de Botucatu. **Irrigação e tecnologia moderna**, Brasília, v. 16, p. 11-14, mar. 1984.

LIEBMANN, B.; JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. Interannual variability of daily extreme precipitation events in the state of São Paulo, Brazil. **Journal Climate**, Washington DC: American Meteorological Society, v. 14, p. 208-218, 2001.

LOPES, G. F. et al. Medidas de similaridade e eliminação de ruídos aplicações em melanos. ENCONTRO INTERNO, 7.; SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12., Urberlândia, 2008. **Anais...** Urberlandia: , 2008.

MANTUA, N. J. et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Ull. American Meteorological Society**. v. 78, p. 1069-1079, 1997.

MINUZZI, R. B. *et al.* Climatologia do comportamento do período chuvoso da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, 338-344, 2007.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global, el niños, manchas solares, vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico, **Climanálise**, agosto, CPTEC/INPE, 2005.

MONTEIRO, C. A. F. Environmental Problems in São Paulo metropolitan area: the role of urban climate with special focus on flooding. In: SYMPOSIUM ON GEOGRAPHICAL ASPECTS OF ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN HIGHLY URBANIZED TERRITORIES, INTERNATIONAL GEOGRAPHICAL CONGRESS, 24. Tokio, 1980. **Proceedings...** Tokio: International Geographical Union, 1980.

_____. Some aspects of the urban climates of tropical south america: the brazilian contribution, In: **WORLD climate program, urban climatology and its applications with special regard to tropical areas**. Sydney: World Meteorological Organization, 1986. p. 166-198.

MORAES, J. M. et al. Estudo preliminar da evolução temporal dos componentes do ciclo hidrológico da bacia do Rio Piracicaba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11.; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 2., 1995, Recife. **Anais...** Recife : Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995. p. 27-32.

MUZA, M. N. **Variabilidade intrasazonal e interanual dos eventos extremos de precipitação e seca no sul e sudeste do Brasil durante o verão austral.** 2005. 168 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - 168 f. São Paulo: Instituto Astronômico e Geofísico/USP. São Paulo, SP, 2005.

NATIONAL GEOGRAPHIC: electronics-magazine. Disponível em: <<http://www.nationalgeographic.com/>>. Acesso em: 21 abr. 2005.

NOBUKUNI, P. **Análise das precipitações com duração de 5 minutos a 24 horas, nas regiões de Jaboticabal e Presidente Prudente.** 2000. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

OBREGON, G.; MARENGO, J. A. **Relatório 2:** Caracterização do clima do século XX no Brasil: tendências de chuvas e temperaturas médias e extremas. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 87 p.

PAIVA, C. M. **Determinação das datas de início e fim da estação chuvosa e da ocorrência de veranicos na bacia do rio Doce.** 1997. 65 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

PASCHOAL, W. **As inundações no Cambuci:** Percepção e reação do habitante e usuário de uma área central da metrópole a um de seus problemas mais sérios. 1981. 123 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1981.

PASTORINO, L. A. O problema das enchentes na região de São Paulo. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo: Instituto de Geografia-USP, n.19, 1971.

PEREIRA FILHO, A. J. et al. Enchentes na região metropolitana de São Paulo: aspectos de mesoescala e a avaliação de impactos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2004.

PINTO, F. R. L. **Equações de intensidades, duração e frequência da precipitação para os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo:** estimativa e espacialização. 1999. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

PUBLICAÇÃO integrante do diagnóstico para ações regionais da secretaria do emprego e relações do trabalho do estado de São Paulo: região metropolitana de São Paulo. Foco agosto 2007 nº 15. Disponível em:
<http://www.emprego.sp.gov.br/outros/caravana_trabalho/boletim_rmosp.pdf>. Acesso em 12 jan. 2011.

OLIVEIRA, A. P.; SILVA DIAS, P. L. Aspectos Observacionais da Brisa Marítima em São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 20., 1982, Pelota. **Anais...** Pelotas, 1982. p. 129-161.

OLIVEIRA, M. C.; FIGUEIRÔA, S. F. M. Enchentes em São Paulo, um problema do século passado. **Revista Instituto Geológico**. São Paulo, v.5, n.1-2, p. 55-58, 1984.

RAIMUNDO, C. C. **Análise estatística multivariada da precipitação no Nordeste Brasileiro e sua relação com a Oscilação Decadal do Pacífico**. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT/ UFAL, 2009.

RAIMUNDO, C. C.; TOLEDO FILHO, M. R.; MELO, M. L. D. Eventos extremos de precipitação na cidade de São Paulo e sua possível relação com a Oscilação Decadal do Pacífico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais...** Belém, 2010.

REGIÃO metropolitana de São Paulo. Disponível em:
<www.observatoriodasmetroles.ufrrj.br/.../como_anda_RM_saopaulo.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2010.

_____. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Região_Metropolitana_de_São_Paulo>. Acesso em: 12 de dez. 2010.

SANSIGOLO, C. A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 341-346, 2008.

SEABRA, O. C. L. **Os meandros dos rios nos meandros do poder: Tietê e Pinheiros - valorização dos rios e das várzeas na cidade de São Paulo-SP**. 1987. 301 f. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade de São Paulo, 1987.

SERRANO, A.F.; CABRAL, E. Análise das áreas de inundação no Município de Atibaia/SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 6., 2004, Aracaju. **Anais...** Aracaju, 2004.

SHIMSHONI, M. On Fisher's test of significance in harmonic analysis. **Geophys. J. Roy. Astronom. Soc.**, v. 23, p.373- 377, 1971.

SMITH, J. A., BAECK, M. L.; STEINER, M. 1996: Catastrophic rainfall from an upslope thunderstorm in the central Appalachians: The rapidan storm of June 27, 1995. **Water Resour. Res.**, v. 32, p. 3099-3113, 1996.

SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des séries d'observations**. Gênevê: Organisation Météorologique Mondial, 1975. 192p. (OMN, Note Technique, 143)

SOARES, J. R.; SILVA DIAS, M. A. F. Probabilidade de ocorrência de alguns eventos meteorológicos extremos na cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 1, p. 67-75, 1986.

VICENTE, A. K. **Eventos extremos de precipitação na região metropolitana de Campinas**. 2005. 143 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de Campinas, 2005.

VIEIRA, D. B.; LOMBARDI, NETO, F.; SANTOS, R. P. Análise das intensidades máximas de chuva em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 255-60, maio/ago. 1994.

WEYKAMP, F. V. **Eventos extremos de precipitação no sul/sudeste da América do Sul associados a jatos de baixos níveis**. 2006. 102 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, 2006.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, M. A. F. S. Evolução da precipitação diária num ambiente urbano: o caso da cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 9, n.1, p. 44-53, 1994.

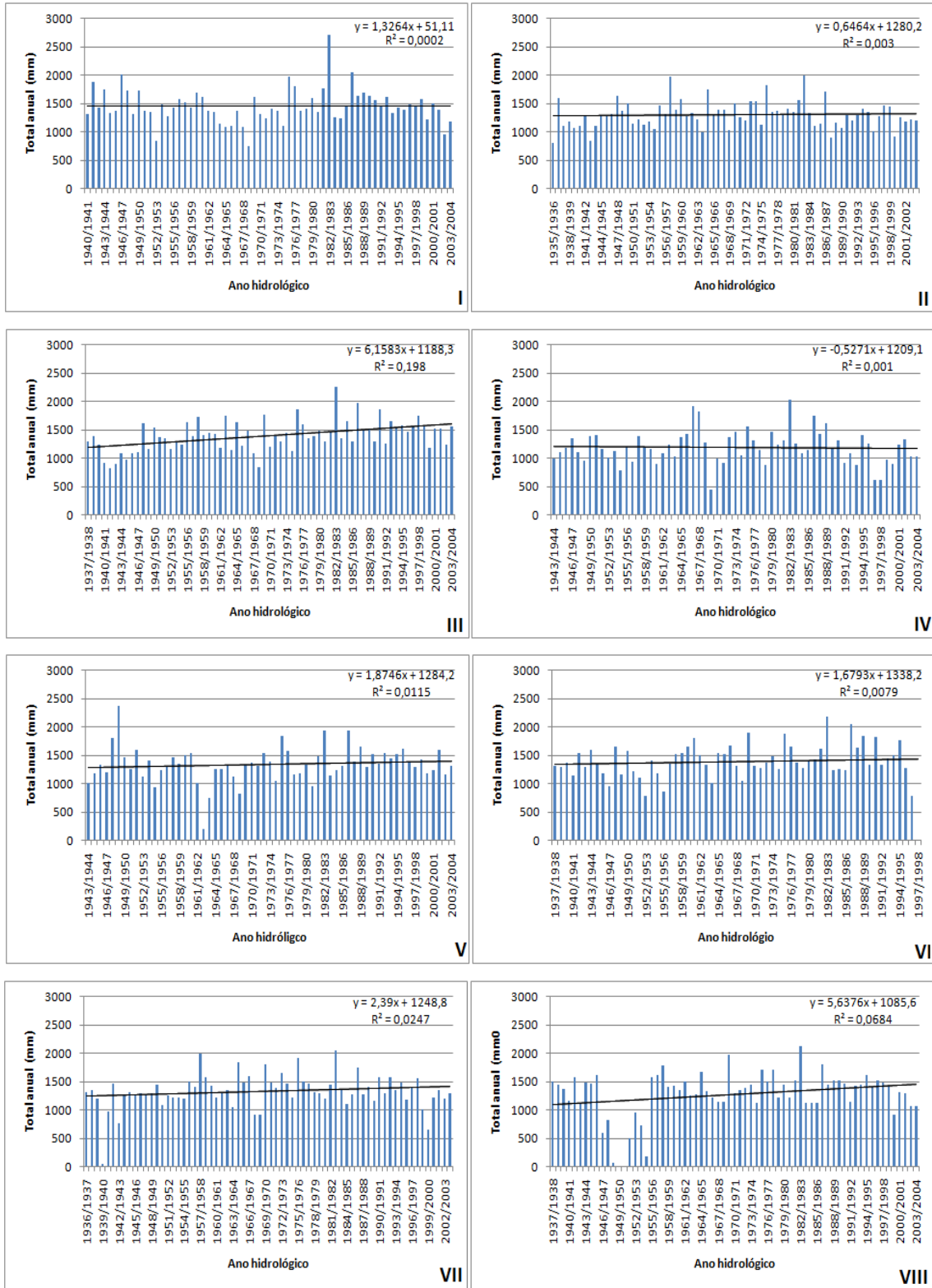
_____. et al. Tendências da pluviometria na grande São Paulo e a influência dos processos de urbanização e industrialização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7.,1992. São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1992. p. 220-224.

ZANELLA, M. E. Análise das precipitações diárias intensas e impactos gerados em Fortaleza, CE. **GEOUSP: espaço e tempo**, São Paulo, n. 25, p. 53- 58, 2009.

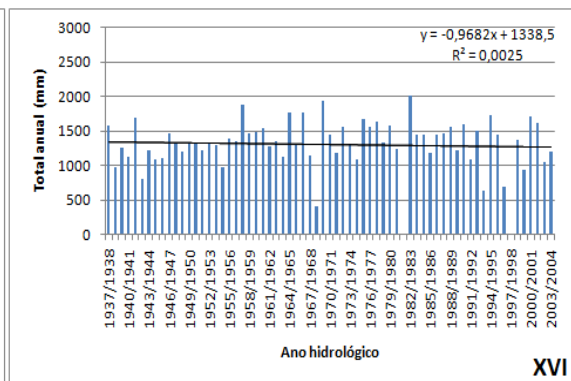
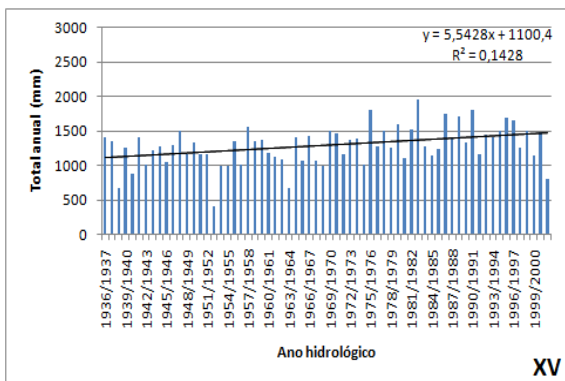
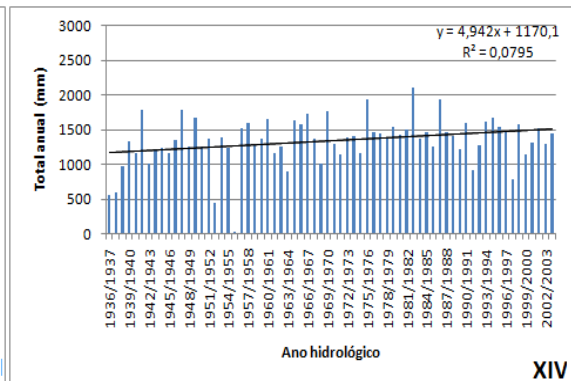
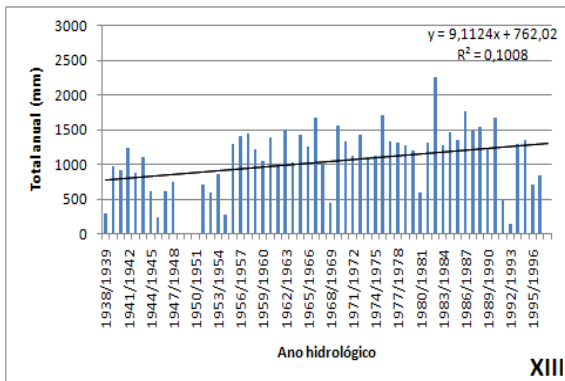
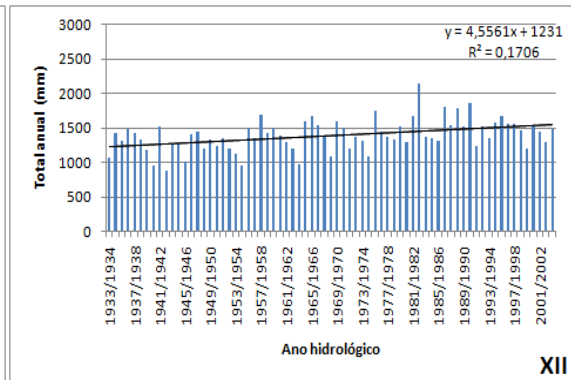
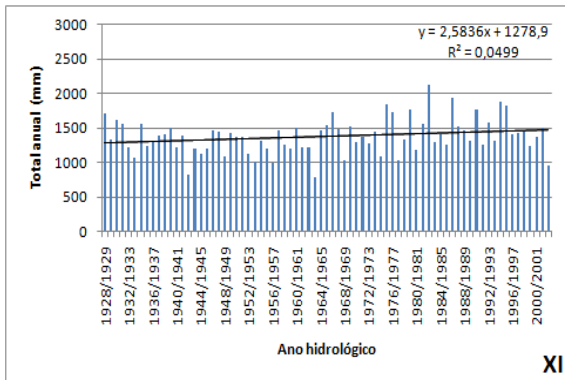
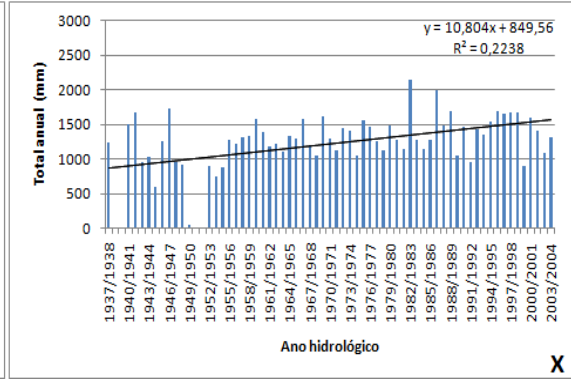
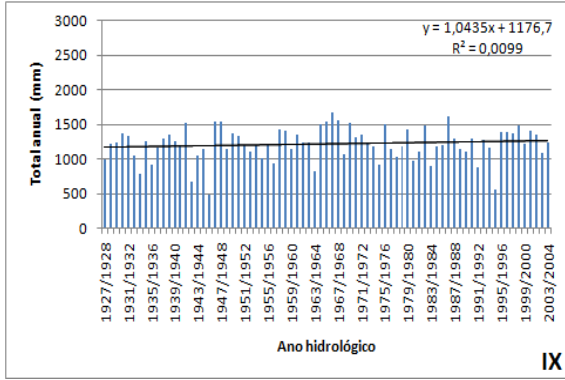
_____. **Inundações urbanas em Curitiba/PR: impactos, riscos e vulnerabilidade socioambiental no Bairro Cajuru**. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A - As figuras abaixo representam a distribuição dos totais anuais de precipitação, com suas respectivas linhas de tendências.



