

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

CHUVAS INTENSAS NO AQUIPÉLAGO DE CABO VERDE

Jairson Jorge Silva Varela

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
NOVEMBRO/2007**

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

CHUVAS INTENSAS NO AQUÍPÉLAGO DE CABO VERDE

Jairson Jorge Silva Varela

**Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para Conclusão
do Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental**

**Orientador
Dr. Roberto Valmir da Silva**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
NOVEMBRO/2007**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

CHUVAS INTENSAS NO ARQUIPÉLAGO DE CABO VERDE

JAIRSON JORGE SILVA VARELA

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental-TCC II**

BANCA EXAMINADORA:

Doutorando. Roberto Valmir da Silva
(Orientador)

Prof. Dr. Masato Kobiyama
(Membro da banca)

Dr^a Cláudia Weber Corseuil
(Membro da banca)

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
NOVEMBRO/2007**

Dedico esse trabalho de conclusão de curso com muito amor, carinho e eterna gratidão aos meus pais, Raúl e Rosa, à minha madrastra Helena, ao meu irmão Juary, às minhas irmãs Lenira, Iolange e Lenise e à minha namorada Elizângela.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Roberto Valmir, pela atenção dedicada.

Ao Sr. José Moreno, que prontamente nos atendeu e disponibilizou todos os dados necessários para o desenvolvimento do trabalho.

Aos colegas de estágio da SANETAL Engenharia pelo companheirismo, amizade e incentivo.

E aos amigos Amaro, Bruno, Marilucia e Vicente pela presteza, apoio e contribuição efetiva durante a elaboração do trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÔNIMOS E SÍMBOLOS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ANEXOS	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 CHUVAS INTENSAS.....	15
1.2 JUSTIFICATIVAS	17
1.3 OBJETIVO GERAL	17
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.5 HIPÓTESES.....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 O CICLO HIDROLÓGICO	18
2.2 PRECIPITAÇÃO	20
2.2.1 Chuvas convectivas ou de convecção.....	20
2.2.2 Chuvas ciclônicas ou frontais	21
2.2.3 Chuvas orográficas ou de relevo.....	21
2.3 MEDIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO.....	22
2.4 ANÁLISE DOS DADOS.....	25
2.4.1 Preenchimento de Falhas	25
2.4.2 Análise de Consistência dos Dados	25
2.4.3 Método da Dupla Massa	26
2.4.3.1 Mudança de Declividade.....	26
2.4.3.2 Alinhamento dos Pontos em Retas Paralelas.....	27
2.4.3.3 Distribuição Errática De Pontos	27
2.4.4 Método do Vetor Regional	27
2.5 TEMPO DE RETORNO.....	30
2.6 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS.....	31
2.7 PRECIPITAÇÕES MÉDIAS SOBRE UMA BACIA HIDROGRÁFICA....	33
2.8 MÉTODOS ESTATÍSTICOS E DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE	35
2.8.1 Distribuições Assintóticas dos Extremos.....	36
2.8.2 Distribuição Assintótica dos Extremos do Tipo I para séries de máximos ou Distribuição de Gumbel.....	37
2.9 MÉTODO DA RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÕES DE DIFERENTES DURAÇÕES	40

2.10	CORRELAÇÃO E REGRESSÃO.....	41
2.11	ESTUDOS DE CHUVAS INTENSAS	42
3	METODOLOGIA	43
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	43
3.1.1	O ARQUIPÉLAGO DE CABO VERDE	43
3.1.1.1	O Relevo	43
3.1.1.2	O Clima.....	45
3.1.1.3	Generalidades.....	45
3.1.2	A ilha de Santiago.....	45
3.1.3	MORFOLOGIA da Ilha de santiago.....	46
3.2	DADOS.....	49
3.3	PREENCHIMENTO DE FALHAS.....	50
3.4	ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA DOS DADOS	50
3.5	MONTAGEM DAS SÉRIES DE MÁXIMAS ANUAIS.....	55
3.6	MONTAGEM DAS SÉRIES DE MÉDIAS MÁXIMAS ANUAIS.....	55
3.7	AJUSTE DA DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE.....	60
3.8	MÉTODO DAS RELAÇÕES ENTRE CHUVAS DE DIFERENTES DURAÇÕES	62
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	63
4.1	ESTABELECIMENTO DAS RELAÇÕES IDF	64
4.2	REPRESENTAÇÃO GÁRAFICA DAS RELAÇÕES IDF	66
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	68
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÔNIMOS E SÍMBOLOS

CV – Cabo Verde

F – Frequência

FCP – Função cumulativa de probabilidade

FDP – Função densidade de probabilidade

i - Intensidade

IDF – Intensidade-duração-frequência

L/m² - Litros por metro quadrado

L/s. ha⁻¹ – Litros por segundo por hectares

min - Minuto

mm – Milímetro

mm/h – Milímetro por hora

mm/d – Milímetro por dia

ONU – Organização das Nações Unidas

P – Altura pluviométrica

r - Altura pluviométrica

t - Duração

Tr – Período de Retorno

WMO – Organização Mundial de Meteorologia

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ciclo Hidrológico	19
Figura 2.2 – Chuva convectiva ou de convecção.....	21
Figura 2.3 – Chuva ciclônica ou frontal	21
Figura 2.4 – Chuva orográfica ou de relevo	22
Figura 2.5 – Pluviógrafo	23
Figura 2.6 – Pluviógrafo	24
Figura 2.5 – Traçado da mediatriz	33
Figura 2.6 – Definição do polígono de área.....	34
Figura 3.1 – Arquipélago de Cabo Verde	43
Figura 3.2 – Pico do Vulcão (Ilha do Fogo)	44
Figura 3.3 – Topo de Coroa (Ilha de Santo Antão)	44
Figura 3.4 – Serra da Malagueta (Ilha de Santiago)	44
Figura 3.5 – Alagamento na cidade da Praia –Ilha de Santiago (CV).....	46
Figura 3.6 – Localização dos postos estudados	49
Figura 3.7 – Análise de consistência (S. Francisco X S. Jorge)	51
Figura 3.8 – Análise de consistência (Trindade X S. Jorge).....	51
Figura 3.9 – Análise de consistência (Trindade X S. Francisco).....	52
Figura 3.10 – Análise de consistência (aeroporto X S. Jorge).....	52
Figura 3.11 – Análise de consistência (aeroporto X S. Francisco).....	53
Figura 3.12 – Análise de consistência (aeroporto X Trindade)	53
Figura 3.13 – Análise de consistência (Pontos a serem corrigidos)	54
Figura 3.14 – Análise de consistência (aeroporto X S. Jorge) – Corrigido	55
Figura 3.15 – Traçado dos Polígonos de Thissen – Período 1.....	56
Figura 3.16 – Áreas de cobertura dos postos – período 1	56
Figura 3.17 – Traçado dos Polígonos de Thissen – Período 2.....	56
Figura 3.18 – Áreas de influência dos postos – período 2.....	56
Figura 3.19 – Traçado dos Polígonos de Thissen – Período 3.....	57
Figura 3.20 – Áreas de influência dos postos – período 3	57
Figura 3.21 – Traçado dos Polígonos de Thissen – Período 4.....	57
Figura 3.22 – Áreas de influência dos postos – período 4.....	57
Figura 3.20 – Representação gráfica da regressão linear quadrática	62
Figura 4.1 – Representação gráfica da IDF – (5 à 30 minutos)	66
Figura 4.2 – Representação gráfica da IDF – (1à 24 horas)	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Média(Y_n) e desvio padrão (S_n) da variável reduzida para diferentes valores do tamanho da amostra (N)	38
Tabela 2.2 – Relação entre alturas de chuvas de diferentes durações	40
Tabela 3.1 – Informações dos postos pluviométricos da ilha de Santiago (CV)	49

Tabela 3.2 – Áreas de influência dos postos e seus respectivos períodos correspondentes.....	58
Tabela 3.3 – Série de máximas médias anual através do método de Thiessen.....	59
Tabela 3.4 – Distribuição de Gumbel para as séries de médias máximas anuais	60
Tabela 3.5 – Estimativa de alturas de chuvas de 1 dia de duração para diferentes tempos de retorno	61
Tabela 4.1 – Alturas de chuva para diferentes durações e tempos de retorno	63
Tabela 4.2 – Alturas de chuva para diferentes durações e tempos de retorno	64

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 – Posto Pluviométrico de São Francisco.....	72
ANEXO 2 – Posto Pluviométrico de São Jorge dos Órgãos	73
ANEXO 3 – Posto Pluviométrico da Trindade.....	74
ANEXO 4 – Posto Pluviométrico do Aeroporto Internacional da Cidade da Praia ..	75

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo das relações intensidade-duração-frequência (IDF) para as chuvas intensas ocorridas na Ilha de Santiago, arquipélago de Cabo Verde. O estudo dessas precipitações é de grande interesse para os trabalhos de hidrologia devido à freqüente aplicação na estimativa das vazões de projeto para dimensionamento de obras de engenharia tais como: drenagem urbana, obras de contenção, canais de macro drenagem e vertedores de barragens. Para estabelecer as IDF, utilizou-se de series históricas de 4 postos pluviométricos localizadas na ilha de Santiago, sendo duas com 27, uma de 23 e outra de 11 anos de observação. Antes de utilizar as séries efetuou-se uma análise de consistência dos dados dos 4 postos, sendo que apenas 1 necessitou de correção. Foram usadas séries de máximas anuais e, através do método de Thiessen, foi montada uma série de chuva média máxima para a região. Através do ajuste dos valores observados à distribuição de probabilidade de Gumbel, foi feita uma estimativa das alturas de chuvas para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, com base no histórico observado e nos parâmetros adimensionais regionais de posição e de escala dos 4 postos pluviométricos. Através do método das relações entre chuvas de diferentes durações, corrigiu-se as chuvas de 1 dia para chuvas de durações menores, obtendo assim as relações IDF para as durações de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos, 1, 6, 10, 12 e 24 horas. Os resultados encontrados podem ser usados no dimensionamento de obras hidráulicas, de pequeno e médio porte, como drenagem predial, micro drenagem urbana, bueiros, canais entre outros.

PALAVRAS-CHAVE: Relações IDF; Método de Thiesen; Distribuição de Gumbel; Método de Parâmetros adimensionais regionais, Obras hidráulicas.

ABSTRACT

This work presents a study of the relationship intensity-duration-frequency (IDF) for intense rainfall occurred in the Island of Santiago, archipelago of Cape Verde. The study of these precipitations is of great interest for the works of hydrology due to its frequent application in the estimative of the outflows of project for sizing of works of engineering such as: urban draining, works of containment, canals of macro drainage and vertedores of barrages. To establish the IDF, we used historical series of 4 rainfall ranks located in the island of Santiago, being two with 27 years of observation, one with 23 years and another with 11 years. Before using the series, we made analysis of the consistency of the data of the 4 posts, being that only 1 needed some correction. We used series of annual maximum and, through the method of Thiessen, we derived a raking of the maximum of the medium rainfall for the region. By adjusting the observed values to the probability distribution of rainfall of Gumbel of different duration we could correct one-day rains for rains of shorter length, thus obtaining IDF relationship for the duration of 5, 10, 15, 20, 25 and 30 minutes, 1, 6, 10, 12 and 24 hours. The results encountered can be used at small and medium hydraulic works such as drainage in buildings, micro urban drainage, culverts and canals.

KEY-WORDS: Relations of intensity-duration-frequency; Method of Thiesen; Distribution of Gumbel; Method of Regional dimensionless parameters, Hydraulic Works.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CHUVAS INTENSAS

A chuva intensa é aquela que apresenta grande lâmina precipitada durante pequeno intervalo de tempo.

De acordo com Zanetti (2003, apud, Silva et al, 1999a), as chuvas intensas, por serem de curta duração e grande intensidade, não possuem tempo suficiente para a água infiltrar e distribuir no solo. A água satura rapidamente as primeiras camadas do solo e escoar pela superfície, provocando erosão, enchentes e inundações.

O estudo dessas precipitações é de grande interesse para os trabalhos de hidrologia devido à freqüente aplicação na estimativa das vazões de projeto para dimensionamento de obras de engenharia tais como: obras de contenção, drenagem urbana, canais de macro drenagem, vertedores de barragens, entre outras.

Para o dimensionamento dessas obras é necessário conhecer os eventos pluviométricos extremos ocorridos no local, para que se possa caracterizar a chuva de projeto, a partir da qual é definida a vazão a ser utilizada no dimensionamento das mesmas.

Obras de engenharia hidráulica tanto de micro ou macro drenagem, urbana ou rural, dependem da estimativa da vazão de projeto que, por sua vez, é diretamente associada à intensidade das chuvas aliada ao risco admissível.

Deste modo, deve-se projetá-las levando em conta o risco admissível, uma vez que, existe o risco dessas obras falharem durante a sua vida útil.

Esse risco é justificado por fatores econômicos e também pela segurança efetiva da população. Pelo fato dessas obras possuírem custos elevados e servirem para amenizar o impacto das chuvas sobre uma população, é necessário, portanto, conhecê-lo. Para isso, analisa-se estatisticamente as precipitações observadas nos postos pluviométricos verificando-se com que freqüência as precipitações máximas esperadas assumirão uma determinada magnitude.

Freitas et al. (2001), afirmam que é difícil determinar magnitudes para caracterizar chuvas intensas, pois, em áreas rurais, uma chuva pode ser considerada não danosa, enquanto que, em áreas urbanas, devido a maior intensidade de ações antrópicas, os danos poderão ser relevantes.

Uma das formas de caracterizar as chuvas intensas é através das relações de intensidade, duração e freqüência da precipitação pluvial. As relações intensidade duração e freqüência (IDF) permitem caracterizar as precipitações máximas prováveis, relacionando a probabilidade de o evento ser igualado ou superado em sua intensidade e duração (TUCCI, 1998).