(continua)



(continua)

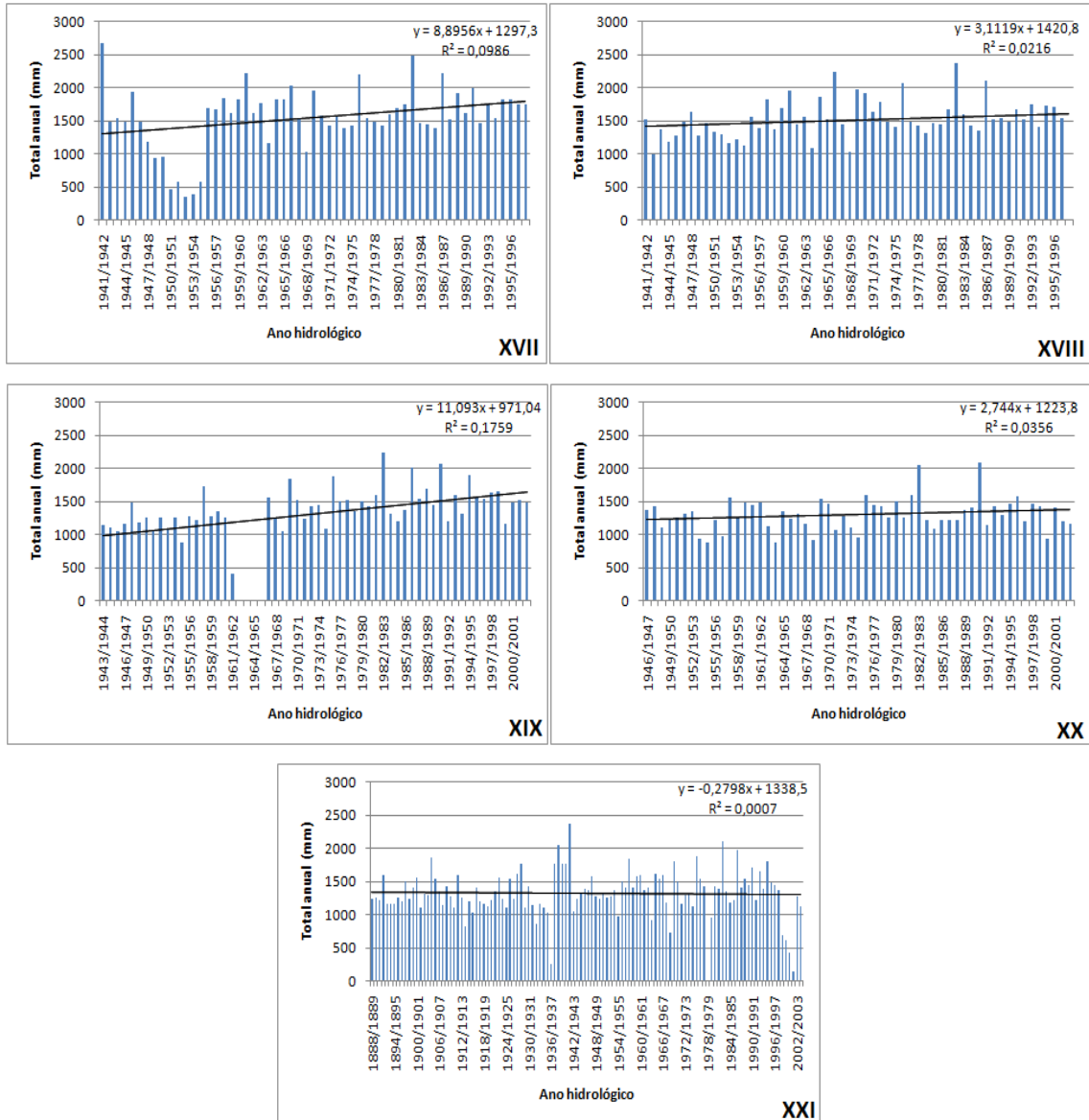
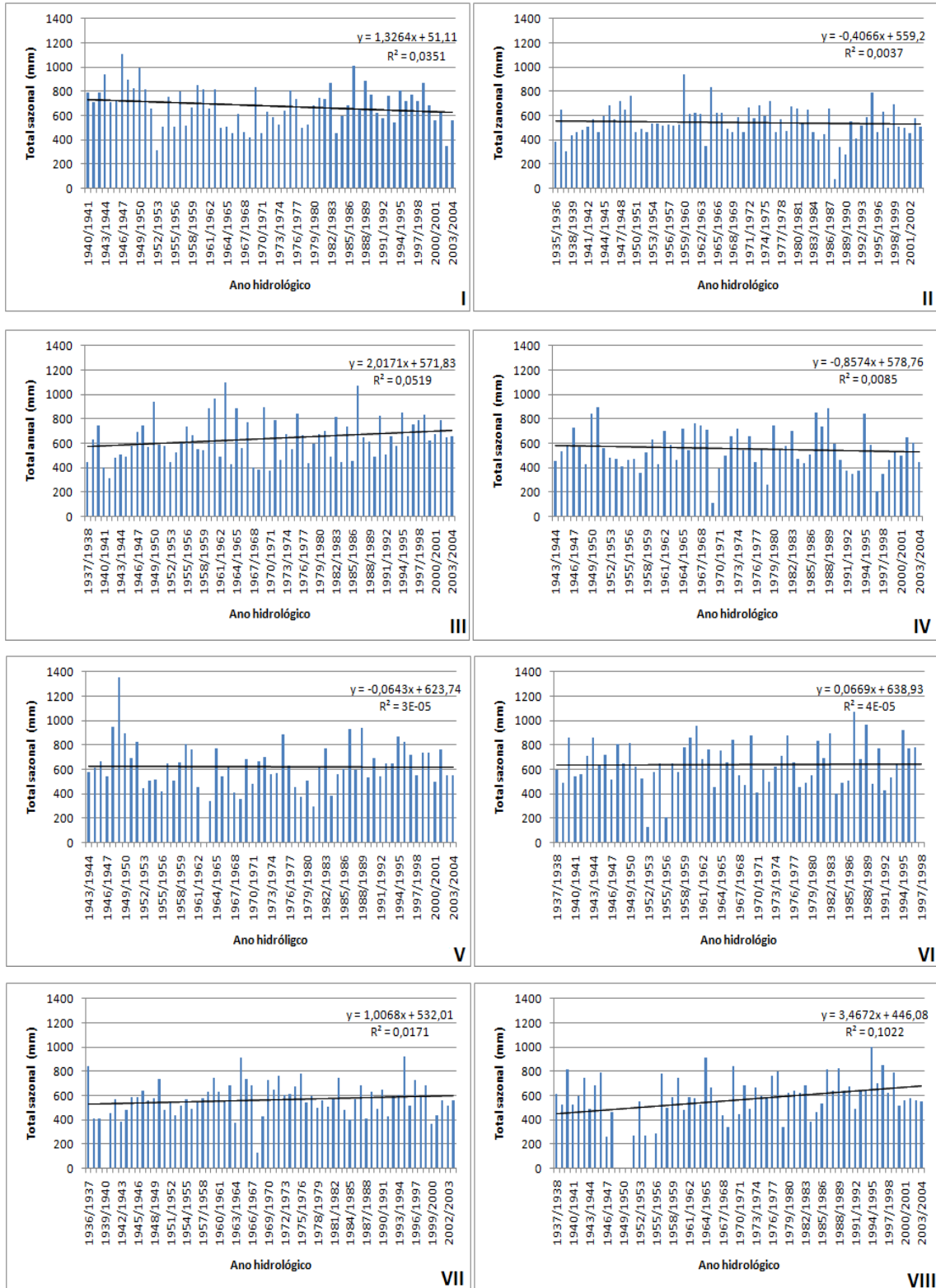
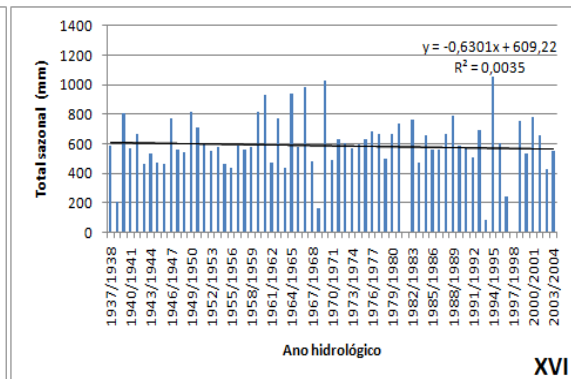
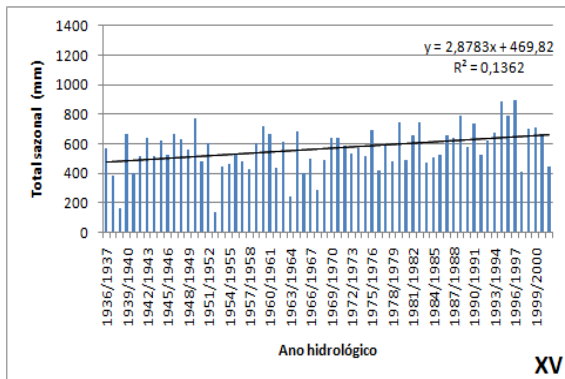
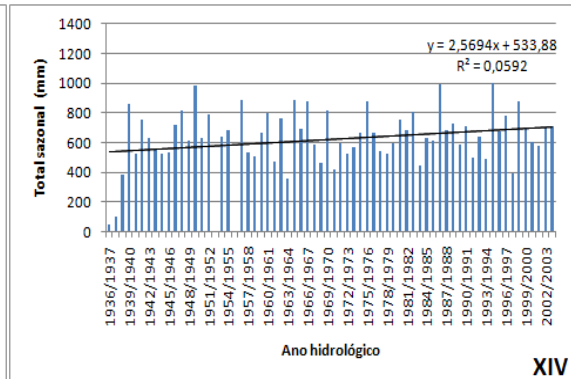
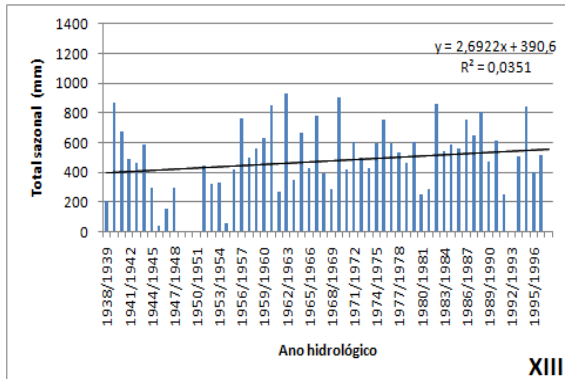
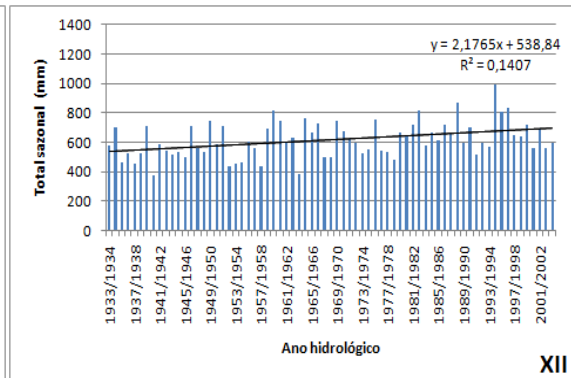
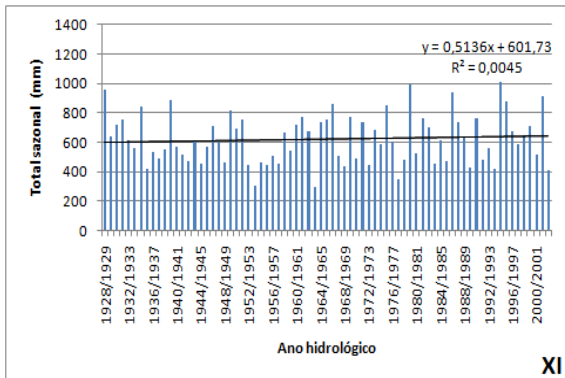
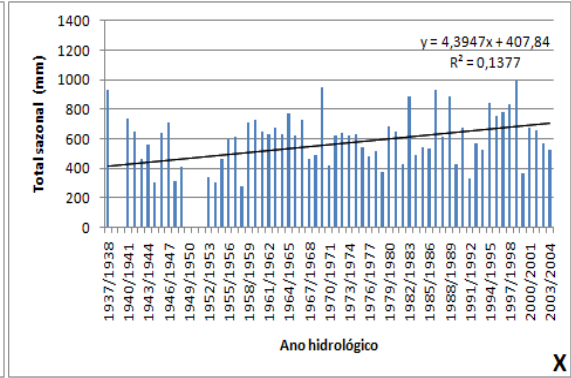
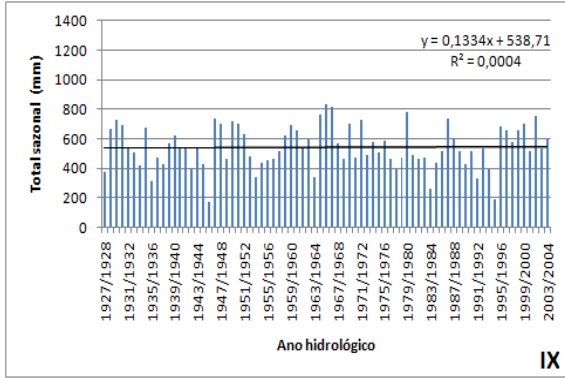


Figura 57: Total anual hidrológico. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beicht; VIII) Barueri; IX) Salesópolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesópolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana; XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII) Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.