O intervalo de tempo entre o evento extremo até ele ser igualado ou superado é conhecido como tempo de retorno. A estimativa do tempo do retorno é de extrema importância na caracterização de chuvas intensas. Ressalta-se que o tempo de retorno não tem caráter cíclico. Por exemplo, um evento com um tempo de retorno de 50 anos, ou seja, ocorre em média a cada 50 anos, pode acontecer daqui a cinco anos ou até mesmo ser superado várias vezes nos próximos 30 anos.

O tempo de retorno é o inverso da probabilidade de um evento acontecer. Numa série de eventos observados num local, se o período de retorno for inferior ao número de anos de observação, obter-se-á um próximo ao valor real da probabilidade, através do simples cálculo da inversa. Entretanto, para grandes períodos de retorno, as observações deverão ser ajustadas a uma distribuição de probabilidades, de forma que o cálculo da probabilidade possa ser efetuado de modo correto.

Segundo Villela & Mattos (1975), em estudos hidrológicos, além do conhecimento das precipitações máximas observadas nas séries históricas, necessita-se da previsão das precipitações máximas que possam vir a ocorrer na localidade com determinada frequência.

Nota-se o quanto é importante o registro das alturas de chuvas numa determinada localidade. Porém, a utilização prática do histórico de precipitações intensas nos trabalhos de engenharia hidráulica requer o conhecimento das relações intensidade, duração e frequência (IDF).

As relações IDF podem ser expressas de forma gráfica através de curvas ou por meio das equações de chuvas intensas. A equação genérica tem a seguinte forma:

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(t + c)^d} \quad \text{Equação 1.1}$$

Onde:

i = intensidade da chuva (mm/h);

Tr = tempo de retorno (anos);

t = duração da chuva em (min);

a, b, c, d = parâmetros característicos de cada local.

A determinação das relações IDF e da equação de chuvas intensas, segundo Silva et al. (1999), Martinez Júnior (1999) e Costa & Brito (1999), apresenta grandes dificuldades. De entre os vários fatores que impõem tais dificuldades, destacam-se: a escassez de registros pluviográficos e os obstáculos para sua obtenção, a baixa densidade da rede de pluviógrafos e o pequeno período de observações disponível. Ressalta-se ainda que a metodologia para obtenção de registros exige um exaustivo trabalho de tabulação, análise e interpretação de uma grande quantidade de pluviogramas ou de alturas pluviométricas.

Segundo Nerilo et. al (2002), o ideal seria a existência de pluviógrafos ou até equipamentos mais sofisticados como radar meteorológico espalhados por toda a área de interesse. Com isso, as relações IDF e as equações de chuvas intensas seriam determinadas da maneira mais confiável possível.

Uma vez que essa hipótese implica um custo muito elevado, tanto no que tange a aquisição dos aparelhos como no concernente à delicada manutenção acarretada, na maioria das vezes, opta-se pela determinação das curvas de intensidade-duração-frequência de chuvas de curta duração as quais as únicas informações disponíveis são das alturas de chuvas de duração de 1 dia, registradas em pluviômetros. Porém, essas informações devem ser oriundas de períodos de observação, sem interrupção.

Segundo Bertoni & Tucci (1993), as relações IDF devem ser obtidas a partir da análise das observações das chuvas intensas durante um período de tempo suficientemente longo e representativo dos eventos extremos. O conhecimento das relações IDF ou da equação de chuvas intensas de uma localidade possibilita a aplicação de modelos matemáticos para estimativa de parâmetros como o tempo de concentração e a distribuição temporal da precipitação no local de interesse.

O arquipélago de Cabo Verde, até então, não possui uma equação de chuvas intensas e nota-se uma séria carência de estudos hidrológicos, o que se transformou numa dificuldade freqüentemente enfrentada pelos profissionais da área de engenharia, na elaboração de projetos de obras hidráulicas mais confiáveis e econômicas.

1.2 JUSTIFICATIVAS

As relações IDF são fundamentais para obras hidráulicas, de micro e macro drenagem, destacando-se os projetos que envolvem canalizações e contenções, uma vez que evitam o superdimensionamento de tais obras.

Obras hidráulicas como barragens galerias, canais, bacias de contenção, diques e outros, têm custos elevados e são geralmente financiados por dinheiro público. Sendo Cabo Verde um país pobre, se faz necessário a estimativa adequada da vazão de projeto e de outros parâmetros essenciais para o dimensionamento, visando minimizar os elevados custos a elas associados.

A segurança efetiva da população, no que diz respeito a enchentes e inundações decorrentes de chuvas intensas, estão diretamente ligadas ao correto dimensionamento de obras de contenção e de drenagem urbana.

A carência de estudos hidrológicos no arquipélago constitui um entrave aos profissionais da área de saneamento, no concernente à estimativa de vazões de projeto e tempos de retorno de chuvas intensas, para a realização de projetos de obras hidráulicas mais confiáveis e econômicos.

1.3 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivos gerais:

- Estudar as relações intensidade, duração e freqüência das chuvas intensas na ilha de Santiago, Arquipélago de Cabo Verde.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Analisar a consistência dos dados registrados nas quatro estações em estudo;
- Analisar as séries de chuvas máximas diárias registradas na ilha;
- Regionalizar as chuvas máximas diárias dos quatro postos estudados;
- Montar as séries de máximas anuais;
- Estimar os parâmetros e variáveis hidrológicos adimensionais regionais através da teoria das probabilidades e do tratamento estatístico das séries de duração anual;
- Estabelecer as relações intensidade-duração-freqüência (IDF) das chuvas registradas na região.
- Representar graficamente essas relações IDF.

1.5 HIPÓTESES

- A metodologia empregada neste estudo permite gerar a relação intensidade-duração-freqüência, com base nos dados pluviométricos observados nas estações existentes no arquipélago de Cabo Verde.
- Os valores de intensidade máxima de precipitações obtidas pelos gráficos IDF gerados neste trabalho apresentaram uma relação linear com os registros pluviográficos, para os períodos de retorno estudados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O CICLO HIDROLÓGICO

A água, nos seus diferentes estados físicos, está presente tanto na atmosfera como também na superfície terrestre. Impulsionado pela energia solar associada à força gravitacional e a rotação terrestre, a água perfaz o ciclo atmosfera-superfície terrestre, conhecido por ciclo hidrológico.

Considera-se que grande parte da água contida no ciclo hidrológico tem sido virtualmente constante durante a história da humanidade. O ciclo hidrológico não tem início ou fim. É um processo natural de dessalinização e purificação. A água que se evapora dos oceanos torna-se parte da atmosfera. O vapor de água é também transportado para a atmosfera por meio de evaporação dos corpos d'água como lagos, rios e também de todas as superfícies terrestres úmidas (permanentemente ou ocasionalmente), a partir da precipitação e da transpiração das plantas. Por meio do processo de condensação, a água da atmosfera finalmente retorna à superfície terrestre como precipitação sobre os oceanos e os continentes. (PHILIPPI et. al., 2006).

Sendo assim, o ciclo hidrológico é submetido a vários processos como precipitação, condensação, interceptação, infiltração, percolação, armazenamento, evaporação e escoamento superficial.

A Figura 2.1, ilustra o constante processo de mudança de estado da água na natureza.

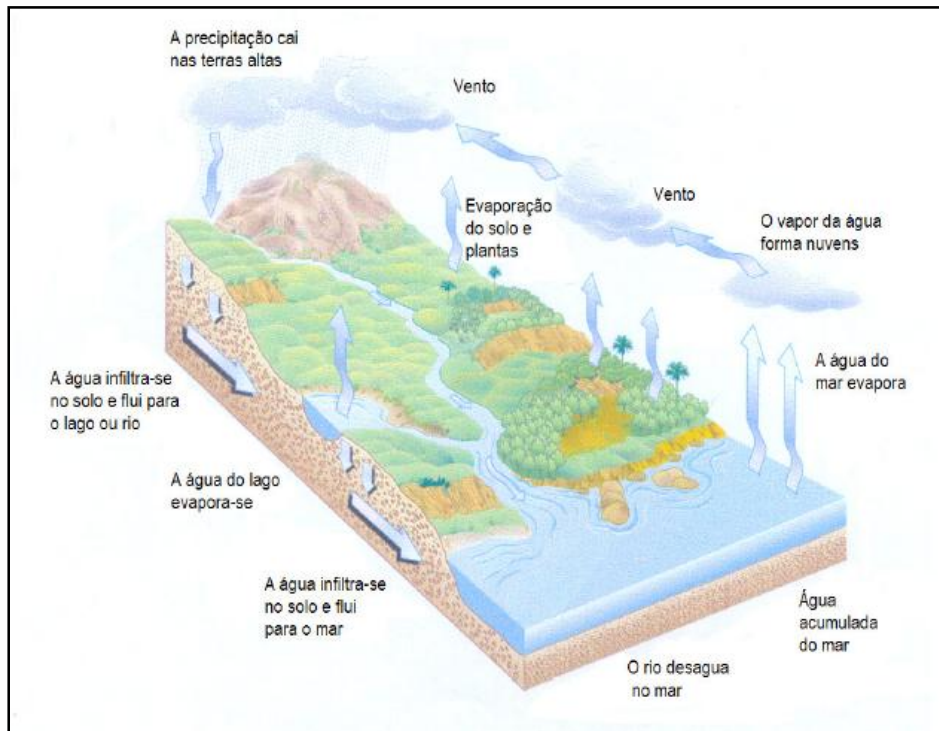


Figura 2.1 – Ciclo Hidrológico

Fonte: May & Prado (2004)

Segundo Nerilo (1999), em aplicações de engenharia hidráulica, o ciclo hidrológico apresenta-se em quatro etapas:

1. Precipitação atmosférica (chuva, granizo, neve, orvalho), destacando-se o possível fenômenos de interceptação, nas folhas e caules de vegetais, onde a precipitação não chega ao solo por evaporar-se na própria queda;
2. Escoamentos subterrâneos (infiltração, águas subterrâneas). No caso de terem sua capacidade de absorção excedida devido a grandes chuvas, ocasionam o escoamento superficial. A infiltração da água no solo, movimentada pela percolação nos vazios, chega a uma zona de saturação formando o lençol freático. Quando intercepta as vertentes, as águas retornam à superfície, alimentando rios e oceanos ou permanece em camadas impermeáveis em lençóis artesianos;
3. Escoamentos superficiais (torrentes, rios, lagos) inicialmente preenchem as depressões em terrenos e em seguida procuram naturalmente os canais naturais. Quando concentram em vales e formam cursos dos rios, são direcionados grandes volumes de água a lagos, mares e oceanos;
4. Evaporação (na superfície da águas e no solo) e a transpiração (dos vegetais e animais). Estes dois fenômenos juntos dependem da radiação solar, tensões de vapor do ar ventos, altitude, etc.

No presente trabalho, a precipitação é o agente do ciclo hidrológico de maior interesse.

A precipitação ocorre quando massas de ar em temperaturas diferentes se misturam e a massa de ar saturada esfria. Ao atingir o solo, parte da chuva infiltra-se no mesmo, promovendo a recarga de aquíferos e a outra parte escoar para os rios, lagos e oceanos. Da água acumulada por efeito de infiltração, parte retorna à superfície na forma de nascentes e parte é restituída à atmosfera por meio da evapotranspiração (MAY, 2004).

2.2 PRECIPITAÇÃO

De acordo com Nerilo (1999), o fenômeno precipitação origina-se de nuvens e nevoeiros que se formam devido à ascensão da massa de ar que sofreu resfriamento até seu ponto de saturação, ocasionando uma condensação do vapor de água mantida em suspensão. Essas reações provocam crescimento dos núcleos de vapor de água que podem ser gelo, poeira ou outras partículas, atingindo assim peso suficiente para perder sustentação e precipitar.

Em consonância com Back (2002), o termo precipitação engloba todas as formas de água provenientes da atmosfera que atingem a superfície terrestre, incluindo neve, granizo, chuva, orvalho, neblina entre outras.

Num estudo hidrológico deve-se levar em consideração o macro clima de uma bacia hidrográfica. Sendo assim, devido à ampla variabilidade de precipitação no interior de uma bacia hidrográfica, deve-se ter em uma pesquisa ou projeto, dados pontuais, obtidos a partir de uma estação meteorológica mais próxima, ou ser medidos diretamente no local, por meio de instrumentos adequados. Em virtude do clima no arquipélago de Cabo Verde somente as chuvas têm relevância no que tange a geração de escoamento de superfície.

May (2004) afirma a existência de três principais tipos de chuva, segundo a sua origem e formação:

- Chuvas convectivas ou de convecção;
- Chuvas ciclônicas ou frontais;
- Chuvas orográficas ou de relevo

2.2.1 CHUVAS CONVECTIVAS OU DE CONVECÇÃO

Chuva convectiva é formada pela ascensão de massas de ar quente da superfície, carregada de vapor d'água. Ao subir, o ar sofre resfriamento provocando a condensação do vapor de água e, conseqüentemente, ocorre a precipitação. Esta chuva manifesta-se de forma intensa e é de curta duração, abrangendo áreas relativamente pequenas, causando, portanto, alagamento em pequenas bacias hidrográficas. A Figura 2.2 ilustra o comportamento das chuvas convectivas.

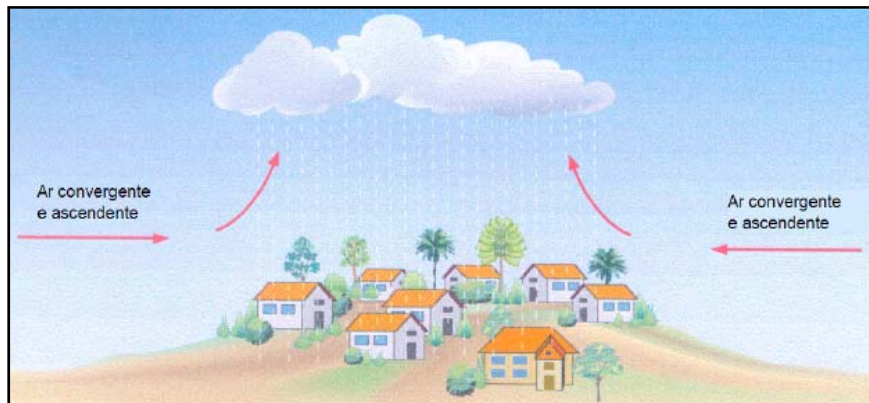


Figura 2.2 – Chuva convectiva ou de convecção

Fonte: May & Prado (2004)

2.2.2 CHUVAS CICLÔNICAS OU FRONTAIS

Chuvras ciclônicas são aquelas que resultam do encontro de duas massas de ar com características diferentes de temperatura e umidade. Desse encontro, a massa de ar quente sobe e o ar arrefece atingindo o ponto de saturação; conseqüentemente formam-se as nuvens e então, acontece a precipitação. As precipitações frontais se caracterizam por serem chuvas de intensidade médias, porém, com longa duração, abrangendo grandes áreas e podendo assim causar inundações em grandes bacias. A Figura 2.3 ilustra o comportamento das chuvas frontais.