APÊNDICE B - As figuras abaixo representam a distribuição dos totais sazonais de precipitação, com suas respectivas linhas de tendências.



(continua)



(continua)

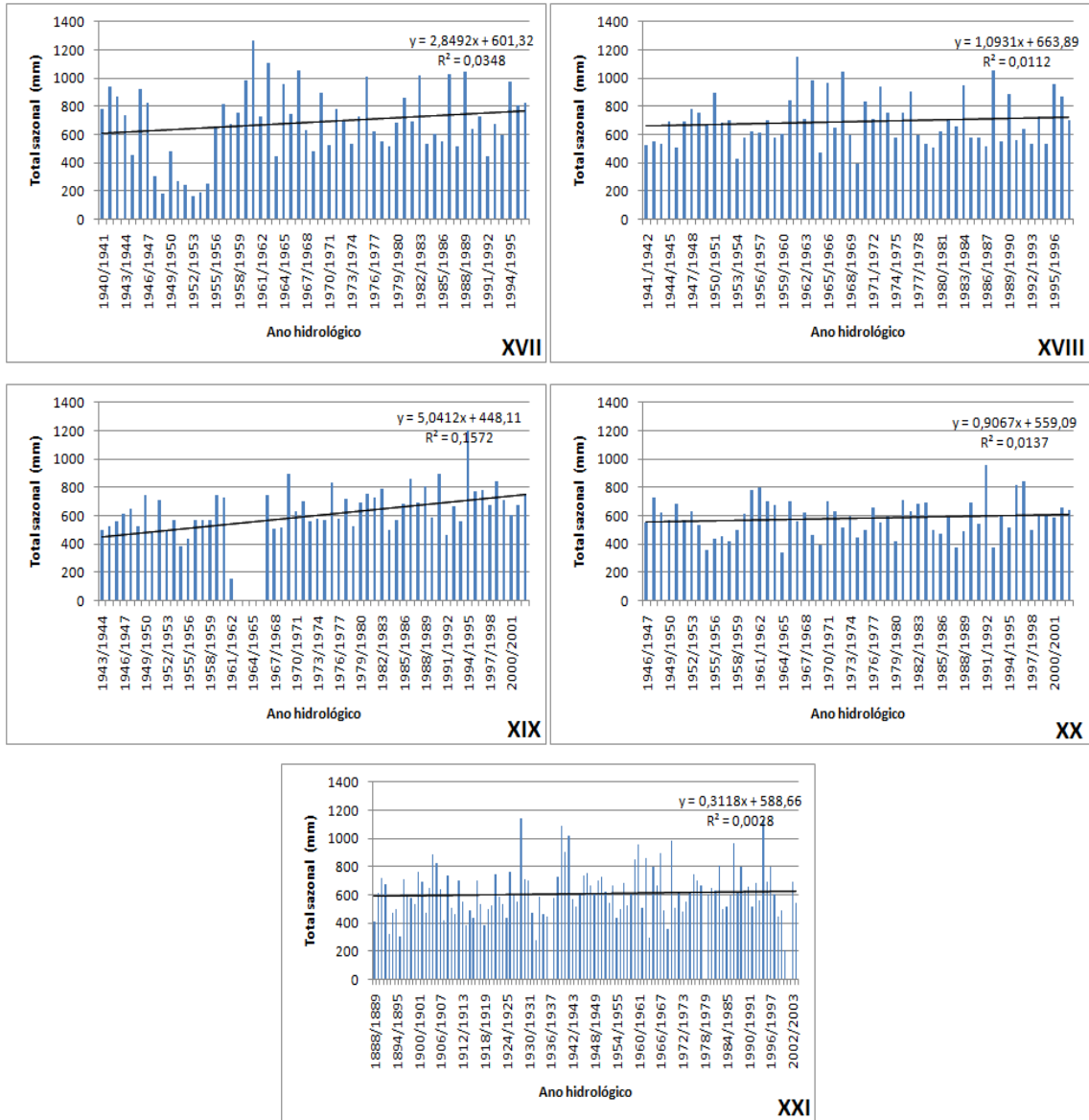
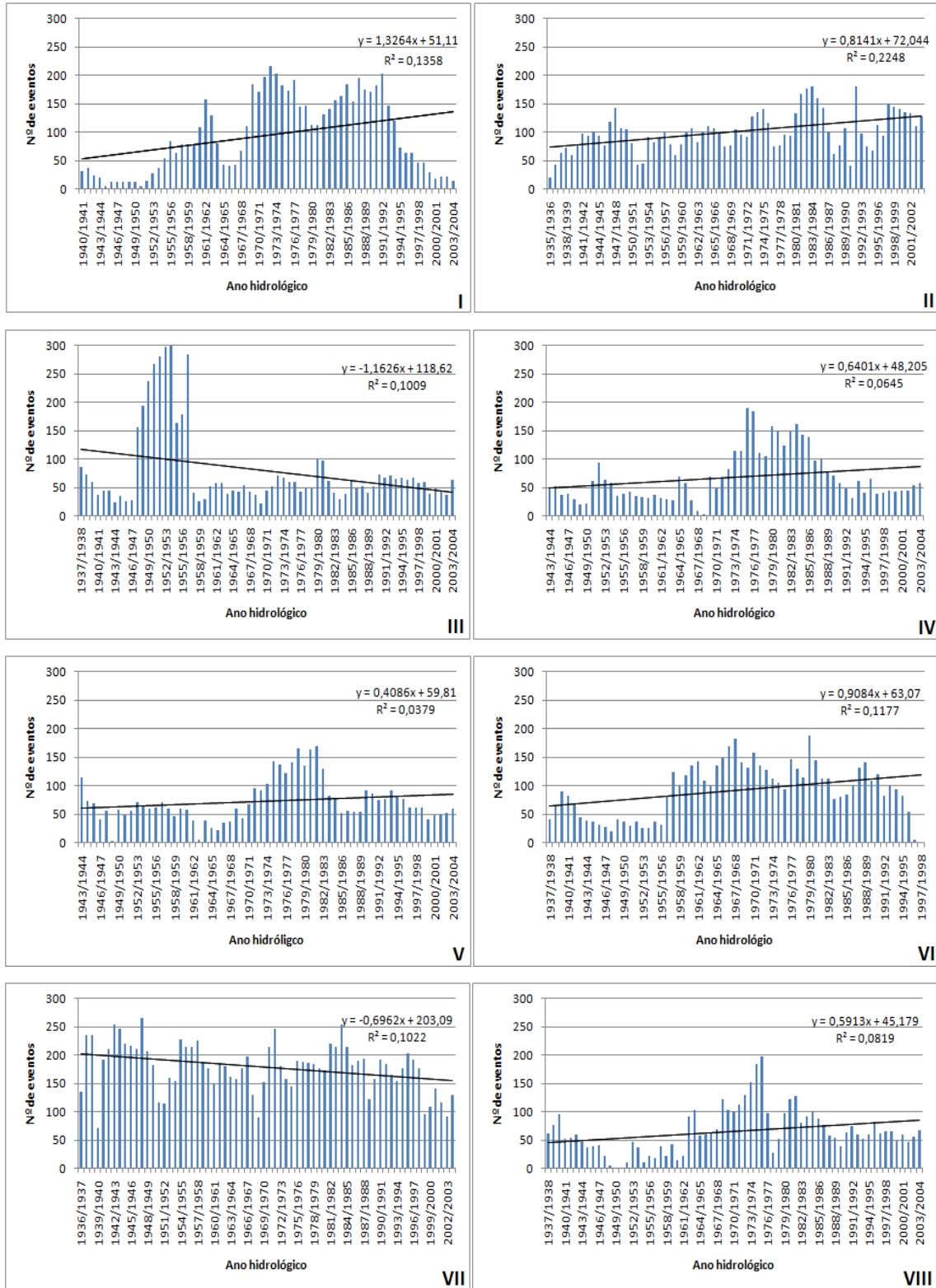
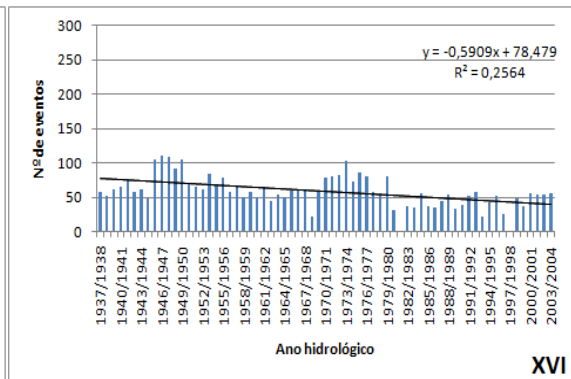
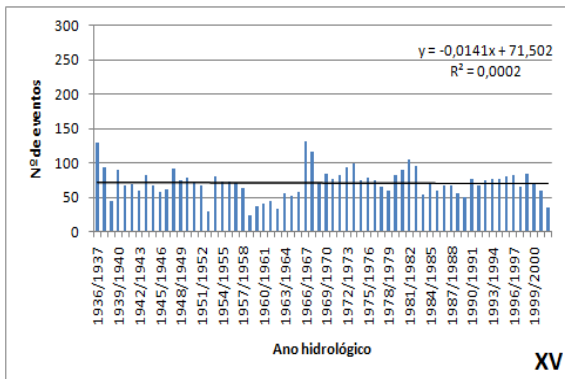
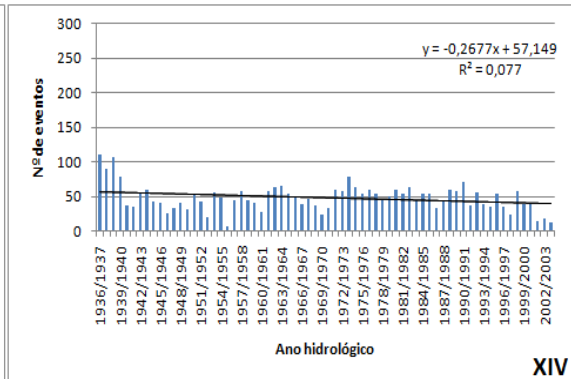
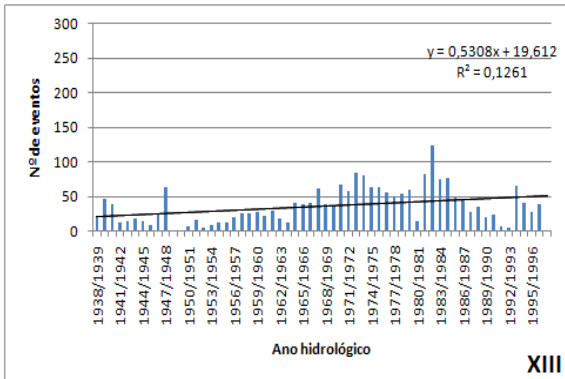
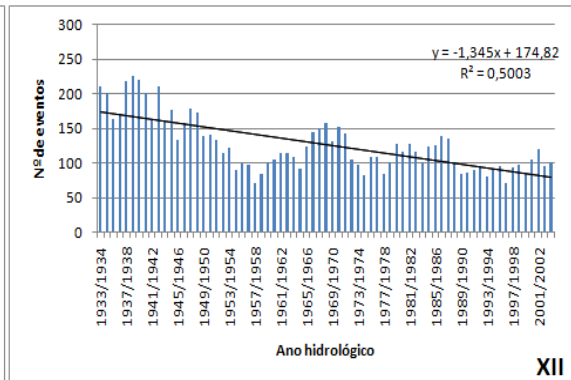
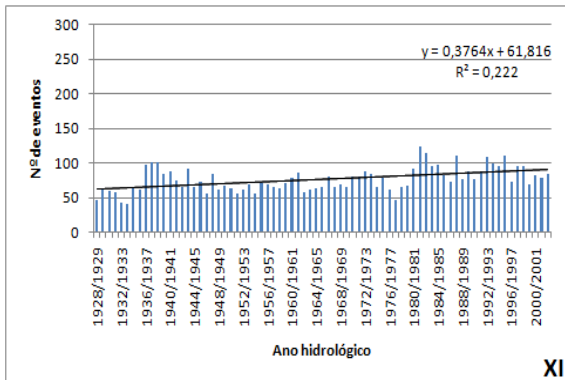
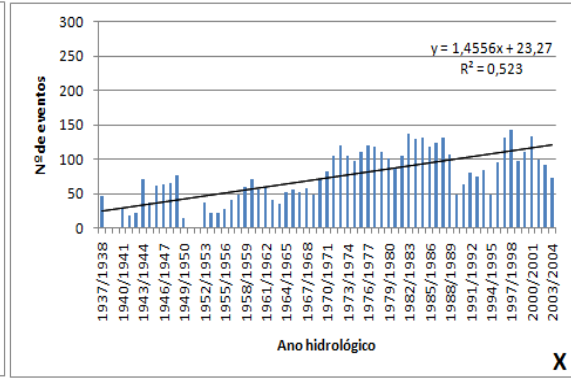
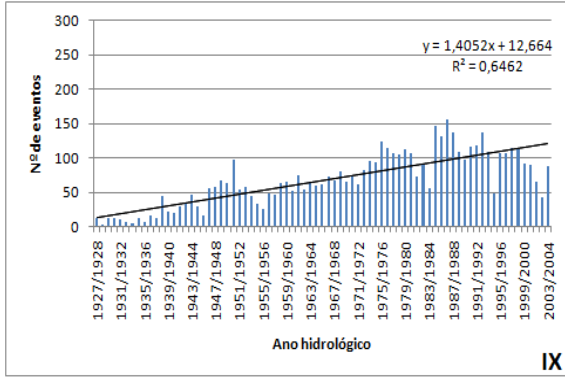


Figura 58: Total sazonal. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beith; VIII) Barueri; IX) Salesópolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesópolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana; XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII) Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.