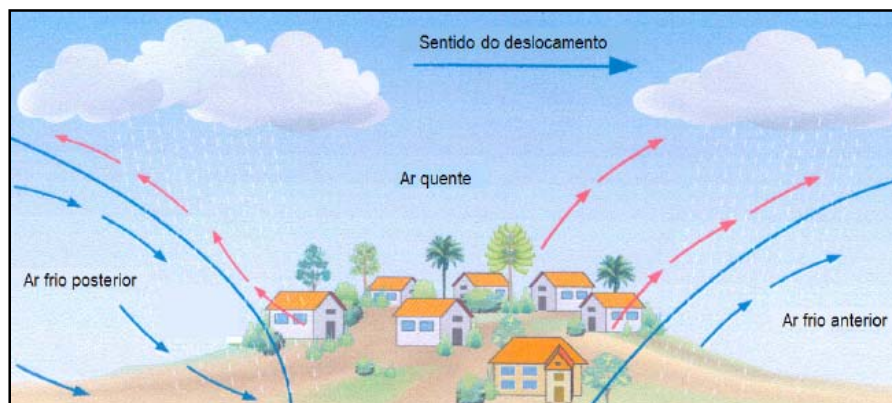


Figura 2.3 – Chuva ciclônica ou frontal

Fonte: May & Prado (2004)

2.2.3 CHUVAS OROGRÁFICAS OU DE RELEVO

Chuvras orográficas ou de relevo são aquelas que resultam da subida forçada do ar à existência de um relevo. São chuvas localizadas, intermitentes e possuem intensidade variável e de grande duração, abrangendo áreas relativamente pequenas. A Figura 2.4 ilustra como as chuvas orográficas se comportam.

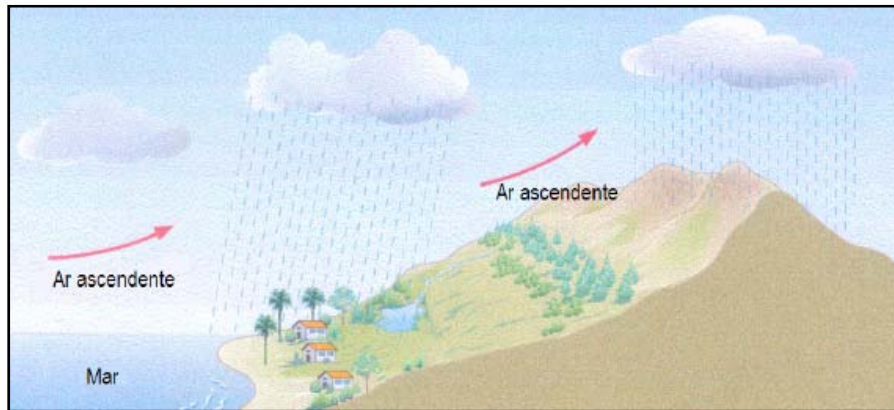


Figura 2.4 – Chuva orográfica ou de relevo

Fonte: May & Prado (2004)

Philippi et al. (2006) afirmam que a exatidão dos cálculos sobre o balanço hídrico e sua relação com outras características hidrológicas (escoamento superficial e subterrâneo, evaporação, erosão do solo, etc.) dependerá do conhecimento mais ou menos preciso do volume caído, tipo de precipitação (chuva, orvalho, neve, granizo), origem (convecção, orográfica, ciclônica) e sua distribuição no tempo e no espaço.

No arquipélago de Cabo Verde, ocorrem os três tipos de chuvas, sendo mais frequentes as chuvas convectivas ou de convecção. Na maioria das vezes, as chuvas convectivas são intensificadas por precipitações orográficas, causando enchentes e inundações.

Segundo Nerilo (1999), no ponto de vista da engenharia, o conhecimento das chuvas convectivas interessa às obras em pequenas bacias, como por exemplo, cálculo de bueiros ou galerias de águas pluviais. Os estudos dos outros tipos de chuva interessam projetos de obras de grande porte como controle de cheias e macro drenagem.

2.3 MEDIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO

A Organização Meteorológica Mundial (WMO), filiada junto à Organização das Nações Unidas (ONU), regulariza e padroniza as redes de postos e Estações Meteorológicas existentes nos países. Em Cabo Verde a entidade mantenedora dos postos e estações meteorológicas é o Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. Os Postos Pluviométricos e as Estações Meteorológicas permitem a medida de dados climatológicos e também a estimativa e previsão de fenômenos meteorológicos.

Para a coleta e medição de dados pluviométricos faz-se o uso Pluviômetros, Pluviógrafos ou até mesmo de aparelhos sofisticados como radares meteorológicos.

O pluviômetro é um instrumento receptor que recolhe e armazena água para uma posterior medição da altura precipitada. Geralmente, o pluviômetro é constituído de um reservatório cilíndrico contendo uma torneira e uma proveta graduada para medir diretamente a chuva coletada. O

pluviômetro não fornece informações temporais do fenômeno chuva. De um modo geral, essa coleta é efetuada uma ou duas vezes ao dia em horários pré-definidos.

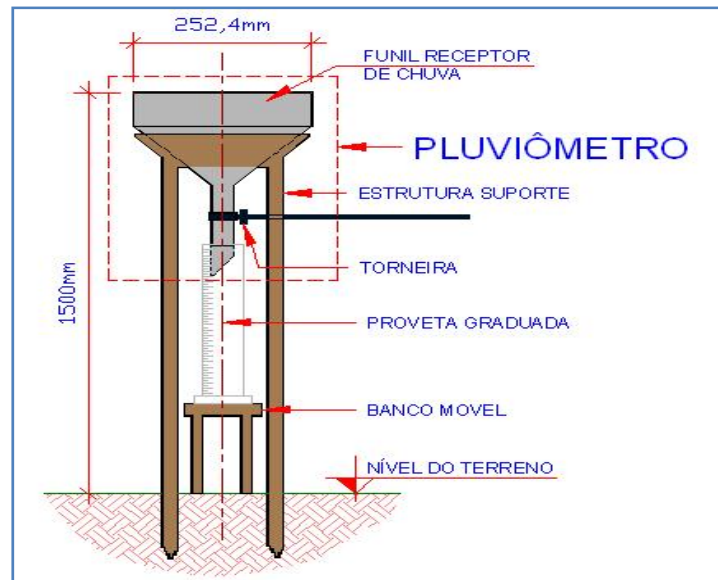


Figura 2.5 – Pluviôgrafo

O pluviôgrafo é um equipamento dotado de um mecanismo de relojoaria que imprime um movimento de rotação a um cilindro no qual é fixado um papel graduado e onde uma pena traça a curva que permite determinar a altura de água, o tempo de duração da chuva e, conseqüentemente, sua intensidade.

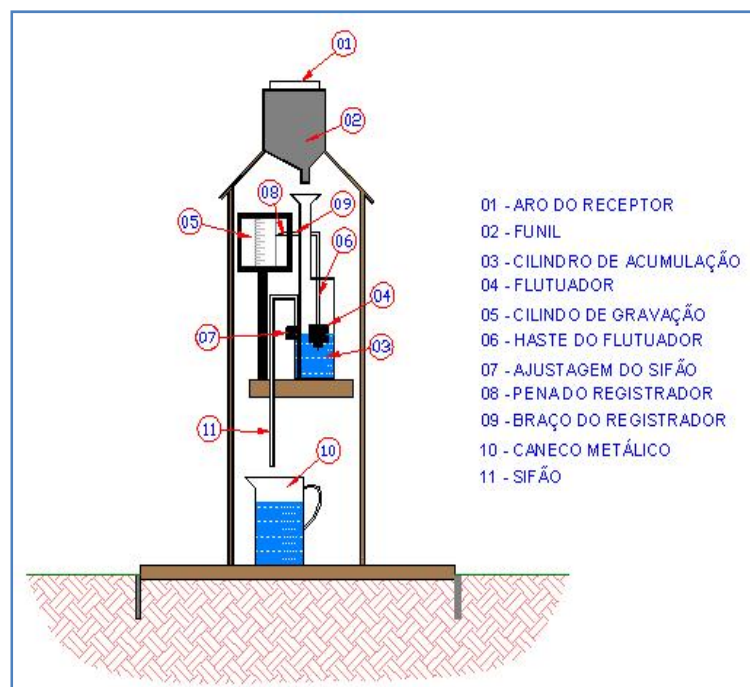


Figura 2.6 – Pluviógrafo

As informações dos pluviômetros e dos pluviógrafos são expressos em grandezas que caracterizam a precipitação. São elas: Altura pluviométrica; Duração; Intensidade; Frequência e Tempo de retorno.

- **Altura pluviométrica (P ou r)** – altura média da lâmina de água de chuva sobre a superfície por ela atingida, admitindo que essa água não infiltrasse, evaporasse nem escoasse fora dos limites da região em questão. Sua unidade é expressa em milímetros (mm) de chuva ou litros por metro quadrado de superfície (L/m^2);
- **Duração (t)** – período de tempo que dura a chuva em questão;
- **Intensidade (i)** – relação entre a altura precipitada e o tempo de duração. Ela é expressa em milímetros por hora (mm/h), milímetros por minuto (mm/min) ou ainda em litros por segundo por hectare ($L/s.ha^{-1}$);
- **Frequência de probabilidade (F)** – número de vezes que ocorreu o fenômeno num determinado intervalo de tempo;
- **Tempo de recorrência ou tempo de retorno (Tr)** – É o número médio de anos durante o qual se espera que a precipitação analisada seja igualada ou superada.

2.4 ANÁLISE DOS DADOS

O propósito do registro das precipitações numa localidade é obter uma série histórica ininterrupta ao longo dos anos ou até mesmo conhecer o comportamento das variações de intensidade e da sazonalidade pluviométrica do local. Seja qual for o objetivo, o fato é que esse processo de medição e registro é passível de erros, falhas nas medições ou inexistência de informações em alguns períodos. Em virtude disso, os dados coletados por qualquer estação ou posto pluviométrico devem ser submetidos a análises antes de serem utilizados.

2.4.1 PREENCHIMENTO DE FALHAS

As falhas podem ser decorrentes de problemas com os aparelhos de registro, do erro da pessoa que faz a leitura e/ou tabulação dos dados ou por outro motivo conveniente. De entre as causas de erros, as mais freqüentes são:

- Preenchimento errado do valor na caderneta;
- Soma errada do número de provetas, quando a precipitação é alta;
- Valor estimado pelo observador por não estar no local no dia da amostragem;
- Danificação de aparelhos de medição.

2.4.2 ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS

A leitura e anotação em caderneta das alturas de chuvas medidas através de pluviômetros são feitas por operadores, geralmente voluntários, podendo cometer erros. Sendo assim, é necessário uma análise de consistência destes dados.

De acordo com Tucci (1993), após o preenchimento das séries, há a necessidade de analisar a sua consistência em uma visão regional. Ou seja, é necessário comprovar o grau de homogeneidade dos dados disponíveis num determinado posto em relação aos registros dos postos vizinhos na região de interesse. Existem vários métodos desenvolvidos para analisar a consistência de dados. Os mais comuns são o método de Dupla Massa e o método do Vetor Regional.

2.4.3 MÉTODO DA DUPLA MASSA

Esse método foi desenvolvido pelo Geological Survey (EUA) e foi adotada em vários países do mundo, sendo que a sua validade é restrita a séries mensais e anuais (TUCCI, 1993).

O método consiste na seleção de postos de uma região onde os valores das séries serão plotadas num gráfico cartesiano. Os valores do posto que se quer verificar a consistência figurará nas ordenadas e os do posto confiável adotado como base de comparação nas abscissas. Segundo Tucci (1993), um aprimoramento desse método seria obter os valores médios das precipitações mensais acumuladas em vários postos de uma região de interesse e utilizar a série montada como base de comparação.

Os valores do posto a consistir devem se alinhar segundo uma única reta, se esses forem proporcionais aos valores observados na série usada como base de comparação. O fator de proporcionalidade entre as séries é determinado pela declividade da reta. Podem ocorrer as seguintes situações:

- Mudança de declividade;
- Alinhamento dos pontos em retas paralelas;
- Distribuição errática dos pontos.

2.4.3.1 Mudança de Declividade

A mudança na declividade, determinando duas ou mais retas, constitui o exemplo típico derivado da presença de erros sistemáticos, mudança nas condições de observação ou a existência de uma causa física real, como alterações climáticas no local provocadas pela presença de reservatórios artificiais (TUCCI, 1993). Para se considerar a existência da mudança na declividade é necessária a ocorrência de pelo menos cinco pontos consecutivos alinhados segundo a nova tendência.

A correção desses valores pode ser feita de duas maneiras:

- a) Correção dos valores para a situação atual;
- b) Correção dos valores mais recentes para a condição antiga.

A escolha da alternativa de correção depende das causas que provocaram a mudança da declividade. Se forem detectados erros no período recente, a correção deve ser feita preservando os valores da tendência antiga. Os valores deverão ser acumulados a partir do período para qual se deseja manter a tendência da reta. Os valores inconsistentes são corrigidos mediante a seguinte expressão:

$$P_c = P_a + \frac{M_a}{M_o} \times \Delta P_o$$

Equação 2.1

Onde:

- P_c = a precipitação acumulada ajustada à tendência desejada;
- P_a = valor da ordenada correspondente à interseção das duas tendências;
- ΔP_o = valor acumulado a ser corrigido;
- M_a = coeficiente angular da tendência desejada;
- M_o = coeficiente angular da tendência a corrigir.

2.4.3.2 Alinhamento dos Pontos em Retas Paralelas

O alinhamento dos pontos em retas paralelas ocorre quando existem erros de transcrição de um ou mais dados ou pela presença de anos extremos em uma das séries plotadas (TUCCI, 1993). A ocorrência de alinhamento de duas ou mais retas aproximadamente horizontais, pode ser evidência de comparação de postos com diferentes regimes pluviométricos.

2.4.3.3 Distribuição Errática De Pontos

A distribuição errática de pontos geralmente é resultado da comparação de postos com diferentes regimes pluviométricos, sendo incorreta toda a associação que se deseja fazer entre os dados dos postos plotados.

Uma vez feita a análise de consistência, poderá haver a necessidade de revisão dos valores preenchidos anteriormente. O preenchimento das séries é anterior à análise de consistência, justamente para evitar distorções no gráfico de dupla massa; mas, se forem detectadas modificações na tendência, deve-se fazer uma revisão.

2.4.4 MÉTODO DO VETOR REGIONAL

O método do vetor regional foi desenvolvido por Heinz (1978) para analisar a consistência de dados pluviométricos a nível mensal e anual. O vetor regional é uma série cronológica, sintética, de índices pluviométricos anuais ou mensais, oriundos da extração do método de máxima verossimilhança da informação mais provável contida nos dados de um conjunto de estações de observação agrupadas regionalmente.

Considerando uma matriz “P” de “n” observações ao longo do tempo em “m” estações localizadas numa região considerada homogênea:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{Equação 2.2}$$

O método do vetor regional consiste em determinar dois vetores ótimos, “L” e “C” cujo produto é aproximação da matriz “P”. O vetor “L” é um vetor coluna de dimensão “n” denominado de vetor regional. O vetor “C” é um vetor linha de dimensão “M” que representa os coeficientes característicos de cada estação. O vetor regional contém índices que são únicos para toda a região e estão relacionados com as alturas precipitadas em cada posto por meio dos coeficientes contidos no vetor “C”.

A estimativa da altura precipitada no ano “i”, no posto “j” é dado por,

$$P'_{ij} = L_i \cdot C_j$$

Para cada período correspondente a uma estação, existirá uma diferença entre valor observado e estimado, de modo que é possível estabelecer uma matriz “D” de diferenças (erros), cujos elementos são calculados segundo a equação (3.5).

$$D_{ij} = P_{ij} - L_i \cdot C_j \quad \text{Equação 2.3}$$

Os elementos das matrizes “L” e “C” são determinados pela minimização quadrática da matriz “D”. A soma dos quadrados da diferença é dada por:

$$FO = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m D_{ij}^2 \quad \text{Equação 2.4}$$

Resolvendo a equação (3.5) em relação às incógnitas L_i e C_j e igualando cada um das expressões a zero, obtêm-se as seguintes expressões:

$$C_j = \sum_i^n L_i \cdot P_{ij} / \sum_i^n L_i^2; j = 1, \dots, m \quad \text{Equação 2.5}$$

$$L_j = \sum_j^m C_j \cdot P_{ij} / \sum_j^m C_j^2; i = 1, \dots, n \quad \text{Equação 2.6}$$

A solução do sistema não linear resultante de $n + m$ equações e $n + m$, pode ser alcançada mediante processo iterativo, partindo de uma estimativa inicial do vetor regional. É comum adotar para estimativa inicial do i -ésimo valor “L” a média aritmética das precipitações registradas nas “m” estações no ano ou mês, ou seja:

$$L_j = 1/m \sum_j^m P_{ij} \quad \text{Equação 2.7}$$

Com essa estimativa inicial, resolve-se a equação (3.6). Obtidos os elementos do vetor C, aplica-se o mesmo processo para calcular os elementos de “L”. Segundo autores, o processo converge rapidamente. Os erros relativos são calculados segundo a equação (3.9).

$$e_{ij} = D_{ij} / (L_i \cdot C_j) = [P_{ij} / (L_i \cdot C_j)] - 1 \quad \text{Equação 2.8}$$

Os seus valores acumulados são:

$$E_{ij} = \sum_i^k e_{ij} \cdot 1/2 \cdot \sum_i^n e_{ij}, \text{ para } 1 \leq k \leq n \quad \text{Equação 2.9}$$

Os erros acumulados obtidos pela equação (3.10) são plotados em função do tempo, originando um gráfico denominado “duplo acumulativo” relativo às séries observadas e geradas com base no vetor regional. O segundo termo da equação (3.10) representa a média da soma acumulada dos erros relativos. Ele é incorporado à equação para permitir a centralização do gráfico.

O método procura identificar, neste tipo de gráfico, desvios anormais apresentados pelas séries. Existem basicamente, dois tipos de desvios anormais:

- **Isolados** - resultam de erros grosseiros de medição ou de transcrição. São identificados por uma variação abrupta e pontual do gráfico “duplo-acumulativo”;
- **Sistemáticos** – correspondem aos defeitos nos aparelhos e ou mudanças de local de instalação dos mesmos.

Os critérios usados na correção dos desvios dependem da análise de cada caso particular, mas, em geral, um desvio isolado só pode ser corrigido diante da certeza de que o mesmo não é correto. Neste caso, se faz a substituição desse valor pelo estimado, através do vetor regional. Se o gráfico apresentar desvios sistemáticos, a correção se realiza segundo as equações seguintes:

$$P_{ij}^C = k \cdot P_{ij} \quad \text{Equação 2.10}$$

Sendo que,

$$k = 1 / \left(\bar{e}_{ij} + 1 \right) \quad \text{Equação 2.11}$$

e

$$\bar{e}_{ij} = 1/r \sum_i^r [(P_{ij} - L_i \cdot C_j) / P_{ij}] \quad \text{Equação 2.12}$$

Onde:

P_{ij}^C = é a precipitação corrigida (mm);

e = desvio médio entre os valores observados e calculados correspondentes ao período a ser corrigido;

r = Número de observações do referido período.

Se o regime pluviométrico é caracterizado por uma marcada variabilidade sazonal, como é o caso do arquipélago de Cabo Verde, é possível que seja necessário determinar mais de um vetor para cada ano (vetores em nível sazonal ou ainda mensal).

O método apresenta varias vantagens sobre o já apresentado método de Dupla Massa, pois, além de trabalhar com informação mais provável, é de fácil implementação computacional e possibilita o seu uso em trabalhos de regionalização hidrológica (TUCCI, 1993).

2.5 TEMPO DE RETORNO

Para o dimensionamento de obras hidráulicas é necessário estudar parâmetros hidrológicos, para a estimativa de vazões de projeto. Essas estimativas impõem uma incerteza aos projetistas. Segundo Nerilo (1999), os projetos são elaborados para o futuro, as suas demandas, seus benefícios e custos são conhecidos até determinado limite. Ele afirma ainda que erros na estimativa de valores hidrológicos podem acarretar prejuízos econômicos e ambientais, fato que faz com que os citados projetos sejam elaborados mediante a admissão de um risco calculado, derivado de métodos de estimativas de probabilidade relativa aos parâmetros hidrológicos.

Back (2002) define tempo de retorno como o intervalo médio em anos em que um determinado evento pode ocorrer ou ser superado. O mesmo afirma ainda que para série anual e parcial o tempo de retorno tem significados diferentes. Para séries anuais, o intervalo de recorrência ou tempo de retorno significa o número médio de anos entre uma ocorrência de um evento de dada magnitude, como a máxima anual. Já para o tangente a séries parciais, o intervalo de recorrência ou tempo de retorno não implica o máximo anual.

Segundo Nerilo et al. (2002), a relação entre a probabilidade de ocorrer o evento X, $P(X)$, e o período de retorno (T) é tal que:

$$T = \frac{1}{P(X \geq x)} \quad \text{Equação 2.13}$$

Ou seja, o período de retorno é o inverso da probabilidade de ocorrer um valor do evento com a magnitude igual ou superior a um determinado x.

2.6 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS

Considera-se como eventos extremos o conjunto de chuvas cuja intensidade ultrapasse um valor pré-estabelecido para uma determinada aplicação. Segundo Wilken (1978, *apud*, Back, 2002), a duração destes eventos é bastante variável e a área atingida pelas mesmas pode variar de poucos quilômetros (chuvas convectivas) até milhares de quilômetros quadrados, como as chuvas frontais.

Eltz et al. (1992) afirmam que a análise de frequência é uma técnica estatística importante no estudo de chuvas, devido a grande variabilidade temporal e espacial da precipitação pluvial que não pode ser prevista com bases puramente determinísticas.

Conforme Back (2002), a frequência das chuvas intensas ou de eventos extremos pode ser calculada pela análise de uma série de dados observados na região de interesse.

A análise de frequência dos eventos extremos pode ser local ou regional. Ela é local quando se utiliza dados de uma única estação e regional quando se utiliza dados de varias estações de uma região. Segundo Pires (1994, *apud* Silva et al, 1999a), a aplicação de métodos de regionalização de funções estatísticas de variáveis hidrológicas consiste basicamente na utilização de vários postos de medição em uma região, transferindo informações espacialmente.

O uso da análise de frequência regional apresenta vantagens como a possibilidade de estimar os parâmetros ou variáveis hidrológicas em locais que não possuam uma coleta sistemática de informações. Além disso, essa técnica permite melhorar a estimativa dos parâmetros e quantis de uma distribuição de probabilidades teórica, e identificar a ausência de postos de observação em uma região e verificar a consistência das séries hidrológicas.

A regionalização permite aumentar consideravelmente o número de informações que passam a ter caráter regional. De acordo com Pires (1994, *apud* Silva et al, 1999a), essa técnica possibilita reduzir o erro amostral e permite melhorar as estimativas de eventos extremos, substituindo o tempo por espaço.

Tucci (1993) classifica os métodos de regionalização em três classes: métodos de regionalização dos parâmetros da distribuição de probabilidades, métodos de regionalização do evento com um determinado risco e os métodos de regionalização da curva adimensional de frequências, denominados métodos de regionalização “index-flood”.

De acordo com Pinto & Naghettini (1999, *apud*, Silva et al, 1999a), independentemente do método de regionalização a ser utilizado, um dos pontos cruciais é a definição de regiões estatisticamente homogêneas, ou seja, aquelas contendo várias estações cujas séries sejam oriundas de populações regidas pela mesma distribuição de probabilidades, com os parâmetros de posição e escala variando entre as estações.

Dada a importância da escolha das regiões com séries homogêneas, salientamos também a necessidade de seleção adequada da série a ser utilizada. A análise estatística de variáveis hidrológicas das series de chuva podem seguir duas linhas distintas:

- Séries anuais;
- Series parciais.

Séries anuais consistem em amostra de eventos de altura pluviométrica máxima de cada ano e as séries parciais são constituídas por alturas acima de um valor base, independentemente do ano que ela possa ocorrer. Por outras palavras, a diferença básica entre elas é que a primeira compreende um único valor para cada ano, o valor máximo anual, e a segunda compreende somente os maiores eventos de chuvas superiores a uma determinada precipitação de referência. Segundo Wilken (1978), para fins práticos, as séries de duração parcial e as séries anuais não diferem muito, exceto para baixos períodos de retorno.

O relatório dos estudos de vazões do NERC (1975) recomenda o uso de séries de valores máximos anuais somente quando se dispõe de mais de 25 anos de observações. Bertoni & Tucci (1993) afirmam que a metodologia de séries parciais é utilizada quando o número de anos de dados é pequeno (menos de 12 anos) e os tempos de retorno que serão utilizados são inferiores a cinco anos. Wang (1991, *apud* Laura,1998) mostrou que os modelos de séries parciais também são eficientes para grandes períodos de retorno.

O presente trabalho analisou amostras registradas em quatro postos, sendo dois deles com 26 anos de registro, uma com 23 e uma com 11 anos, localizadas na ilha de Santiago, no arquipélago de Cabo verde. Sendo assim, optou-se pelas séries de duração anual, calçada nos preceitos supracitados.

2.7 PRECIPITAÇÕES MÉDIAS SOBRE UMA BACIA HIDROGRÁFICA

Para calcular a precipitação média de uma superfície qualquer, é necessário utilizar as observações dos postos dentro dessa superfície e nas suas vizinhanças.

Existem três métodos para o cálculo da chuva média: método da Média Aritmética, método de Thiessen e método das Isoietas.

Métodos dos Polígonos de Thiessen

O método dos Polígonos de Thiessen é indicado quando não há distribuição uniforme dos postos pluviométricos dentro da bacia hidrográfica. Consiste em atribuir um fator de peso aos totais precipitados medidos em cada posto pluviométrico, sendo estes pesos proporcionais à área de influência de cada posto. São considerados os postos inseridos na bacia, bem como postos localizados na região de entorno e que exercem influência na bacia (Cecílio, 2007).

Polígonos de Thiessen são áreas de “domínio” de um posto pluviométrico. Considera-se que no interior dessas áreas a altura pluviométrica é a mesma do respectivo posto.

Os polígonos são traçados da seguinte forma:

- 1º. Dois postos adjacentes são ligados por um segmento de reta;
- 2º. Traça-se a mediatriz deste segmento de reta. Esta mediatriz divide para um lado e para outro, as regiões de “domínio”.

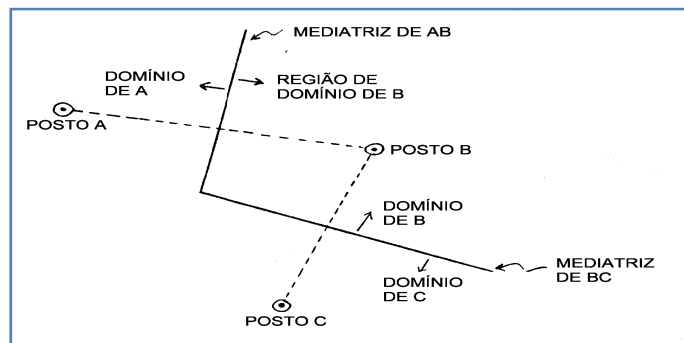


Figura 2.7 – Traçado da mediatriz

- 3º. Este procedimento é realizado, inicialmente, para um posto qualquer (ex.: posto B), ligando-o aos adjacentes. Define-se, desta forma, o polígono daquele posto.