APÊNDICE C - As figuras abaixo representam a distribuição do número de eventos anuais de precipitação da classe chuvoso com suas respectivas linhas de tendências.



(continua)



(continua)

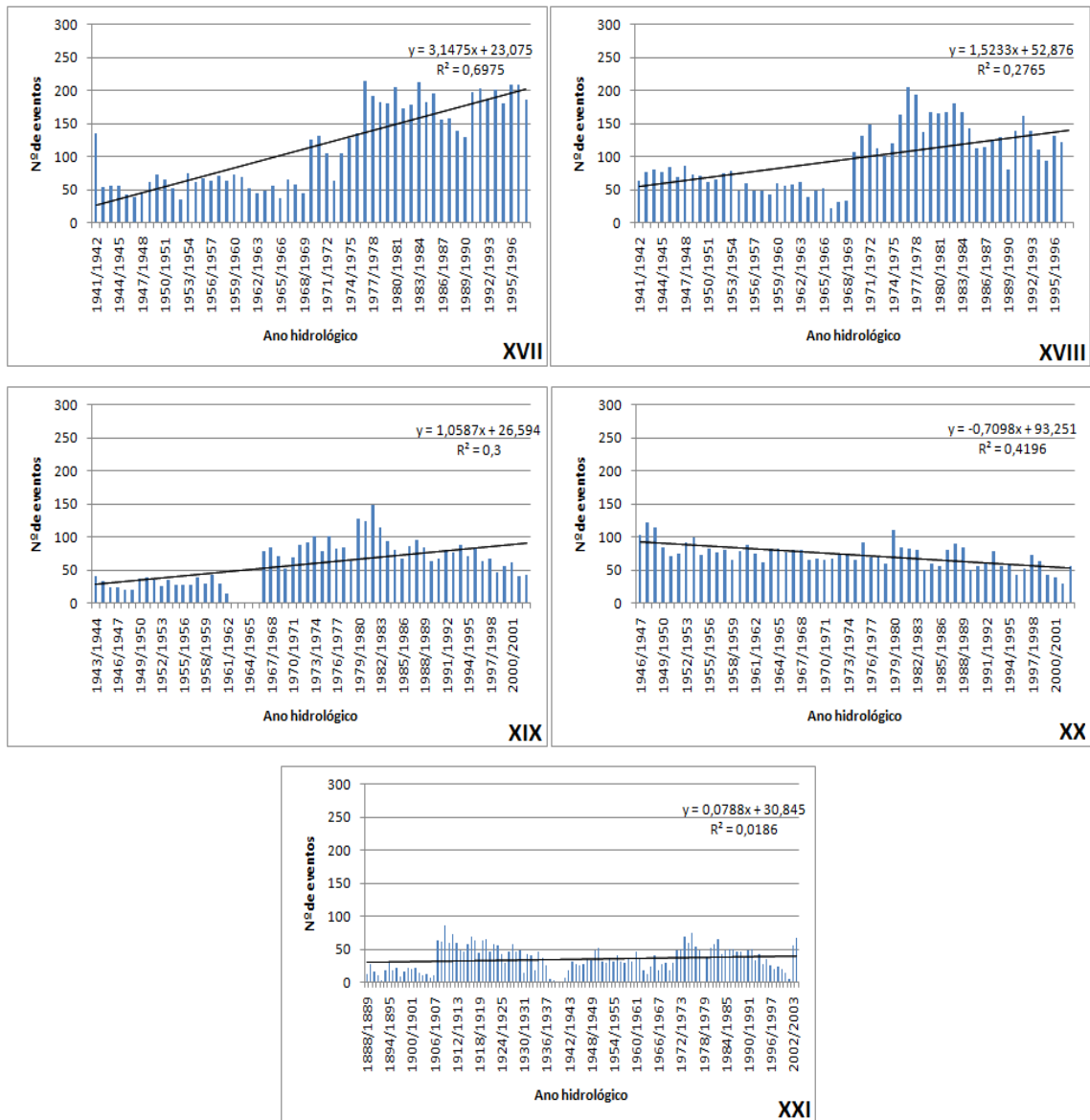
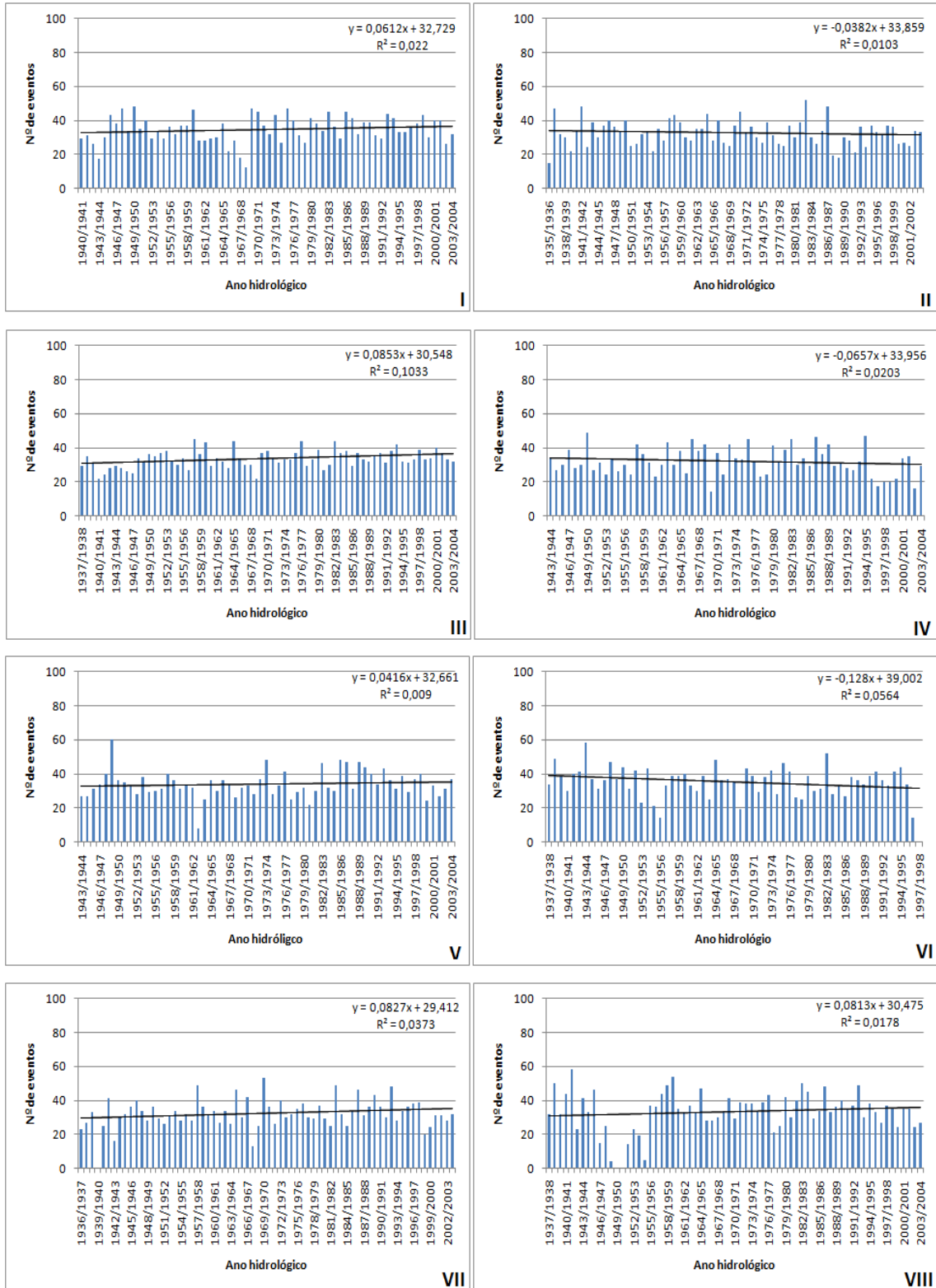
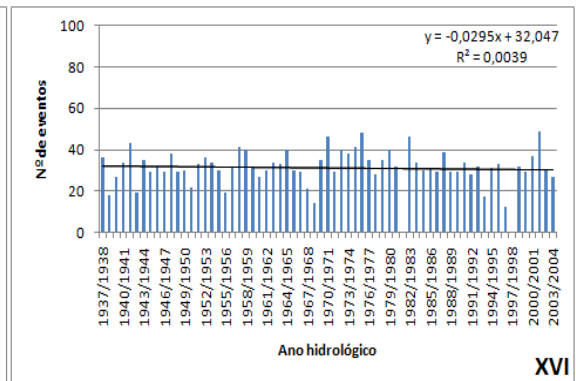
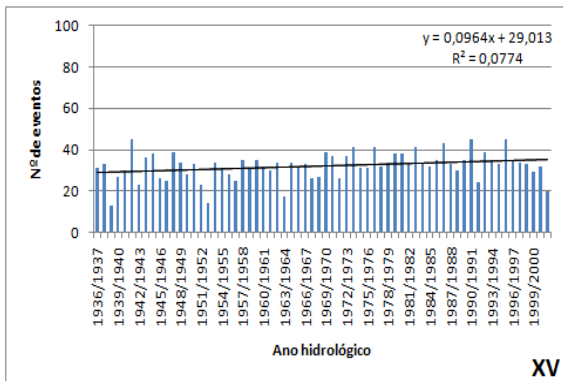
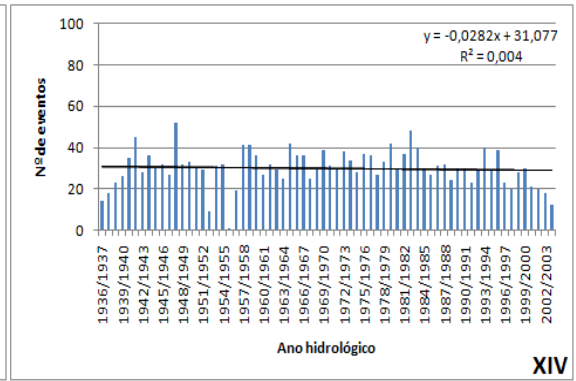
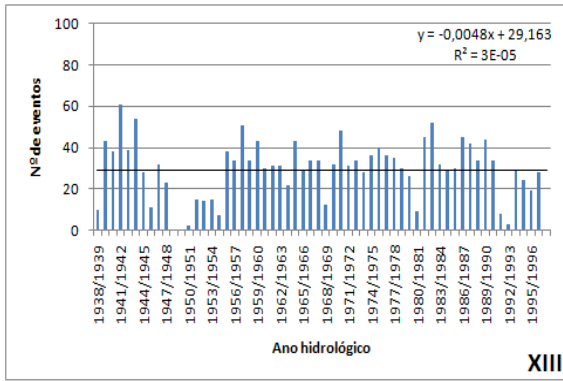
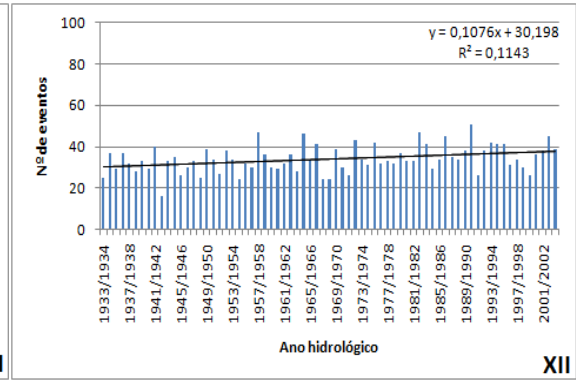
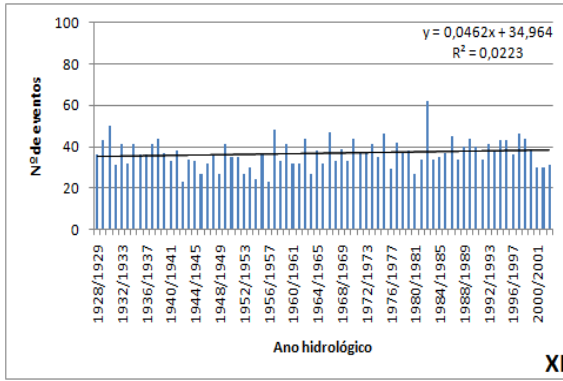
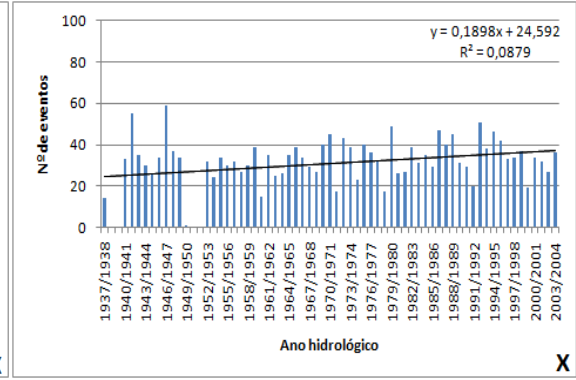
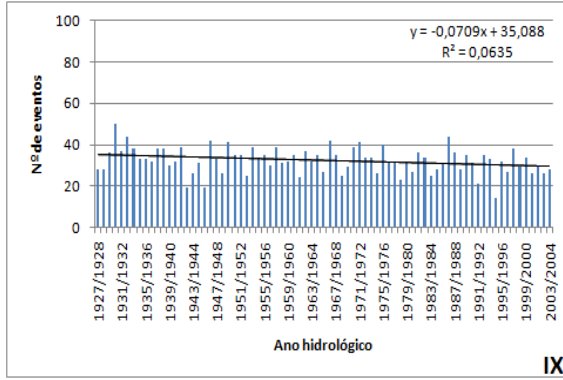


Figura 59: Número de eventos anual de precipitação da classe chuvisco. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beitch; VIII) Barueri; IX) Salesópolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesópolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana; XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII) Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.

APÊNDICE D - As figuras abaixo representam a distribuição do número de eventos anuais de precipitação da classe moderada com suas respectivas linhas de tendências.



(continua)



(continua)

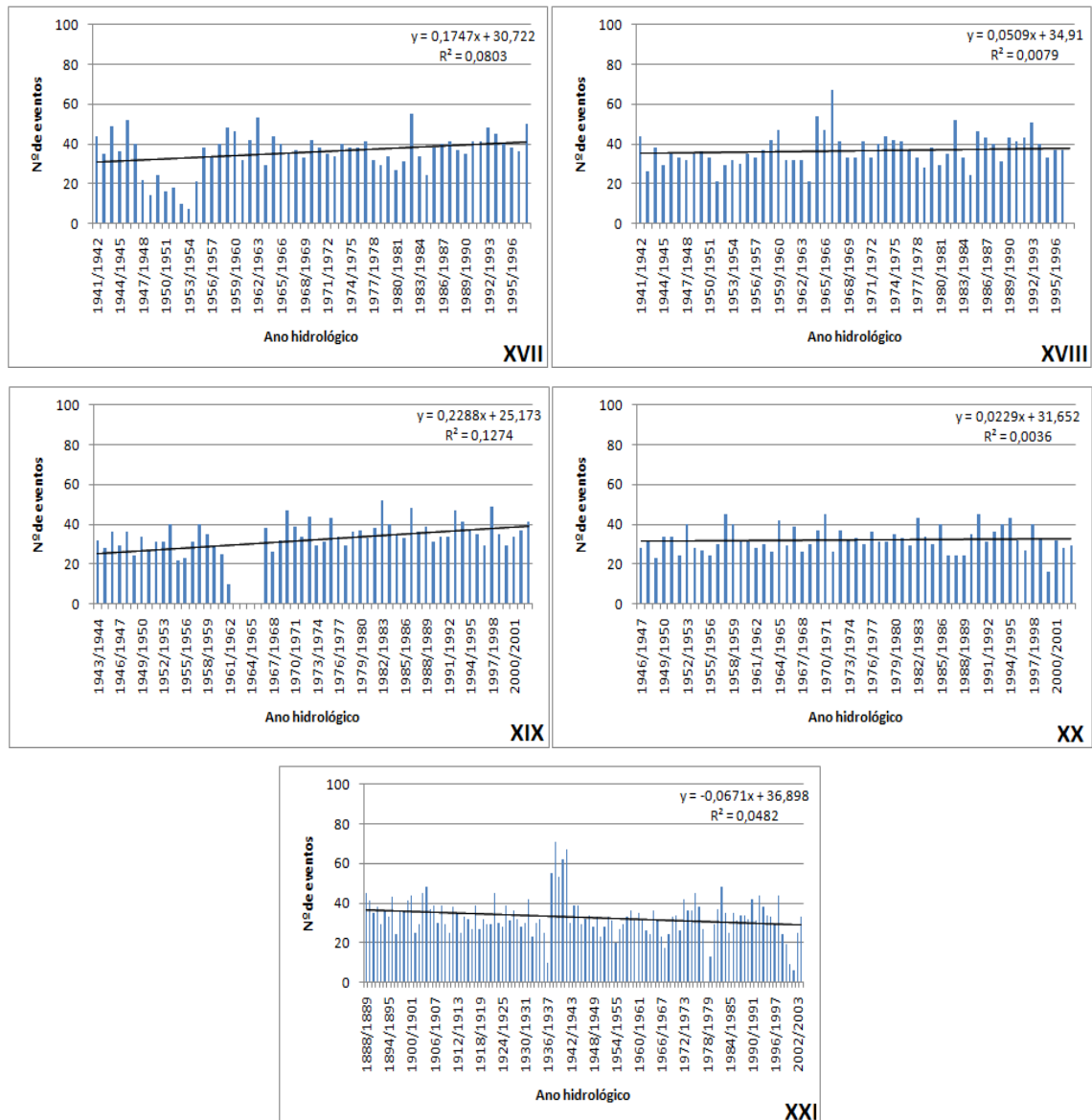
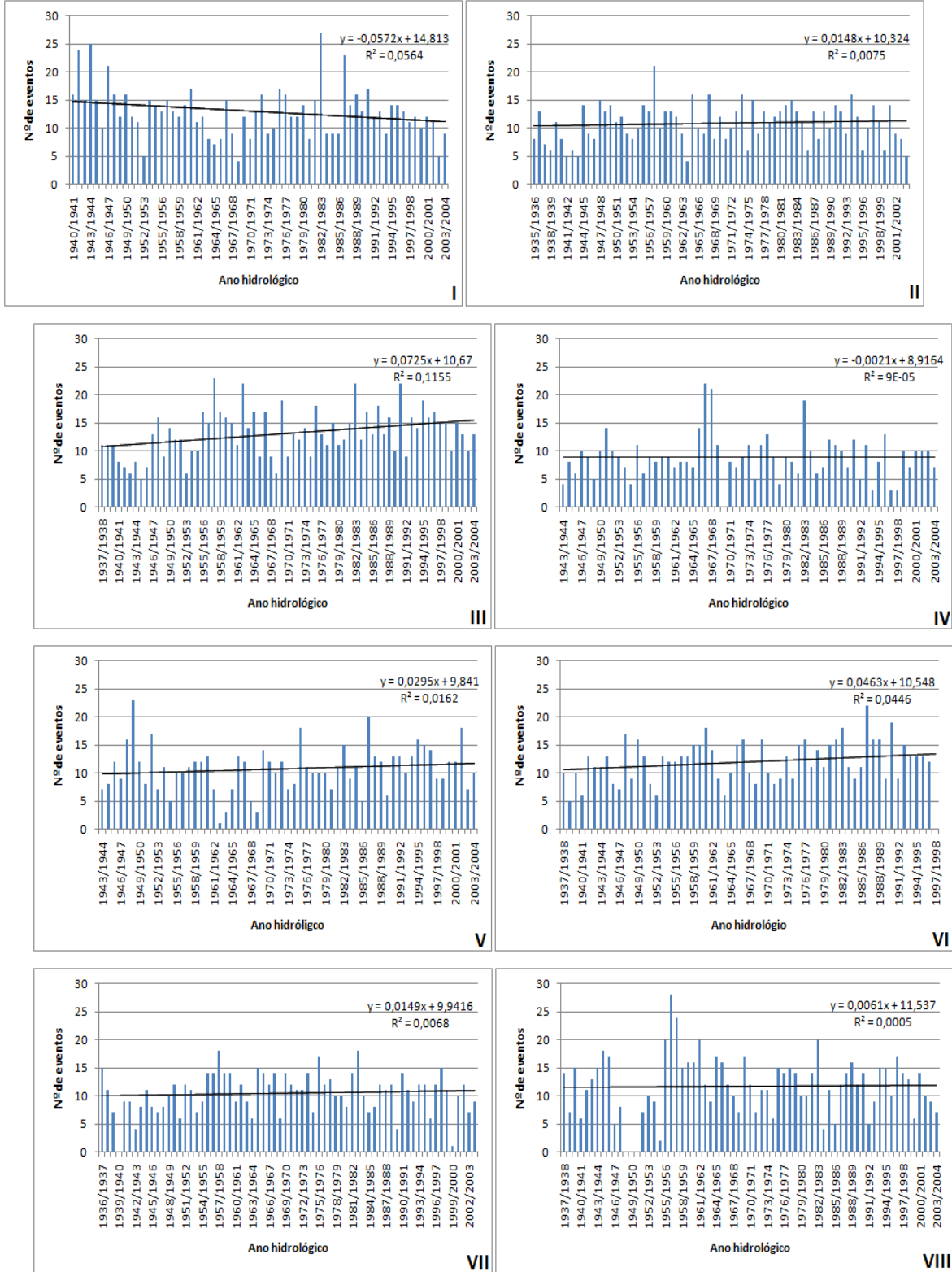
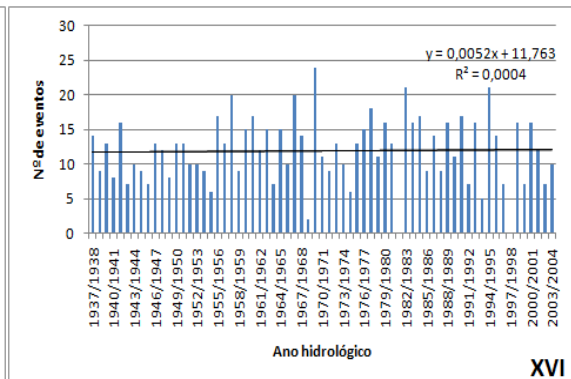
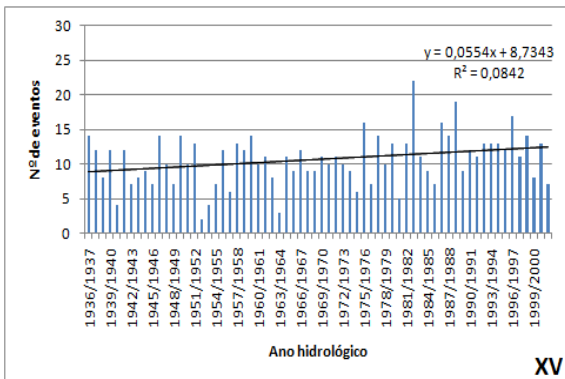
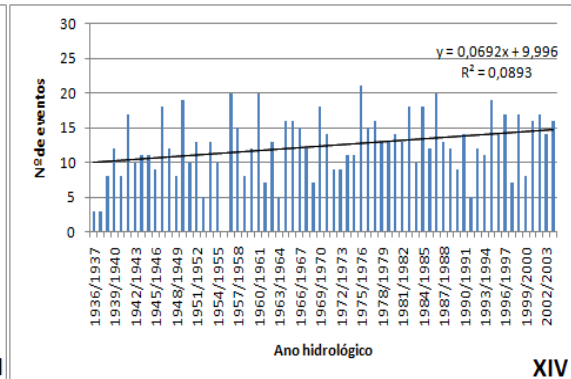
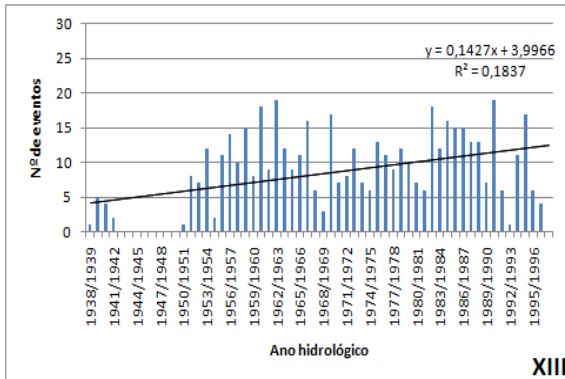
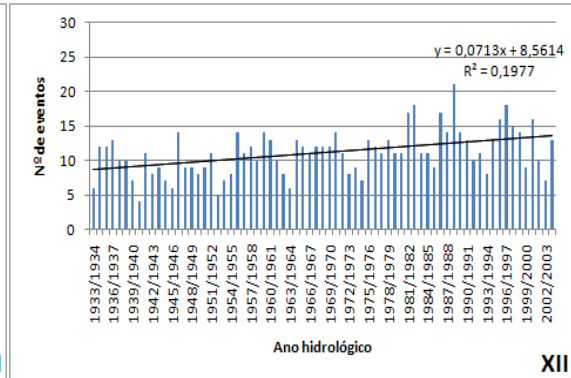
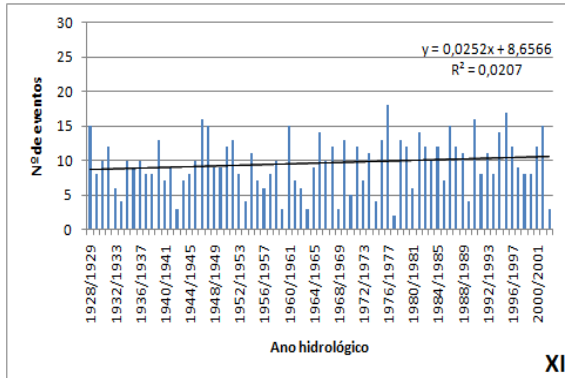
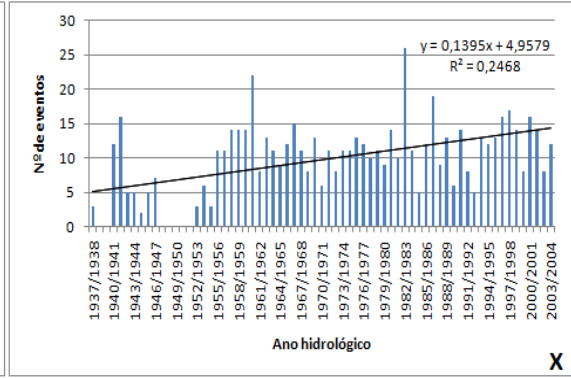
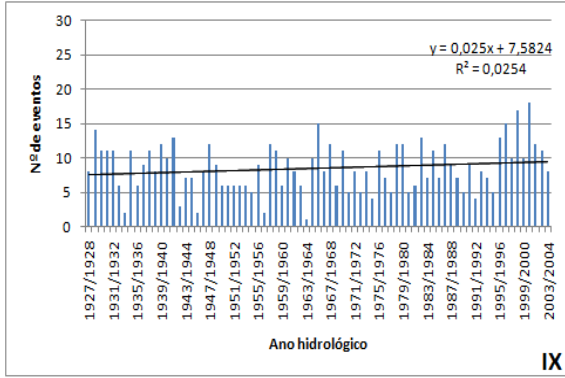


Figura 60: Número de eventos anual de precipitação moderada. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beith; VIII) Barueri; IX) Salesópolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesópolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana; XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII) Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.

APÊNDICE E - As figuras abaixo representam a distribuição do número de eventos anuais de precipitação maiores que 30,0 mm/dia com suas respectivas linhas de tendências.