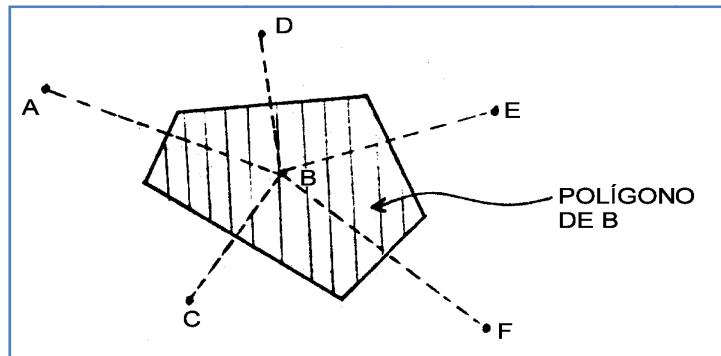


Figura 2.8 – Definição do polígono de área

- 4º. Repete-se o mesmo procedimento para todos os postos.
- 5º. Desconsideram-se as áreas dos polígonos que estão fora da bacia.
- 6º. A precipitação média na bacia é calculada pela expressão:

Equação 2.14

Onde:

\bar{h} = precipitação média na bacia (mm);

h_i = precipitação no posto i (mm);

A_i = área do respectivo polígono, dentro da bacia (km²);

A_t = área total da bacia.

Segundo Rezende et al. (2007), os diagramas podem ser obtidos com desenho manual, com o uso do AutoCad® ou outros programas que possam facilitar o cálculo das áreas.

2.8 MÉTODOS ESTATÍSTICOS E DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE

O tratamento de processos aleatórios como os hidrológicos, requer antes de qualquer coisa sua quantificação. Para quantificar uma variável hidrológica, deve-se levar em conta que processos hidrológicos se desenvolvem no tempo e no espaço. É o caso das chuvas que são entendidas como um processo hidrológico com variação temporal e espacial. Para simplificar e facilitar a análise, geralmente se fixa o local onde o processo será estudado. Por exemplo, estudar as precipitações intensas ocorridas em uma das ilhas do arquipélago de Cabo Verde.

Uma vez fixado o local de interesse, pode-se efetuar um estudo estatístico das variáveis aleatórias temporais que, no caso em específico, é a chuva. A chuva é um evento contínuo no tempo e no espaço, como tal é difícil computá-la. Diante dessa dificuldade, o estudo de variáveis aleatórias como a chuva é feito e transformando os valores das variáveis obtidas, em instantes ou períodos sucessivos do tempo ou ainda em pontos geográficos definidos no espaço. Por exemplo, os totais precipitados numa das ilhas do arquipélago de Cabo Verde podem ser registrados como totais diários, mensais ou anuais de modo a gerar séries contínuas de onde se podem retirar os valores de máximos ou mínimos observados no intervalo em questão.

Nessas séries, é possível verificar a frequência em que um evento ocorreu no passado o que será válido para descrever a probabilidade desse evento ocorrer ou ser superado no futuro. Segundo Tucci (1993), a análise estatística trabalha com as frequências e as teorias de probabilidade com as probabilidades, sendo que ambas se referem à porcentagem com que um evento ocorre (frequência) ou se supõe ocorrer (probabilidade) num determinado intervalo.

Na medida em que uma amostra seja representativa, pode ser feita a ligação entre as frequências e as probabilidades (Tucci, 1993). Isso quer dizer que uma amostra de frequências pode ser entendida como a distribuição empírica de probabilidades. Entende-se por distribuição empírica de probabilidade aquela distribuição obtida da observação de um fenômeno ou de uma amostra do fenômeno (Tucci, 1993).

As variáveis contínuas como a chuva têm suas distribuições teóricas de probabilidade simples apresentadas na forma de uma função densidade de probabilidade (FDP). Ou seja, em vez de estabelecer a probabilidade de um evento ser superado ou ocorrer num determinado intervalo, é estabelecida uma função que integrada em dado intervalo pode-se determinar a probabilidade do evento ser superado ou ocorrer no intervalo em questão.

Segundo Nerilo et. al, (2002), na formação de uma amostra de séries anuais da maior chuva ocorrida em cada ano, utilizam-se modelos de distribuição probabilística dos extremos. A World Meteorological Organization – WMO (1989), realizou um questionário, solicitando informações sobre o tipo de distribuição habitualmente empregado em análises de valores extremos de chuva e vazão à 55 agências de 28 países. O resultado dessa pesquisa apontou que 52% das agências utilizavam a distribuição de extremos de Gumbel Frechet e Weibull. Com menos frequência, também utilizavam distribuições Gamma, Pearson TipoIII Log-Pearson TipoIII e Log-Normal.

2.8.1 DISTRIBUIÇÕES ASSINTÓTICAS DOS EXTREMOS

Considerando uma série de variáveis aleatórias X_t formada pelos valores máximos retirados de cada série de variáveis $x = \{x_1, x_2, x_3\}$. Podemos ilustrar essa série de valores máximos anuais ou mensais de precipitações em “n” anos. Existirão “n” séries, uma para cada ano ou mês, cada qual com 365 ou 31 valores X , respectivamente. Esses valores formarão a séries X_t .

A função cumulativa de probabilidade de X_t é dada por:

$$P[X \leq x] = P[\text{todos "n" valores de } x]$$

Supondo que os valores de X são independentes, obtém-se:

$$\begin{aligned} P[X \leq x] &= P[x_1 \leq x] \cap P[x_2 \leq x] \cap \dots \cap P[x_n \leq x] \\ &= P[x_1 \leq x] \cdot P[x_2 \leq x] \cdot \dots \cdot P[x_n \leq x] \end{aligned} \quad \text{Equação 2.15}$$

Se os valores da série X também forem aceitos como identicamente distribuídos:

$$P[X \leq x] = P^n[X_i \leq x] \quad \text{Equação 2.16}$$

Busca-se derivar a distribuição para a qual $P[X \leq x]$ tende, quando “n” tende para infinito. Daí o nome de distribuição assintótica dos extremos.

Das três soluções existentes, duas são de extremo interesse para a hidrologia, resultando nas distribuições Assintóticas de Extremos do Tipo I e III, cada um dos casos com algumas suposições adicionais para as séries X e sua distribuição. Nesse trabalho, será apresentado apenas o Tipo I, também conhecido por distribuição de Gumbel.

2.8.2 DISTRIBUIÇÃO ASSINTÓTICA DOS EXTREMOS DO TIPO I PARA SÉRIES DE MÁXIMOS OU DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL

Suposições adicionais:

- X é ilimitada apenas na direção positiva;
- A parte superior da distribuição de X, ou seja, a parte que trata dos valores máximos menos freqüentes é do tipo exponencial. (Distribuições exponenciais São: Exponencial, Gama, Log-Normal, Normal)

A função cumulativa de probabilidade é dada por:

$$FCP: P[X \leq x] = e^{-e^{\alpha(x-\mu)}} \quad \text{Equação 2.17}$$

que tem como função densidade de probabilidade:

$$FDP: P[X \leq x] = \alpha e^{\{-\alpha(x-\mu) - e^{-\alpha(x-\mu)}\}} \quad \text{Equação 2.18}$$

Onde:

$\alpha = S_n/S$ parâmetro de escala;

$\mu = \bar{X} - Y_n/\alpha$ parâmetro de locação;

\bar{X} = Média dos valores observados de X;

S = Desvio padrão dos valores observados de X;

S_n = Desvio padrão da variável reduzida;

Y_n = Média da variável reduzida.

Os valores de Y_n e S_n podem ser obtidos na Tabela 2.1, em função do tamanho da amostra em questão.

Tabela 2.1 – Média(Y_n) e desvio padrão (S_n) da variável reduzida para diferentes valores do tamanho da amostra (N)

N	Y_n	S_n	N	Y_n	S_n	N	Y_n	S_n
10	0,4952	0,9496	40	0,5436	1,1413	70	0,5548	1,1854
11	0,4996	0,9676	41	0,5442	1,1436	71	0,5550	1,1863
12	0,5035	0,9833	42	0,5448	1,1458	72	0,5552	1,1872
13	0,507	0,9971	43	0,5453	1,1479	73	0,5555	1,1881
14	0,5100	1,0095	44	0,5458	1,1499	74	0,5557	1,1890
15	0,5128	1,0206	45	0,5463	1,1518	75	0,5559	1,1898
16	0,5154	1,0306	46	0,5468	1,1537	76	0,5561	1,1907
17	0,5177	1,0397	47	0,5472	1,1555	77	0,5563	1,1915
18	0,5198	1,0481	48	0,5477	1,1573	78	0,5565	1,1923
19	0,5217	1,0557	49	0,5481	1,159	79	0,5567	1,1931
20	0,5236	1,0628	50	0,5485	1,1607	80	0,5569	1,1938
21	0,5252	1,0694	51	0,5489	1,1623	81	0,5571	1,1946
22	0,5268	1,0755	52	0,5493	1,1638	82	0,5573	1,1953
23	0,5282	1,0812	53	0,5497	1,1653	83	0,5574	1,1960
24	0,5296	1,0865	54	0,5501	1,1668	84	0,5576	1,1967
25	0,5309	1,0914	55	0,5504	1,1682	85	0,5578	1,1974
26	0,5321	1,0961	56	0,5508	1,1695	86	0,558	1,1981
27	0,5332	1,1005	57	0,5511	1,1709	87	0,5581	1,1988
28	0,5343	1,1047	58	0,5515	1,1722	88	0,5583	1,1995
29	0,5353	1,1086	59	0,5518	1,1734	89	0,5584	1,2001
30	0,5362	1,1124	60	0,5521	1,1747	90	0,5586	1,2007
31	0,5371	1,1159	61	0,5524	1,1759	91	0,5588	1,2014
32	0,538	1,1193	62	0,5527	1,171	92	0,5589	1,2020
33	0,5388	1,1225	63	0,5530	1,1782	93	0,5591	1,2026
34	0,5396	1,1256	64	0,5532	1,1793	94	0,5592	1,2032
35	0,5403	1,1285	65	0,5535	1,1803	95	0,5593	1,2037
36	0,5411	1,1313	66	0,5538	1,1814	96	0,5595	1,2043
37	0,5417	1,1339	67	0,5540	1,1824	97	0,5596	1,2049
38	0,5424	1,1365	68	0,5543	1,1834	98	0,5598	1,2054
39	0,5430	1,1390	69	0,5545	1,1844	99	0,5599	1,2060
						100	0,5600	1,2065

Fonte: Back (2002)

Esta distribuição é usualmente denominada de distribuição de Gumbel. Fazendo $Z = \alpha(x - \mu)$, obtém-se a chamada forma reduzida na qual a probabilidade de ocorrer um evento menor ou igual a X é dada por:

$$FCP = P[X \leq x] = e^{-e^{-Z}} \quad \text{Equação 2.19}$$

Desta forma, a probabilidade de ocorrer o evento X maior ou igual a x é dada por:

$$FCP = P[X \geq x] = 1 - e^{-e^{-Z}} \quad \text{Equação 2.20}$$

Sendo assim, a precipitação extrema X com tempo de retorno T pode ser estimada pela seguinte equação:

$$X = \bar{x} + (Y - Y_n) \frac{S}{S_n} \quad \text{Equação 2.21}$$

Onde:

$$Y = -\ln \left\{ -\ln \left[1 - \left(\frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad \text{Equação 2.22}$$

Onde:

$Y =$ Variável reduzida;

$T =$ Tempo de retorno em anos.

2.9 MÉTODO DA RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÕES DE DIFERENTES DURAÇÕES

Em conformidade com o exposto por Back (2002), a grande maioria dos dados de chuva é obtida de pluviômetros fornecendo, portanto, só o total diário de chuva. Através de relações entre dados de intensidade de diferentes durações com médias máximas diárias, pode-se estimar a intensidade para durações inferiores a 24 horas.

Dados fornecidos pela CETESB (1986) mostram que quando se tem única e exclusivamente informações referentes a chuvas de 1 dia de duração, observados em postos pluviométricos, podemos avaliar a chuva de 24 horas de determinada frequência e a partir desta, as chuvas de menor duração com a mesma frequência, utilizando-se das relações entre chuvas de diferentes durações.

Essa tese é reforçada por Nerilo et al. (2002), afirmando que o método das relações entre alturas de chuvas de diferentes durações é de grande aplicabilidade devido ao aproveitamento das séries de chuvas máximas anuais de duração de 1 dia.

De acordo com Tucci (2003), as curvas IDF de chuvas observadas em postos localizados em diversas partes do mundo apresentam uma interessante característica. Quando plotadas em escala log-log, há uma visível tendência de curvas de probabilidade de diferentes durações se manterem paralelas entre si. Para diferentes locais, é possível perceber a existência de similaridade entre as intensidades médias máximas de diferentes durações.

A Tabela 2.2 apresenta as relações entre chuvas de diferentes durações obtidas do estudo do Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), Brasil, bem como valores adotados pelo U.S Weather Bureau e outros adotados em Denver, Estados Unidos.

Tabela 2.2 – Relação entre alturas de chuvas de diferentes durações

Relação	Brasil	Estado Unidos (U.S.W. Bureau)	Estados Unidos (Denver)
5 min. / 30 min.	0,34	0,37	0,42
10 min. / 30 min.	0,54	0,57	0,63
15 min. / 30 min.	0,70	0,72	0,75
20 min. / 30 min.	0,81	-	0,84
25 min. / 30 min.	0,91	-	0,92
30 min. / 1 h	0,74	0,79	-
1 h / 24 h	0,42	-	-
6 h / 24 h	0,72	-	-
8 h / 24 h	0,78	-	-
10 h / 24 h	0,82	-	-
12 h / 24 h	0,85	-	-
24 h / 1 dia	1,14*	1,13	-
24 h / 1 dia	1,10**	-	-

*Cidade de SP, **Resto do Brasil

2.10 CORRELAÇÃO E REGRESSÃO

Através do estudo da relação entre duas variáveis, se pretende investigar a presença ou ausência de relação linear sob dois pontos de vista: quanto à força e quanto à forma da relação.