(continua)



(continua)

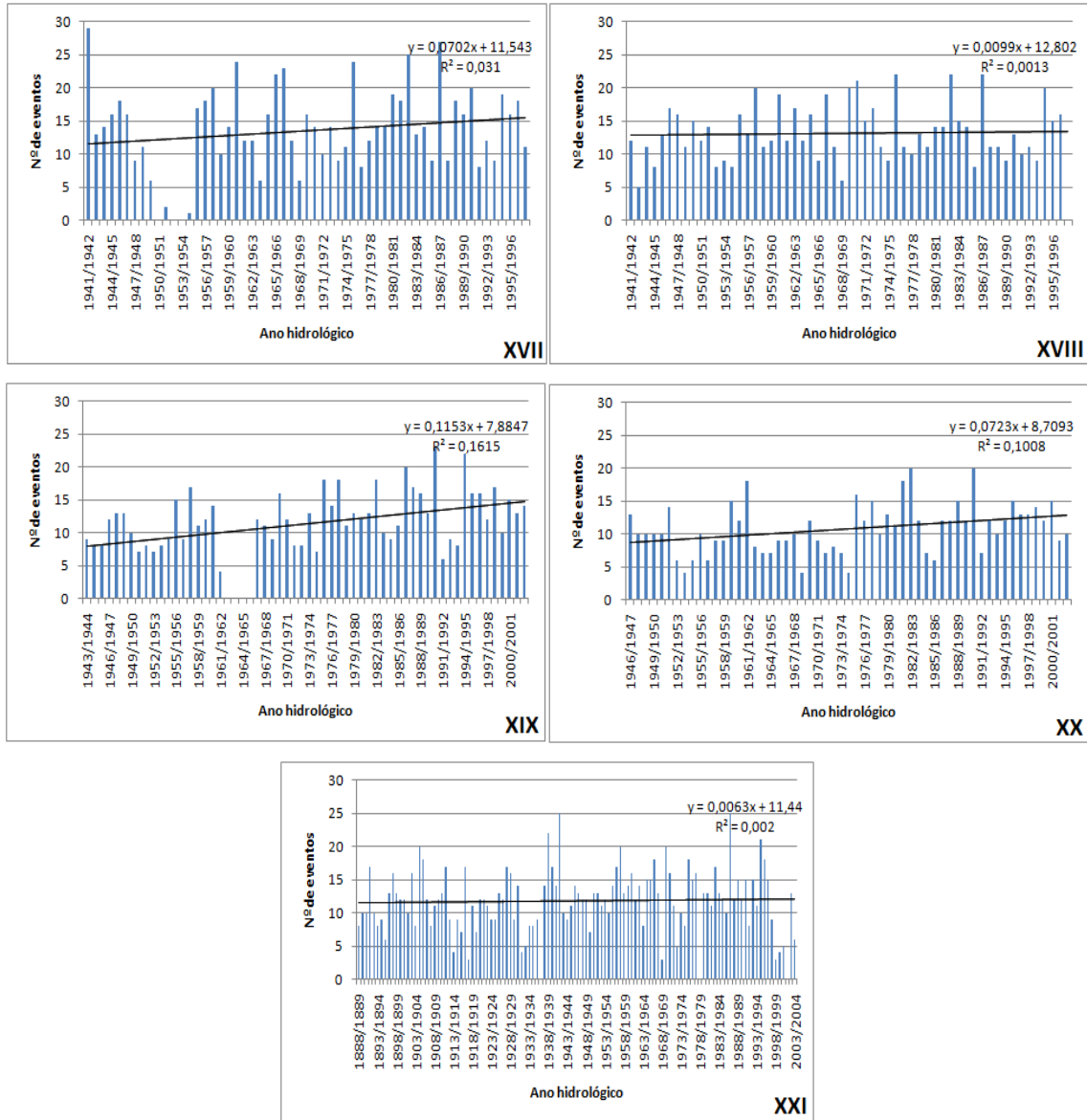
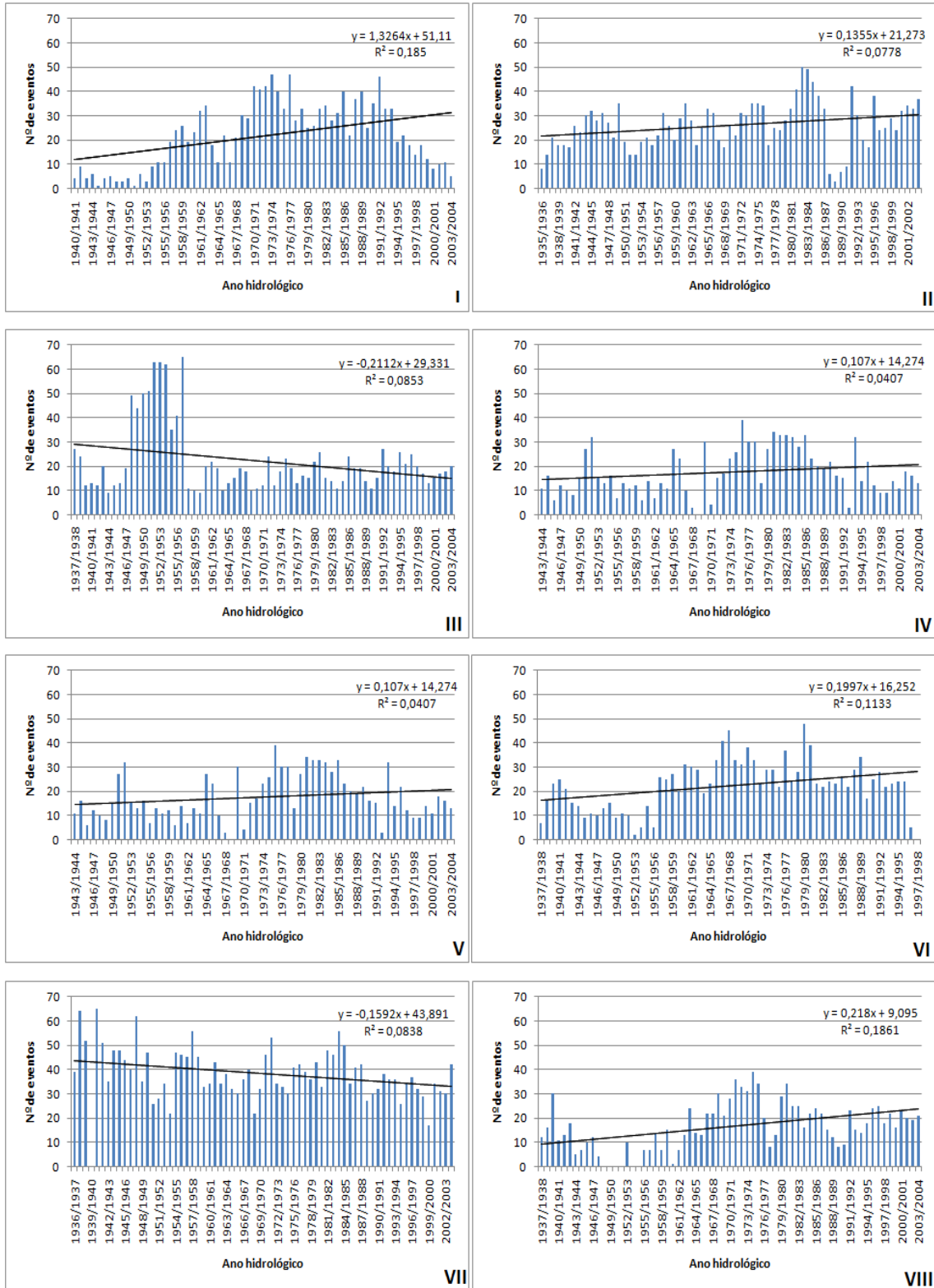
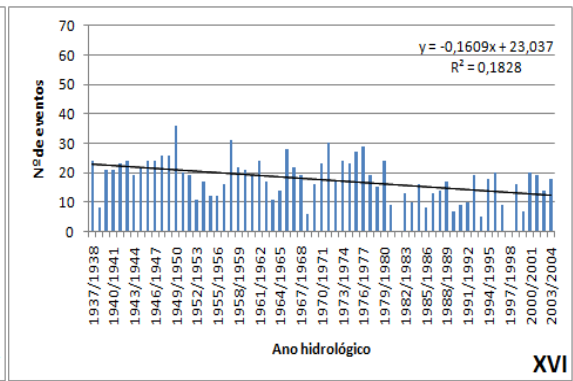
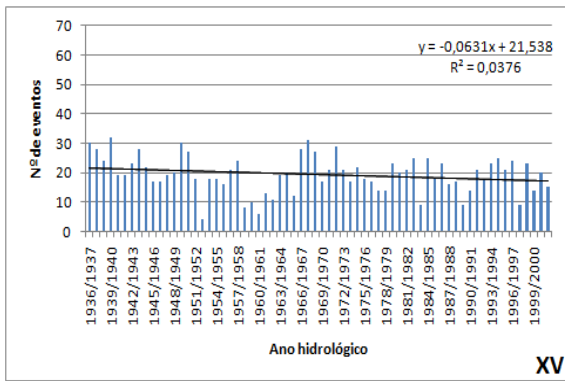
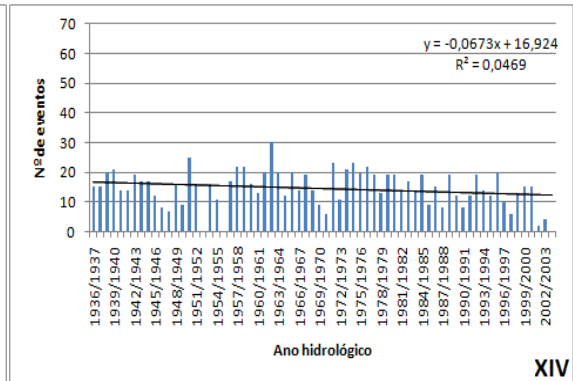
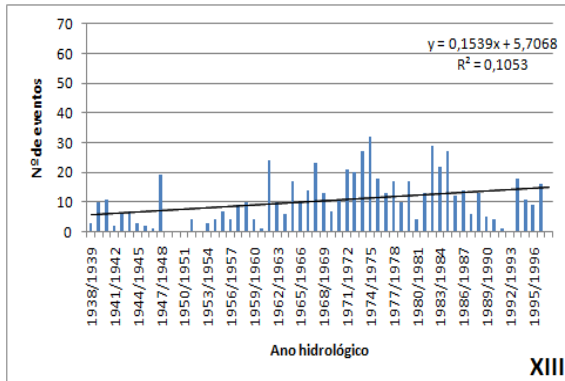
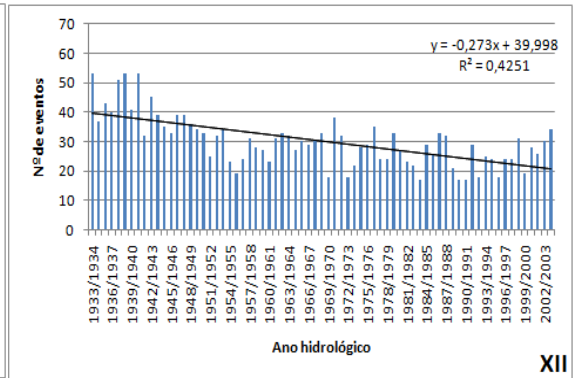
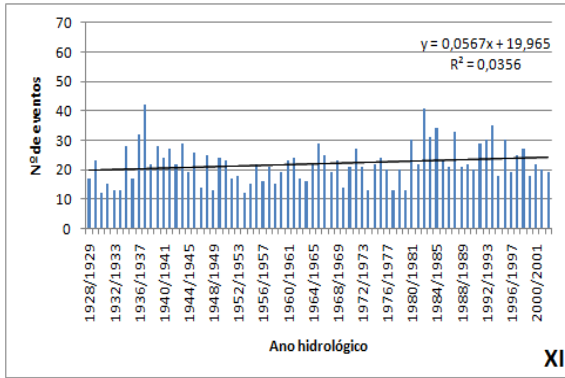
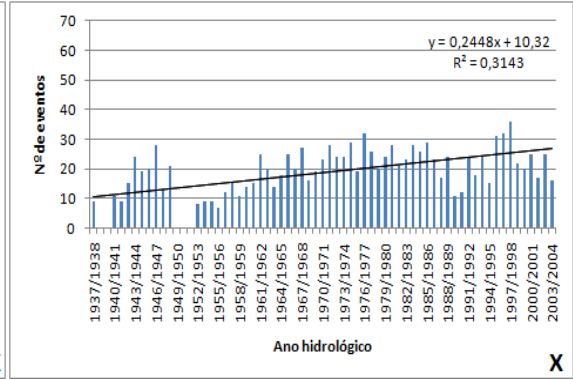
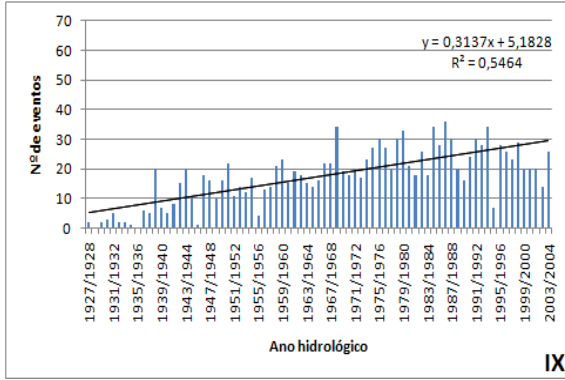


Figura 61: Número de eventos anual maiores que 30 mm/dia. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beith; VIII) Barueri; IX) Salesópolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesópolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana; XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII) Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.

APÊNDICE F - As figuras abaixo representam a distribuição do número de eventos sazonais de precipitação da classe chuvoso, com suas respectivas linhas de tendências.



(continua)



(continua)

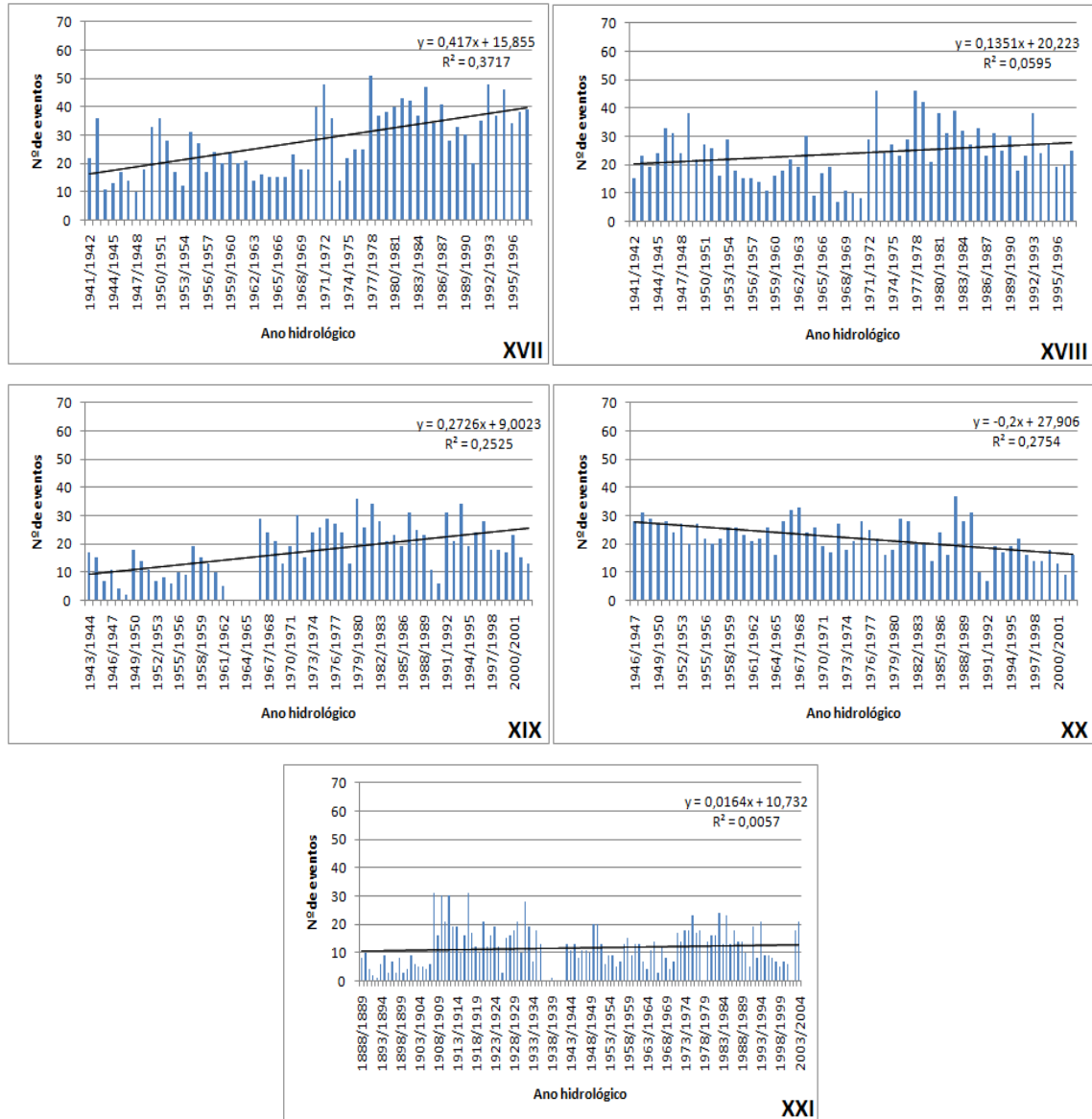
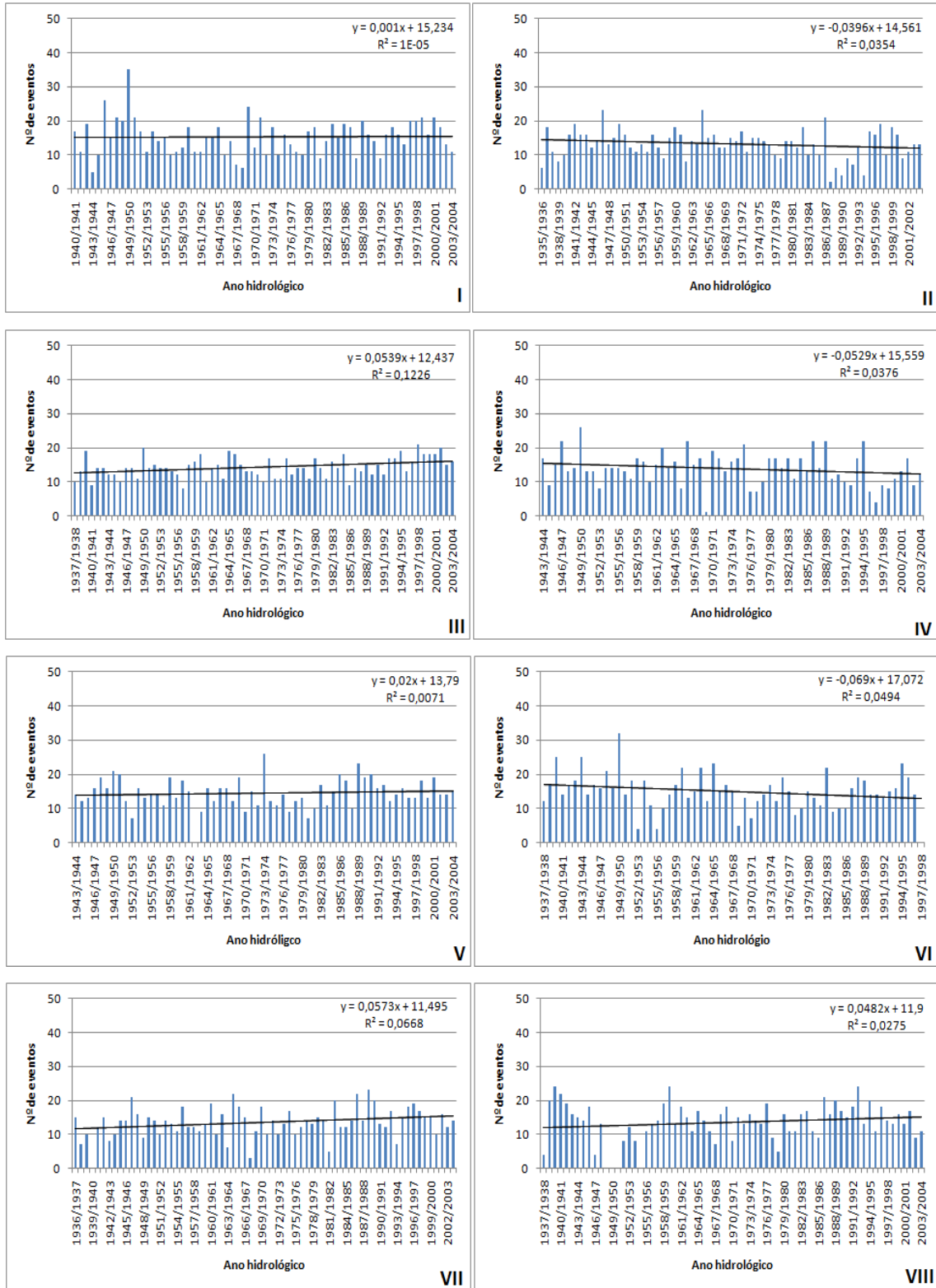
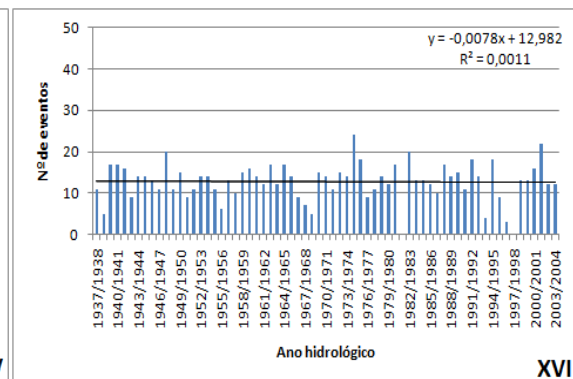
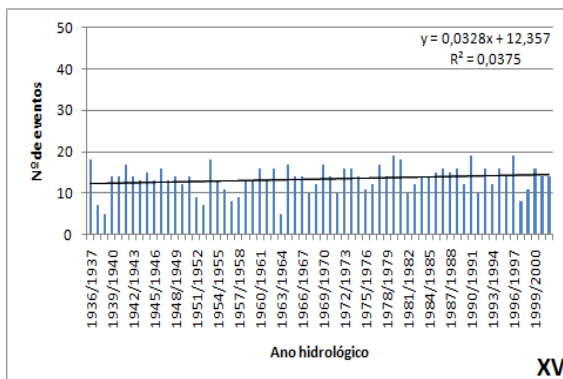
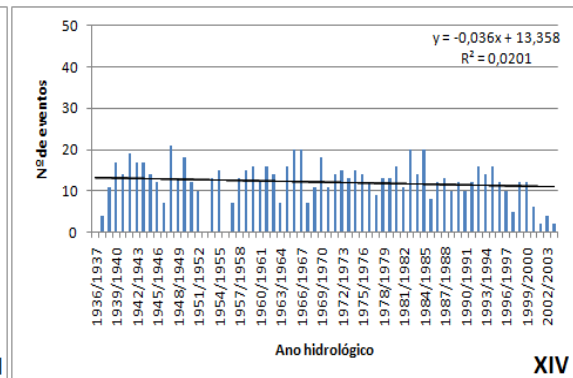
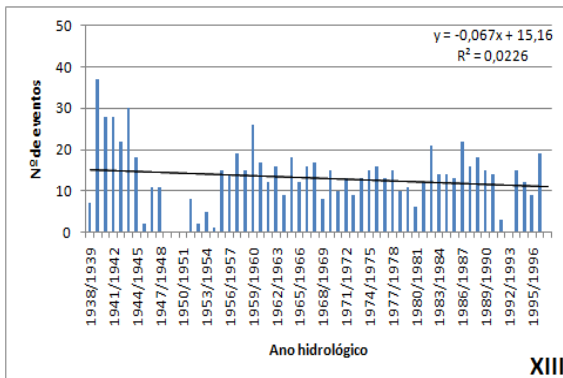
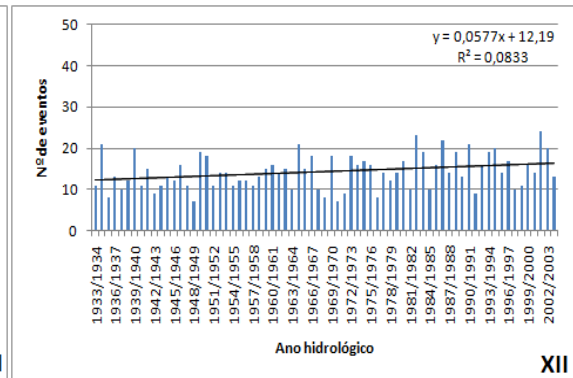
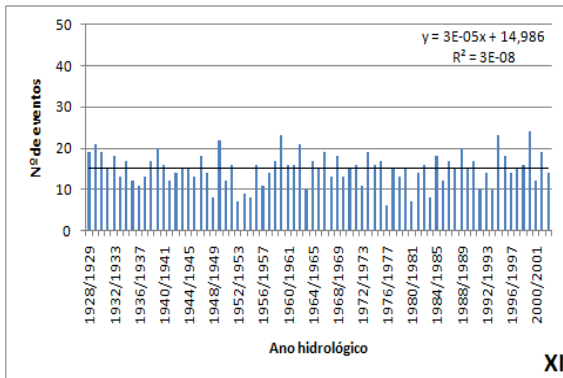
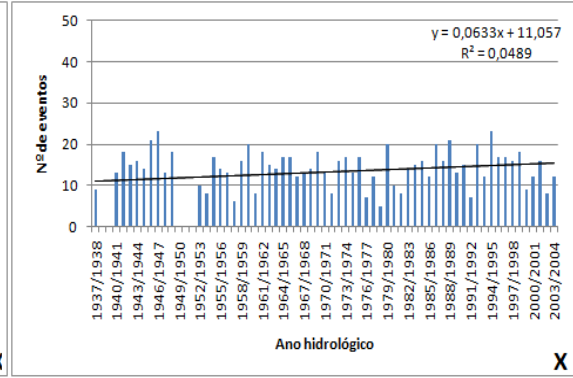
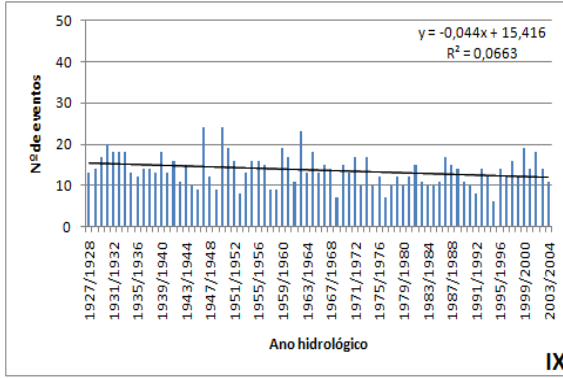


Figura 62: Número de eventos sazonal de precipitação chuvisco. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beitch; VIII) Barueri; IX) Salesópolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesópolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana; XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII) Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.

APÊNDICE G - As figuras abaixo representam a distribuição do número de eventos sazonais de precipitação da classe moderada, com suas respectivas linhas de tendências.



(continua)



(continua)