A correlação entre elas quantifica a força dessa relação enquanto que a regressão explicita a forma dessa relação.

A representação gráfica dessa relação entre as variáveis quantitativas é feita através de um diagrama de dispersão.

Estes coeficientes são índices adimensionais situados entre -1,0 e 1,0 refletindo a extensão da relação entre dois conjuntos de dados. Desse modo, quando o coeficiente atinge valor positivo próximo a um, indica que há uma forte associação linear entre as variáveis x e y. Quando o valor é negativo, indica que valores altos de x estão associados a valores baixos de y.

A correlação é dada pela seguinte expressão:

$$\rho(x, y) = \frac{Cov(x, y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad \text{Equação 2.23}$$

$$Cov(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) \quad \text{Equação 2.24}$$

Onde:

$Cov(x, y)$ = Covariância;

σ_x, σ_y = desvio padrão dos conjuntos x e y

A regressão quadrática é dada pelo quadrado da seguinte expressão:

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad \text{Equação 2.25}$$

2.11 ESTUDOS DE CHUVAS INTENSAS

A comunidade científica internacional que atua nessa linha de pesquisa vem publicando trabalhos do gênero ao longo dos anos, sempre atualizando os estudos e adaptando-os a nova realidade climatológica das regiões estudadas.

No Brasil, Pfafstetter (1957) ajustou um modelo empírico para determinação da precipitação máxima em 98 estações pluviográficas distribuídas em todo o território brasileiro, em função da duração e do período de retorno da precipitação. Os dados de precipitação empregados nesse estudo foram provenientes de períodos distintos, anteriores a 1957, e as séries utilizadas foram de diferentes tamanhos e, em alguns casos, inferiores a três anos.

A partir dos gráficos apresentados por Pfafstetter (1957), Denardin & Freitas (1982), ajustaram equações matemáticas para possibilitar o cálculo das alturas pluviométricas em função da duração da precipitação e do período de retorno. Através do método de regressão linear múltipla, foram ajustadas equações para 80 estações pluviográficas, distribuídas por todo o Brasil.

Pinto (1995) gerou as equações de intensidade-duração-frequência da precipitação para 29 estações pluviográficas do Estado de Minas Gerais, Brasil, com base num período de 11 anos (1983-1993), com exceção de três estações, nas quais foi empregado um período-base de oito anos devido à falta de registros.

Pruski et al. (1997), utilizando dados pluviográficos registrados no Estado do Paraná, Brasil, desenvolveram metodologias de espacialização que permitem determinar a equação de chuvas intensas para amplas regiões de abrangência a partir de informações disponíveis em algumas localidades da região em estudo. O procedimento adotado baseou-se na regionalização de cada um dos parâmetros de ajuste da equação, pelo uso de sistemas de informações geográficas e das técnicas de interpolação a eles relacionados.

Silva et al. (1999a) fizeram a estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de chuvas intensas para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, Brasil, utilizando registros de 13 estações de um estado e 9 estações do outro, respectivamente.

Silva et al. (1999b), fizeram trabalho semelhante, também para o Estado de São Paulo, Brasil.

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 O ARQUIPÉLAGO DE CABO VERDE

O arquipélago de Cabo Verde é um conjunto de dez ilhas situadas no atlântico norte, (14° 42' N) cerca de 500 quilômetros da costa ocidental do continente africano. As ilhas do arquipélago estão agrupadas em dois conjuntos definidos pela sua posição em relação aos ventos predominantes. O de Barlavento (Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, S. Nicolau, Sal, Boa Vista e os ilhéus de Branco e Raso) e o de Sotavento (Maio, Santiago, Fogo, Brava e os ilhéus Secos ou do Rombo), conforme ilustrado na Figura 3.1.



Figura 3.1 – Arquipélago de Cabo Verde

3.1.1.1 O Relevo

A maior parte das ilhas é de origem vulcânica, de relevo acidentado, com pontos de maior altitude na Ilha do Fogo (no Pico, um vulcão em atividade com 2829 metros), em Santo Antão (no topo da coroa, com 1979 metros) e em Santiago (Pico de Antônia e Serra Malagueta com altitude máxima de 1373 metros). Com exceção das Ilhas Sal, Boa Vista e Maio, que são planas, o arquipélago é montanhoso, escarpado e sulcado pela erosão e a atividade vulcânica. A falta de vegetação nos planaltos contribui para a erosão do solo.



Figura 3.2 – Pico do Vulcão (Ilha do Fogo)



Figura 3.3 – Topo de Coroa (Ilha de Santo Antão)



Figura 3.4 – Serra da Malagueta (Ilha de Santiago)

Fotos: Marcos Fonseca (2006)

3.1.1.2 O Clima

O clima é tropical seco (região sub-saheliana), mas as temperaturas são relativamente amenas, devido à influência dos ventos alísios. A temperatura varia entre 30°C e 15°C.(INMG)

A pluviosidade é irregular, muito embora se distingam em duas estações: “as águas” e “as secas”. O período das secas é muito logo e com pluviosidade praticamente nula. A estação “d’as águas” é o período que vai de agosto a outubro onde ocorrem chuvas irregulares de curta duração, conseqüentemente muito intensas e devastadoras, causadoras de inundações, enchentes e outros transtornos à população insular (Costa, 1996).

Segundo Costa (1996), pela sua posição geográfica, as ilhas do Barlavento são mais beneficiadas pelas chuvas do que as do Sotavento. A irregularidade da pluviosidade anual é também condicionada pela passagem do harmatão ou "lestada", vento quente e seco vindo do deserto do Sara, que aumenta a aridez da estação seca, sobretudo nas regiões mais expostas, a leste, e nas ilhas orientais, provocando secas prolongadas, de conseqüências nefastas para as culturas e para o equilíbrio ecológico.

3.1.1.3 Generalidades

O crescimento demográfico e a ocupação desordenada de áreas susceptíveis a inundações, agravam ainda mais esse problema. Algumas ações antrópicas nas bacias hidrográficas, tais como desmatamento, edificações, pavimentação, deposição de resíduos urbanos, alteram o tempo de concentração e a capacidade de absorção das águas de chuvas pelo solo. São cada vez mais freqüentes enchentes e inundações na parte baixa da cidade da Praia, na cidade do Mindelo e em outros vilarejos localizados em áreas sujeitas a inundações espalhados por todo o arquipélago.

Obras hidráulicas, nomeadamente, de contenção, drenagem urbana e outros são realizados no sentido de amenizar esses transtornos originários das chuvas. Se tratando de obras dispendiosas, é necessário um correto e enxuto dimensionamento de modo a viabilizá-las economicamente.

A carência de estudos hidrológicos no arquipélago dificulta o trabalho dos profissionais da área de engenharia hidráulica e saneamento, na estimativa das vazões de projeto e do tempo de retorno das chuvas intensas. A ausência desses estudos se que acabam não tendo o desempenho esperado. O uso de metodologias empíricas ou outros métodos imprecisos na estimativa dessa vazão de projeto também podem gerar o super-dimensionamento dessas obras tornando-as economicamente inviáveis.

3.1.2 A ILHA DE SANTIAGO

Santiago é a maior ilha de Cabo Verde e pertence ao grupo do Sotavento. Estende-se por cerca de 75 km de comprimento, no sentido norte-sul e cerca de 35 quilômetros de largura, no sentido leste-oeste, contabilizando uma área total de aproximadamente 992km².

Tal como as outras ilhas do arquipélago, a de Santiago é de origem vulcânica, onde alternam, sobretudo, materiais piroclásticos e assentadas de basaltos. É uma ilha com maciços montanhosos centrais com cobertura vegetal pouco densa (Costa, 1996).

Os processos erosivos de maior dinâmica ocorrem nos interflúvios alongados e vales profundos e largos. Em geral, abrangem áreas mais extensas e ocorrem, sobretudo, nas vertentes dos vales, quer a seco quer sob a ação de escoamento superficial, ou nos fundos, dependendo da magnitude do escoamento torrencial. Sob a ação do escoamento das águas pluviais são freqüentes os ravinamentos e queda de barrancos nos sectores das vertentes talhados em materiais menos resistentes. (Costa, 1996).

Nos fundos de vale, e sob a ação do escoamento torrencial, ocorrem desabamentos, sobretudo nas margens côncavas e em áreas de estrangulamento, devidos ao desgaste lateral, originando o afloramento do substrato e a perda total do solo, por vezes, em várias centenas de metros de extensão. A acumulação deve-se ao excesso de carga sólida para aí transportada, abundantemente fornecida pelas vertentes. O regime torrencial, por seu lado, permite a existência de amplos leitos de cheia, onde a drenagem é desorganizada e facilita o açoreamento e o alargamento do fundo. A construção de diques transversais ao longo destes vales também favorece a acumulação e, conseqüentemente, acentua essa forma do fundo.

As chuvas registradas no interior da ilha são muito intensas e rapidamente formam grandes quantidades de escoamento superficial que, em virtude do favorecimento da declividade, escoam no sentido da cidade da Praia, alagando áreas residências e vias públicas.



Figura 3.5 – Alagamento na cidade da Praia –Ilha de Santiago (CV)

Fonte: www.liberal-caboverde.com (setembro, 2007)

3.1.3 MORFOLOGIA DA ILHA DE SANTIAGO

Segundo estudo realizado por Diniz et al (1985), da morfologia geral da ilha de Santiago destacam-se os seguintes aspectos principais:

- As achadas, que são as superfícies de feição planáltica, a baixa e média altitude, de relevo sensivelmente aplanado ou ondulado mais ou menos suave;

- As superfícies de encosta ou de vertente, que das achadas e com inclinação sensivelmente constante conduzem aos topos da estrutura montanhosa da ilha;
- Os vales das ribeiras principais que entalham profundamente as superfícies de encosta e as achadas;
- O maciço montanhoso do Pico da Antónia, orientado no sentido SE-NW, com dois aspectos distintos: do lado oriental a constituir majestosa escarpa e do lado ocidental a não ser mais do que topos culminantes da extensa superfície de encosta que se prolonga desde a orla litorânea;
- O maciço montanhoso da Malagueta, orientado no sentido E-W e desenvolvendo-se de forma compacta para Norte, com os seus retalhamentos espetaculares;
- Os montes-colina que se destacam na paisagem, típicos cones vulcânicos a testemunhar a última atividade vulcânica da ilha.

Considerando o conjunto dos maciços montanhosos do Pico da Antónia e Malagueta, os quais constituem alterosa barreira, a ilha fica repartida em duas partes distintas: a aba ou fachada orientada a E-NE e a aba oposta voltada a W-SW.

Deste modo, por influência de condições climáticas também distintas, criadas por interposição dessa mesma barreira montanhosa, o panorama fisiográfico duma e de outra das abas é deveras contrastante (Diniz et al, 1985).

Diniz et al (1985) afirmam que, em relação ao lado oriental, o relevo é muito mais movimentado, a envolver praticamente toda a fachada, nela determinando uma rede hidrográfica bastante densa, sendo raros ou de pouco significado os testemunhos da superfície primitiva, os quais se arrimam mais à orla litoral. Esta movimentação do relevo torna os vales muito expressivos, entalhando-se de imediato a partir das faldas de ambos os maciços montanhosos e o mesmo se verificando em relação à bordadura oriental da vasta superfície estrutural que os separa (o planalto de Santa Catarina), cavada em escarpa e da qual irradiam algumas das mais importantes ribeiras (Flamengos, Santa Cruz e Picos).

Os vales das ribeiras principais em confronto com os da aba ocidental são bastante abertos e de encostas pouco marcadas se bem que profundamente entalhados, separando-se por expressivos interflúvios que culminam em cristas aceradas ou então se encimando por estreitas e alongadas plataformas. Por sua vez, estas formas interfluviais são retalhadas, numa alternância sucessiva de vales ravinosos e formas salientes, os “cutelos” na designação regional. São estas ribeiras principais e respectivos vales que desempenham papel fundamental na economia agrária de Santiago. Ao longo dos respectivos cursos desenham-se contínuas faixas de terras baixas, de elevado valor agrícola, as quais na maioria dos casos se alagam no troço jusante, dando ai lugar a planícies aluviais, onde recai notável intensificação cultural (Diniz et al, 1985).

É nas posições dominantes dos vales, fixando-se nos pontos melhor favorecidos deste relevo convulsionado, quer ocupando plataforma, pequenos patamares, encosta menos abruptas, ou os cutelos de contorno mais adoçado, que se distribuem as populações e com tal disseminação que se pode considerar como uma das zonas da ilha com maior incidência de ruralismo.

Quanto à aba ocidental, francamente exposta a W-SW, Diniz et al (1985) afirmam que o panorama fisiográfico é algo bem diferenciado, refletindo, entre outros fatores, os condicionalismos climáticos de mais acentuada secura ambiental, em contraste com a aba oposta, que é diretamente beneficiada pelas correntes húmidas de NE. Tem-se assim que, nesta fachada ocidental, as superfícies estruturais da ilha, desenvolvendo-se quase que harmônica e continuamente desde as achadas do litoral até aos topos do maciço montanhoso do Pico da Antónia. As quebras de continuidade estão relacionadas com o profundo encaixamento da ribeira que quase sempre embutiram majestosos vales em “canhão” mantendo-se, todavia, em lombadas interfluviais, o nível da superfície primitiva.

Para se avaliar as diferenças de desgaste erosivo entre uma e outra das fachadas, basta atentarem na frequência de cones vulcânicos de um e de outro lado. Na face exposta à ocidente é notável o povoamento destes característicos montes-colinas, enquanto na do lado oriental apenas se cingem à orla costeira e num e noutro ponto (Diniz et al, 1985).