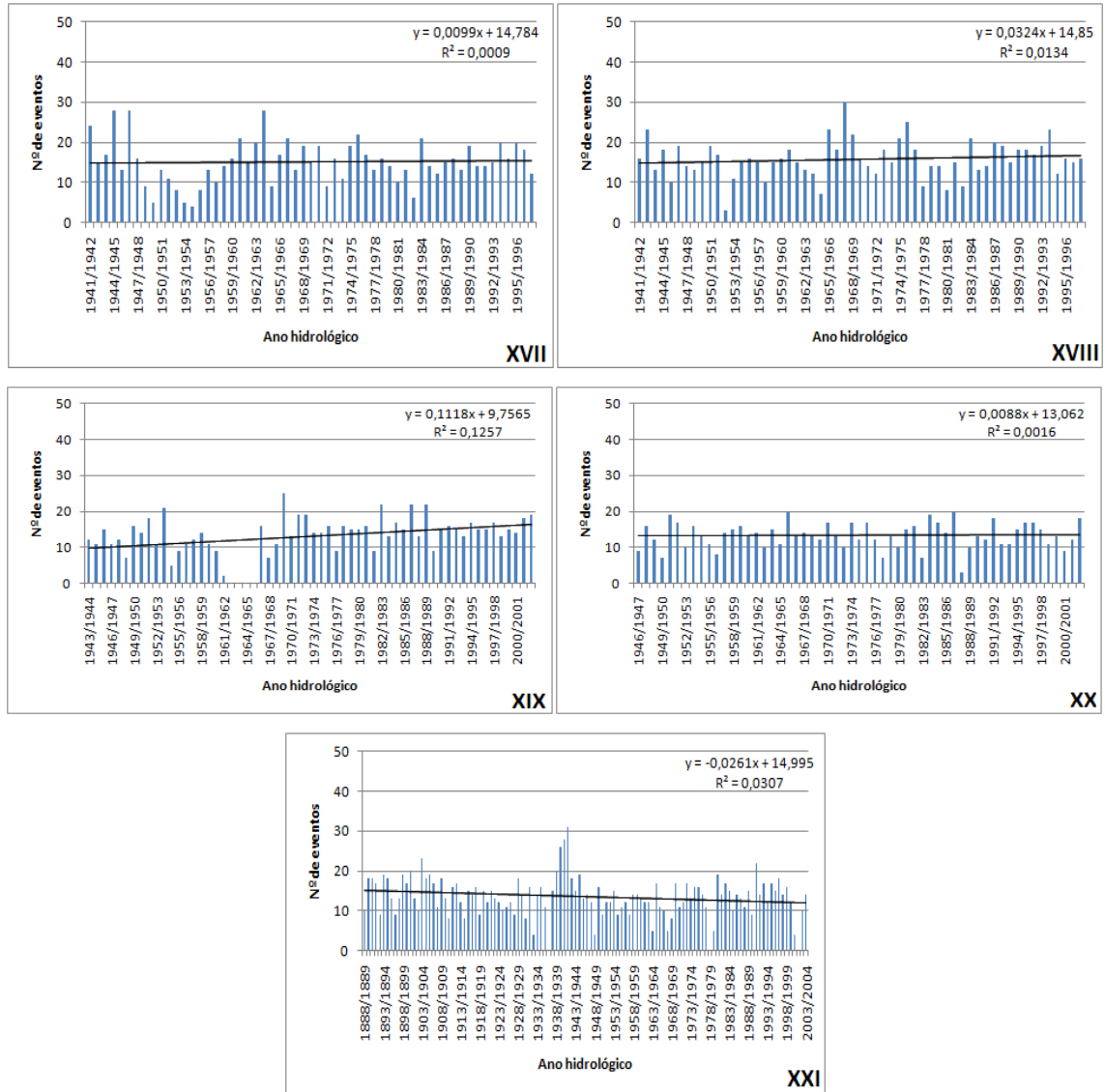
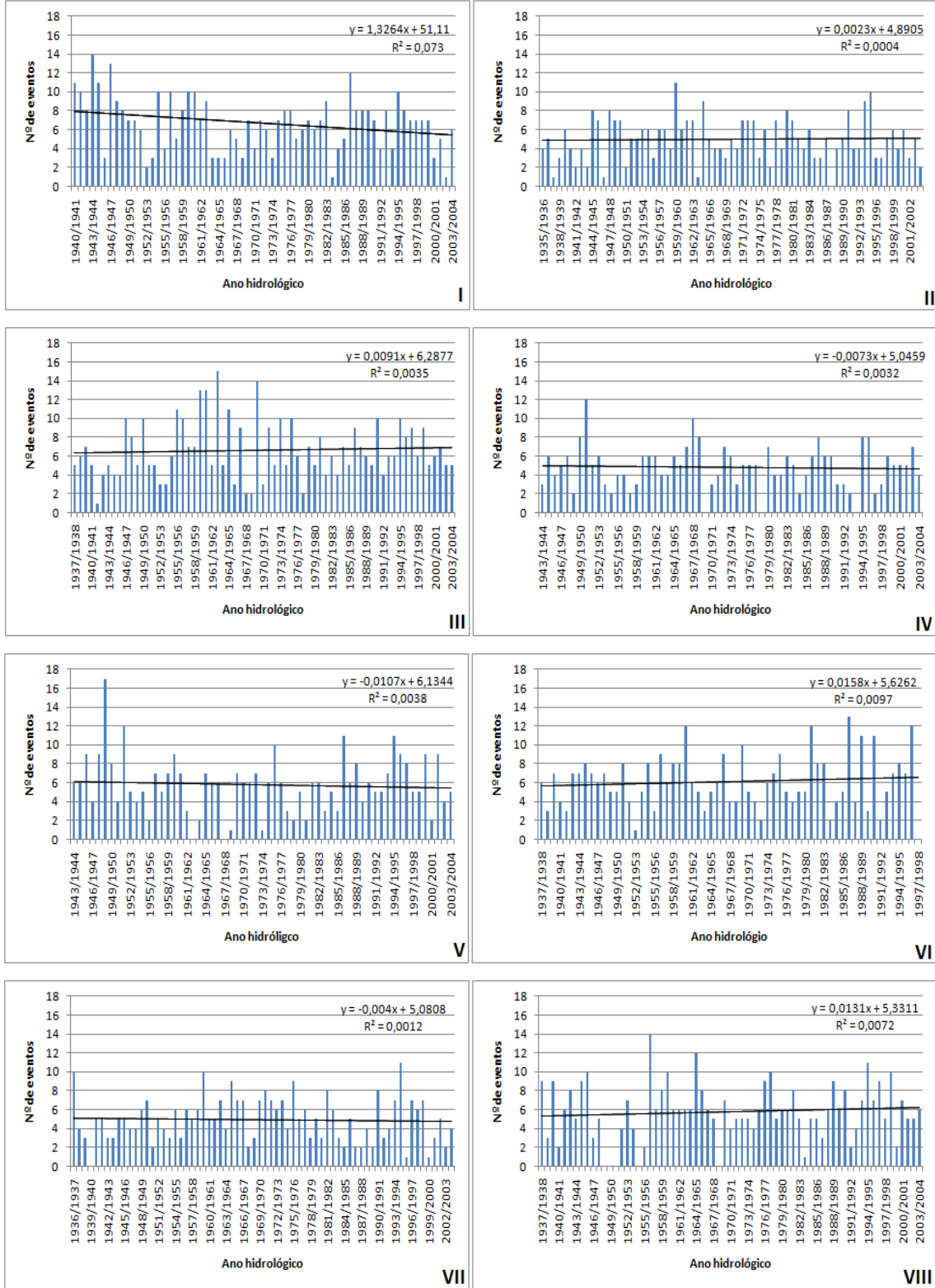
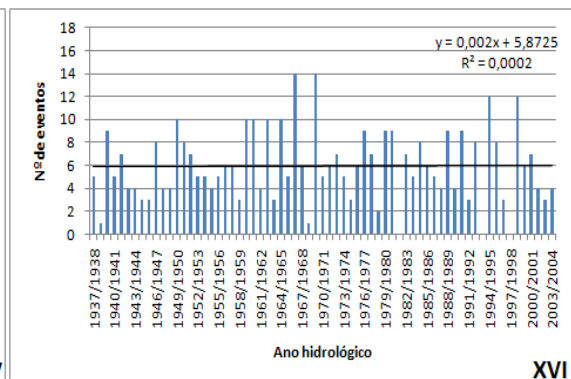
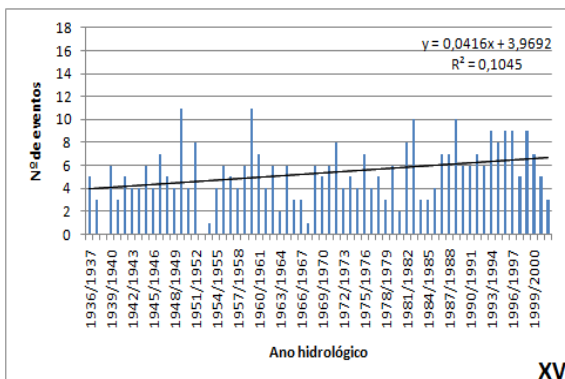
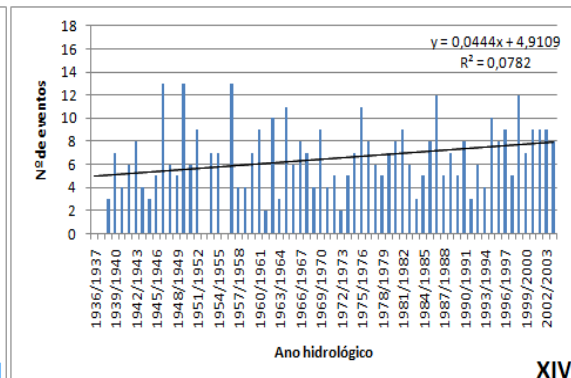
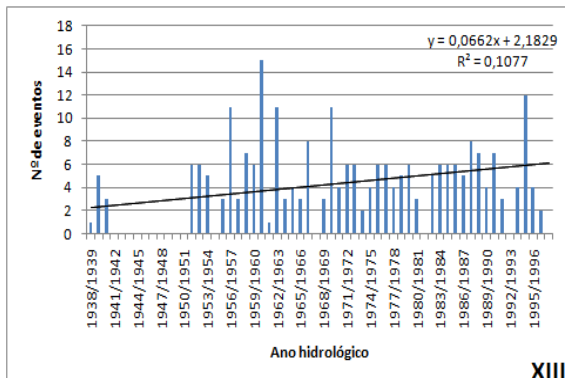
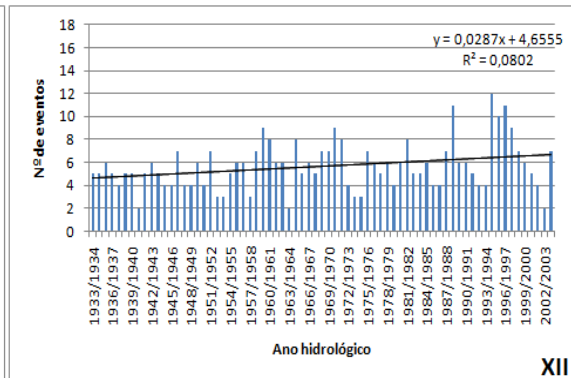
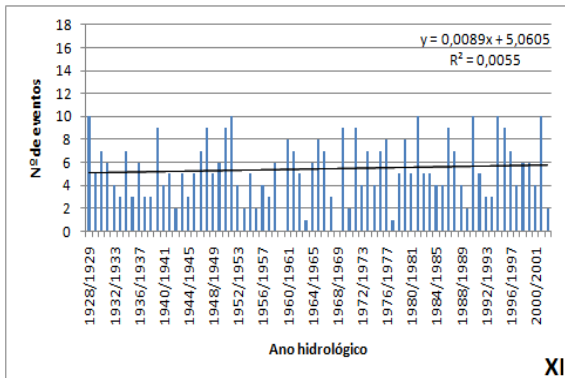
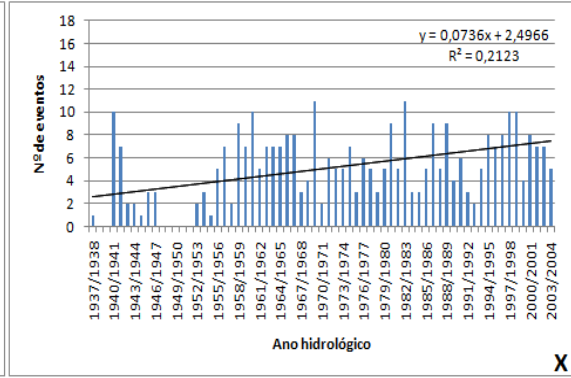
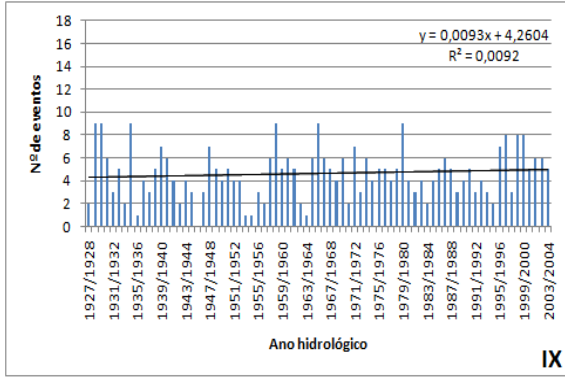


Figura 63: Número de eventos sazonal de precipitação moderada. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beith; VIII) Barueri; IX) Salesópolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesópolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana; XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII) Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.

APÊNDICE H - As figuras abaixo representam a distribuição do número de eventos sazonais de precipitação acima de 30,0 mm/dia, com suas respectivas linhas de tendências.



(continua)



(continua)

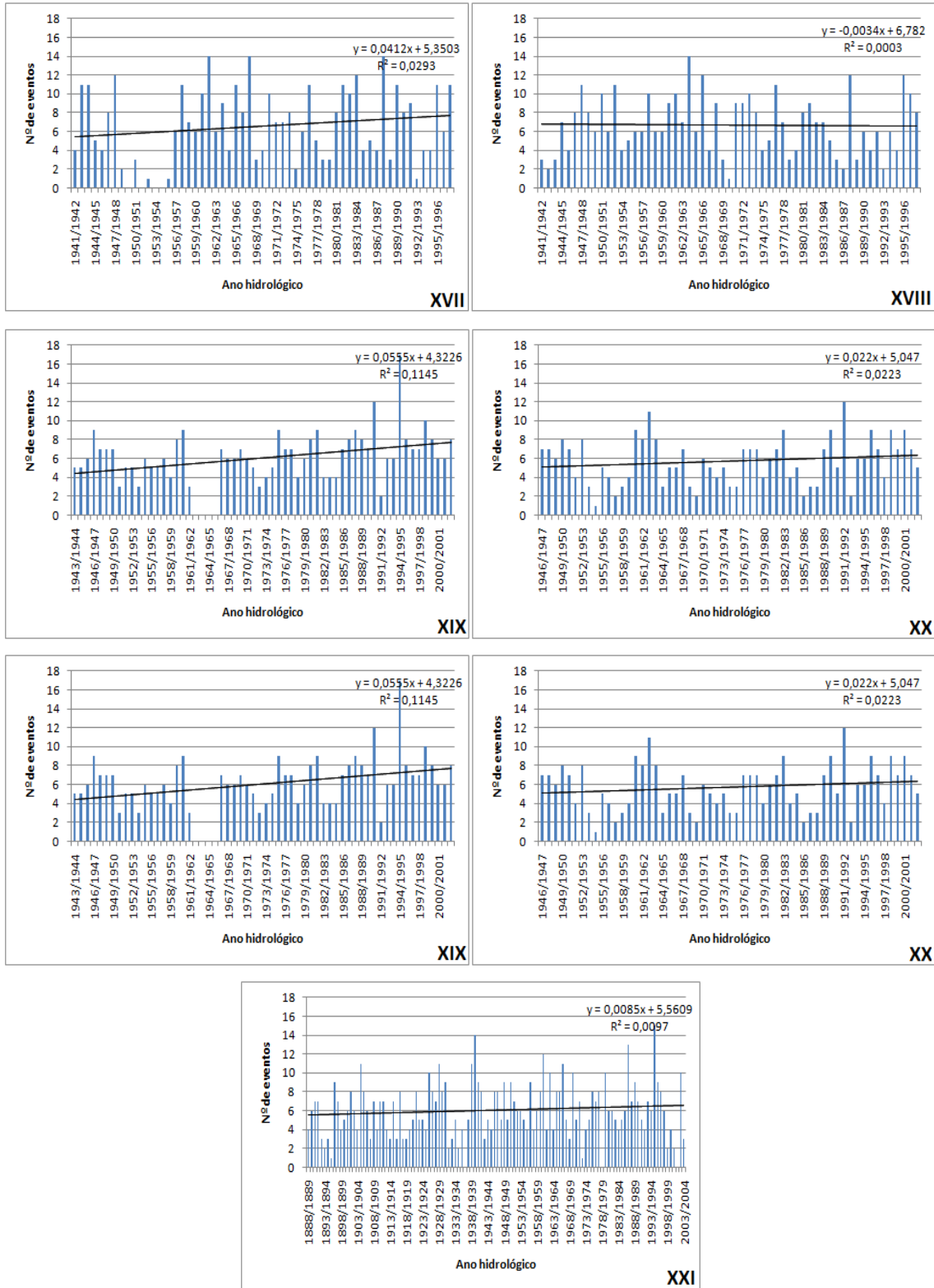


Figura 64: Número de eventos sazonal maiores que 30 mm/dia. I) Guarulhos; II) Cachoeira da Graça; III) Franco da Rocha; IV) Guararema; V) Itaquaquecetuba; VI) Mairiporã; VII) Pedro Beith; VIII) Barueri; IX) Salesópolis; X) Santa Isabel; XI) Usina Salesópolis; XII) IAG; XIII) Perus; XIV) Santana; XV) Santo Amaro; XVI) Água Branca; XVII) Barrocada; XVIII) Engordador; XIX) Instituto Biológico; XX) Congonhas Aeroporto e XXI) Estação da Luz. Fonte: Autor, 2011.