Os referidos autores caracterizaram-se as duas grandes unidades fisiográficas da ilha, separadas pela linha de fecho principal montanhoso, que marca contrastes vincadamente notórios na paisagem, diferenciando bem os aspectos ecológicos, a ocupação dos solos e o ruralismo. Para além destas e em correspondência com as extremidades setentrionais e meridionais da ilha destacam-se duas outras unidades importantes:

- A aba N-NW, desgarrada já do maciço da Malagueta e sem qualquer influência deste, constituindo, a nível global, um conjunto fisiograficamente harmônico;
- A aba S-SE, já praticamente fora da interferência da barreira montanhosa e constituindo no seu todo um bloco paisagístico algo uniforme ou, pelo menos, sem nítidos contrastes, a não ser os marcados por diferenciações de altitudes.

Relativamente à aba setentrional (orientada a N-NW) o quadro paisagístico salienta-se pela extensão das achadas e pelas formas de relevo que delas se erguem, de que se destacam as altaneiras domas e chaminés de coroamento rochoso e os freqüentes cones vulcânicos (Diniz et al, 1985).

Quanto à aba meridional, torna-se característico o fato de corresponder à expressiva superfície de encosta, interrompidas pelos vales profundamente entalhados, ou por um ou outro cone vulcânico (Diniz et al, 1985).

3.2 DADOS

Os dados usados nesse trabalho são referentes às alturas máximas anuais de chuvas com duração de 1 dia, observadas nos postos pluviométricos de São Francisco, São Jorge dos Órgãos, Trindade e do Aeroporto Internacional da cidade da Praia. Essas séries de eventos extremos foram adquiridas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG). Algumas informações sobre esses postos são apresentadas na

Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Informações dos postos pluviométricos da ilha de Santiago (CV)

PLuviómetro	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período de registro	Entidade mantenedora
Aeroporto da Praia	14°55'27.79"N	23°29'35.61"O	76	1995-2005	ASA
São Francisco	14°58'36.98"N	23°29'55.30"O	163	1980-2006	INMG
São Jorge dos Órgãos	15°02'05.58"N	23°36'14.74"O	589	1980-2006	INMG
Trindade	14°57'09.46"N	23°34'10.45"O	195	1980-2002	INMG

Fonte: INMG

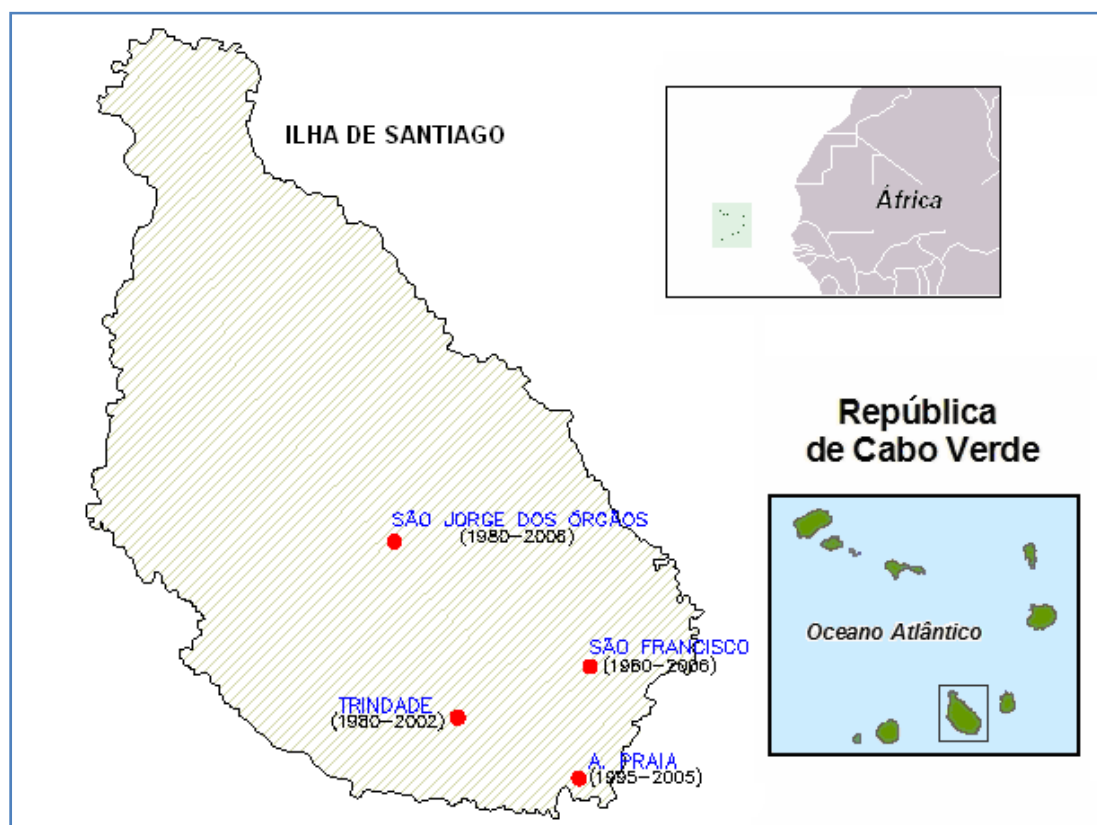


Figura 3.6 – Localização dos postos estudados

Os dados apresentados em Anexo I, II, III e IV correspondem aos históricos registrados pluviométricos nos postos de São Francisco, São Jorge, Trindade e do aeroporto internacional da Praia, respectivamente. O histórico foi conseguido junto a INMG. Os mesmos foram disponibilizados em planilha Excel, representando as alturas de chuvas de chuva registradas diariamente nos postos em questão.

Segundo informações do instituto nacional de meteorologia e geofísica INMG, as coletas são realizadas diariamente às 10h da manhã. Sendo assim, as alturas são correspondentes a precipitações que ocorreram em 1 dia (das 10h até as 10h da manhã do dia seguinte).

Dessas séries diárias, foram calculados os totais anuais em cada posto, suas médias e o número de dias em que efetivamente choveu. Foram montadas as séries de máximas mensais e as séries das máximas anuais para cada posto que, posteriormente, foram utilizadas no cálculo da chuva média máxima na região.

3.3 PREENCHIMENTO DE FALHAS

As tabelas de dados cedidas pelo INGM e usados no presente trabalho não apresentavam lacunas nas séries, exceto o histórico correspondente ao posto pluviométrico de Trindade que não operou no período compreendido entre Dezembro de 2002 a Agosto de 2006. Sendo assim, foram descartados os dados referentes ao período Agosto a Dezembro de 2006, utilizando apenas o histórico até Dezembro de 2002. Deste modo, não foi necessário o preenchimento dessa lacuna.

3.4 ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA DOS DADOS

Foi verificada a consistência dos dados dos históricos pluviométricos das quatro estações. A análise de consistência foi feita segundo o método de dupla massa, tomando como base, o histórico do posto de São Jorge dos Órgãos. Os dados da estação de São Jorge foram consistidos em relação ao posto de São Francisco. Acumulando as chuvas totais registradas nos postos de São Francisco, Trindade e do Aeroporto, e coincidindo os períodos de observação, obtiveram-se os seguintes gráficos:

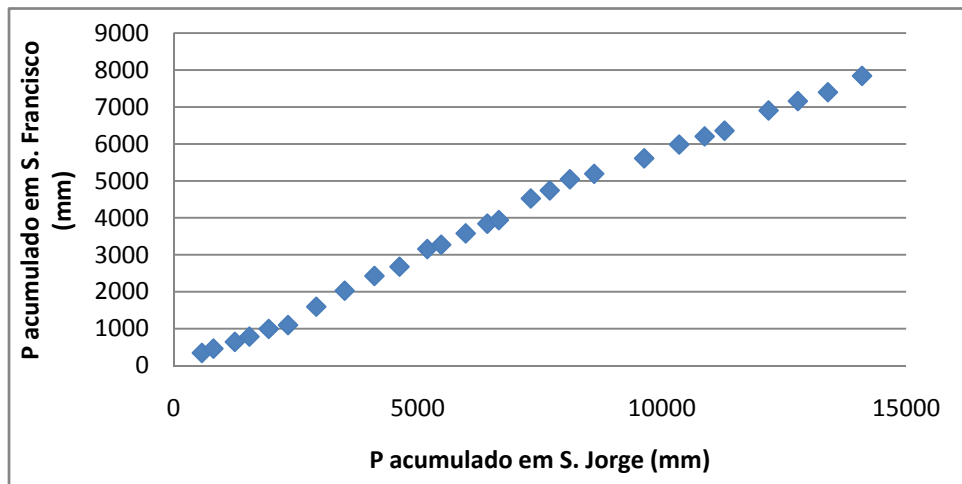


Figura 3.7 – Análise de consistência (S. Francisco X S. Jorge)

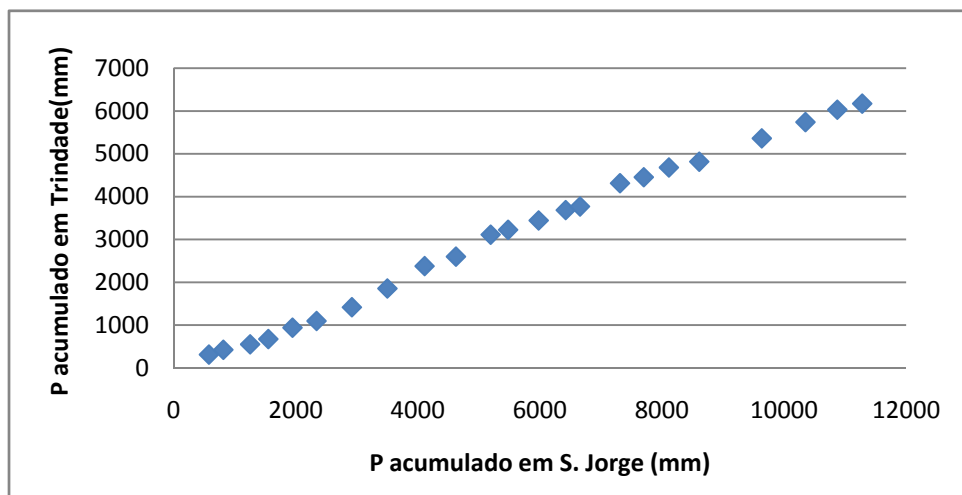


Figura 3.8 – Análise de consistência (Trindade X S. Jorge)

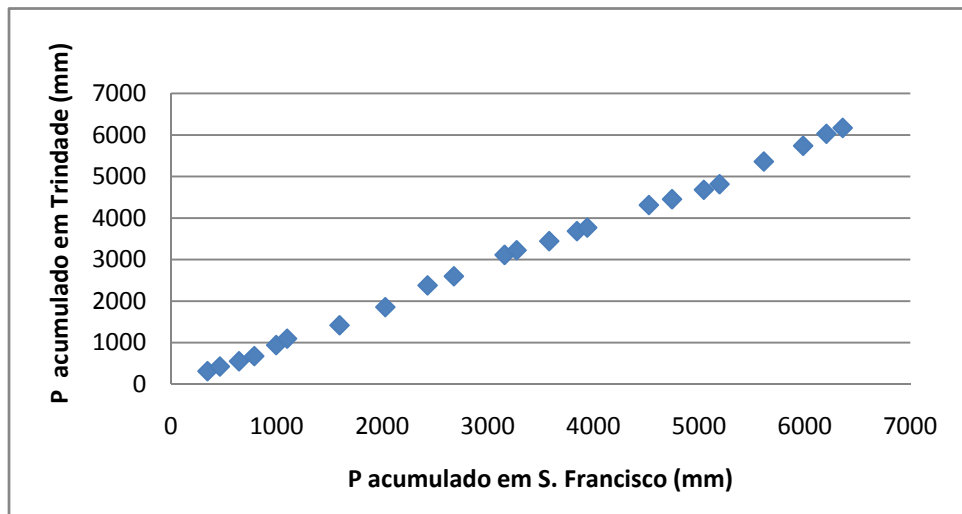


Figura 3.9 – Análise de consistência (Trindade X S. Francisco)

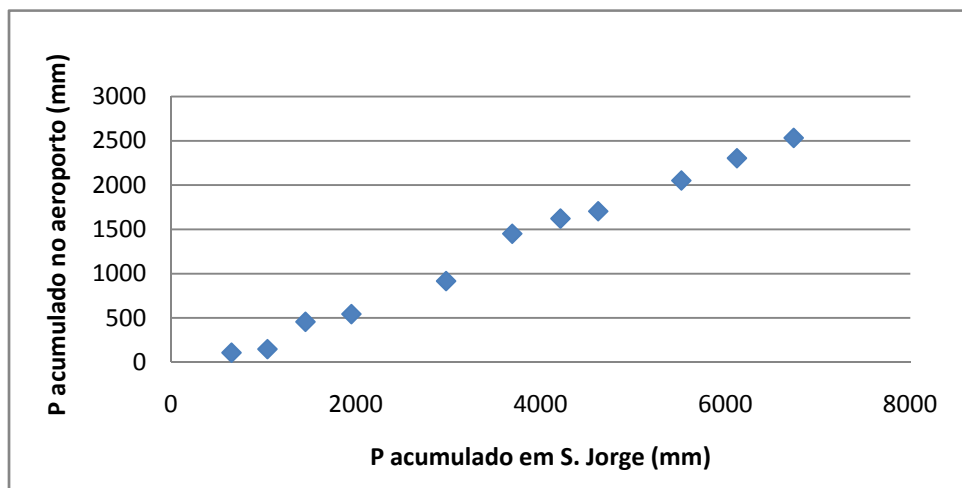


Figura 3.10 – Análise de consistência (aeroporto X S. Jorge)

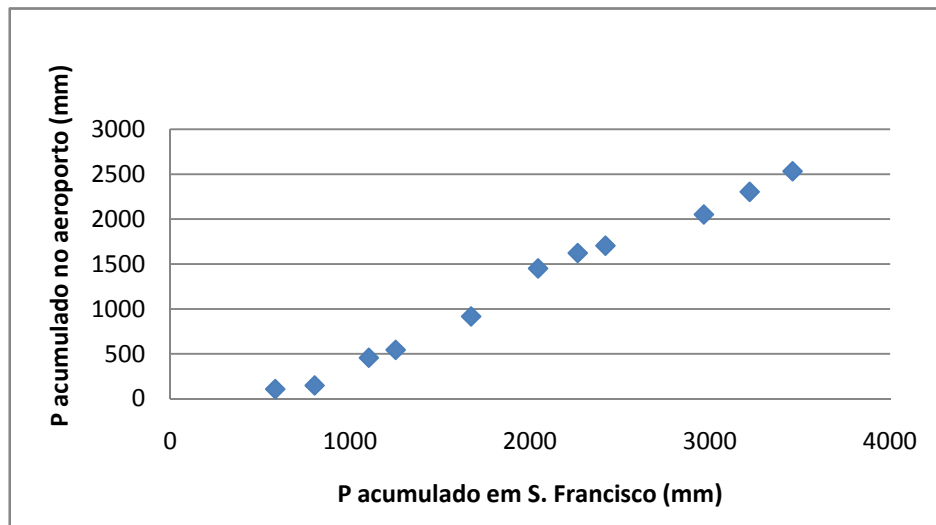


Figura 3.11 – Análise de consistência (aeroporto X S. Francisco)

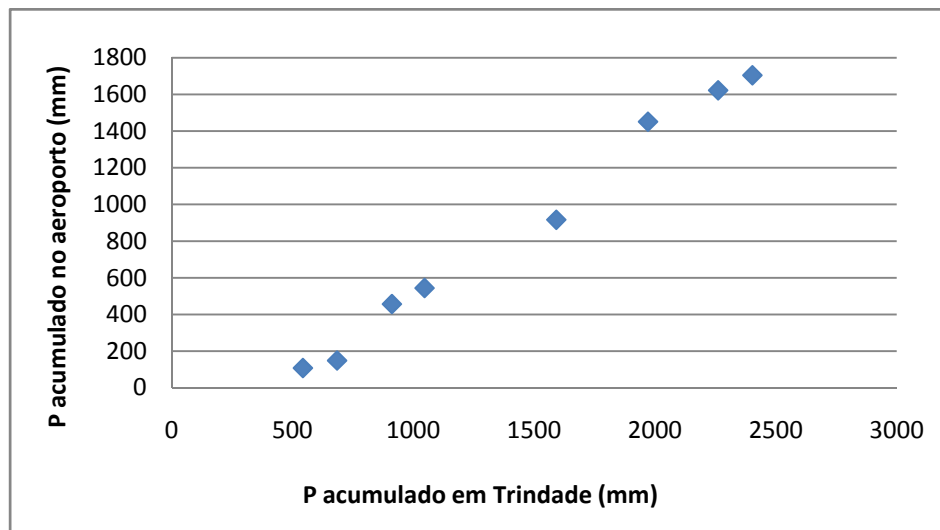


Figura 3.12 – Análise de consistência (aeroporto X Trindade)

Verifica-se que os dados observados nos postos de São Francisco, São Jorge e Trindade podem ser considerados como consistentes. Já os totais acumulados no Aeroporto apresentaram inconsistência quando comparados com os acumulados nos demais postos estudados.

Observa-se que os dados se agrupam em três períodos distintos. Ou seja, se fossemos traçar retas unindo pontos com declividades próximas, nas representações gráficas da comparação dos dados do aeroporto com os demais postos, teríamos três retas de declividades diferentes nas três comparações possíveis.

Essa tendência pode ser explicada pelas prováveis mudanças de localização do pluviômetro durante as obras de ampliação do aeroporto.

Sendo assim, foi necessário corrigir os dados do aeroporto. Optou-se por corrigi-los em relação ao posto pluviométrico de São Jorge. A figura XX mostra os pontos a serem corrigidos.

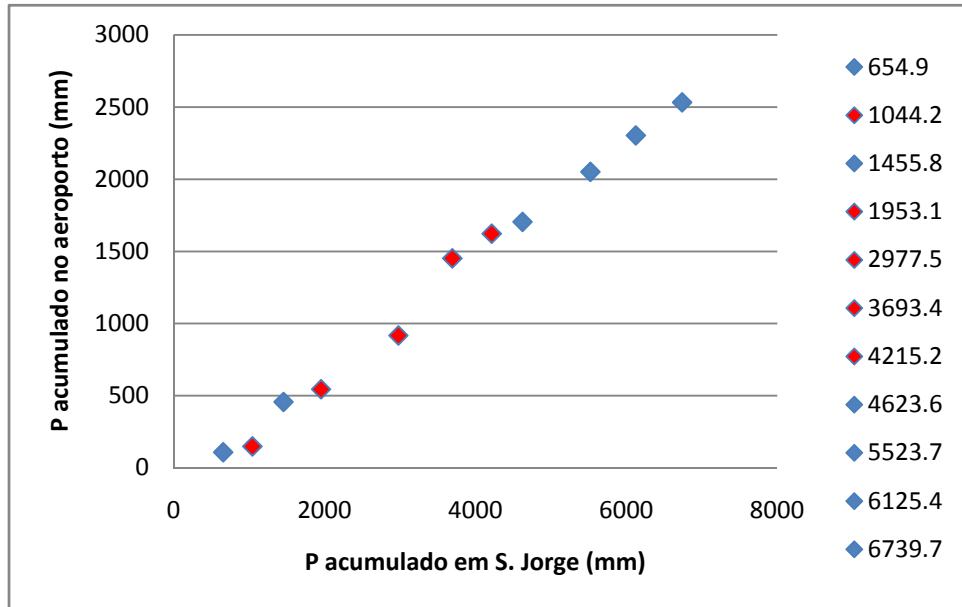


Figura 3.13 – Análise de consistência (Pontos a serem corrigidos)

A correção foi feita em relação aos dados correspondentes aos acumulados nos anos mais recentes. A Figura 3.14 apresenta os pontos corrigidos.

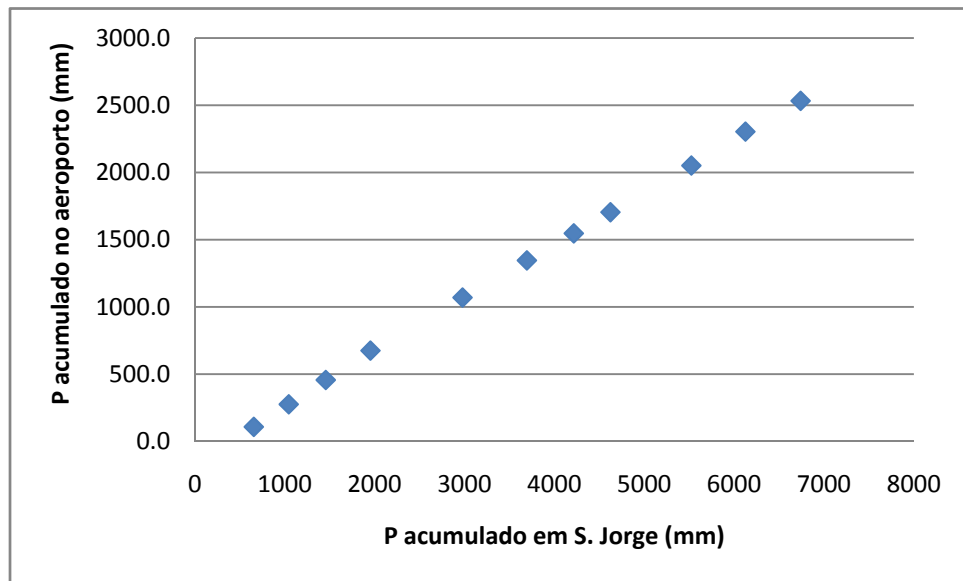


Figura 3.14 – Análise de consistência (aeroporto X S. Jorge) – Corrigido

Após a correção dos pontos correspondentes aos totais acumulados ao longo dos anos, calculou-se a diferença entre o valor acumulado corrigido e o não consistido, para cada ponto em questão. Dividiu-se esses valores encontrados pelo número de dias que choveu em cada ano correspondente. De posse desse quociente, foram corrigidas as chuvas diárias observadas no posto do aeroporto da Praia, somando ou subtraindo o quociente chuvas correspondentes aos respectivos anos, conforme o caso.

3.5 MONTAGEM DAS SÉRIES DE MÁXIMAS ANUAIS

Uma vez verificada a consistência dos dados observados nos posto em estudo, extraiu-se desses históricos apenas as máximas mensais para cada ano de observação, sendo que os meses em que não houve precipitação aparecem zerados nas tabelas. Posto isso, extraiu-se apenas as máximas registradas em cada ano, formando assim as séries de chuvas máximas anuais com duração de 1 dia para cada posto pluviométrico.

3.6 MONTAGEM DAS SÉRIES DE MÉDIAS MÁXIMAS ANUAIS

Através do método de Thiessen calculou-se a chuva média entre os postos. Para esse cálculo, foram considerados quatro períodos distintos em função do número de postos em funcionamento, visando montar a maior série possível, não desconsiderando qualquer ano de observação nenhum dos postos.

O traçado dos polígonos de Thiessen foi feito no programa Auto CAD® versão 2006, calculando através do mesmo as respectivas áreas de influência, conforme ilustrados nas figuras abaixo.

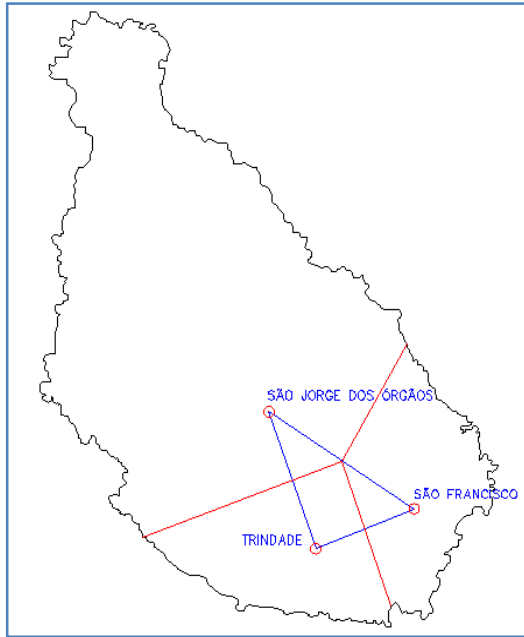


Figura 3.15 – Traçado dos Polígonos de Thissen – Período 1

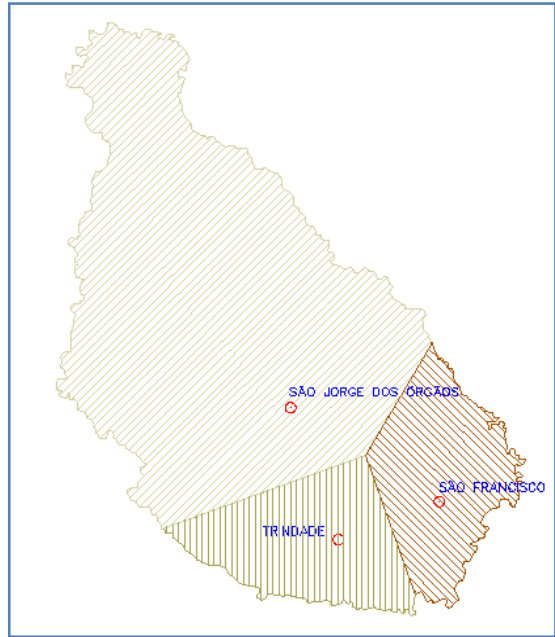


Figura 3.16 – Áreas de cobertura dos postos – período 1

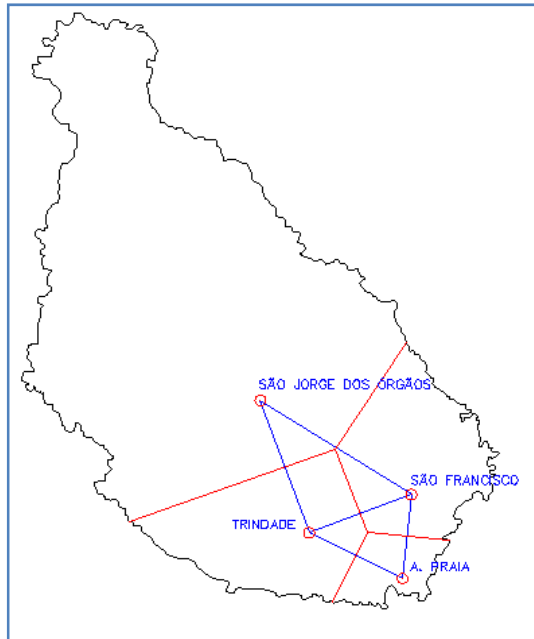


Figura 3.17 – Traçado dos Polígonos de Thissen – Período 2

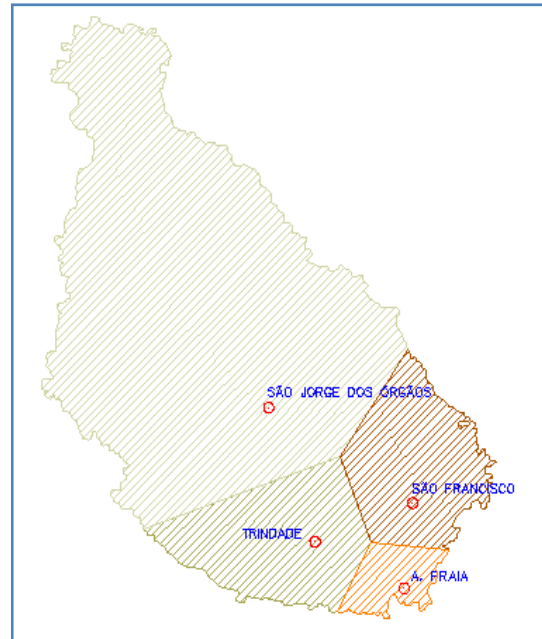


Figura 3.18 – Áreas de influência dos postos – período 2

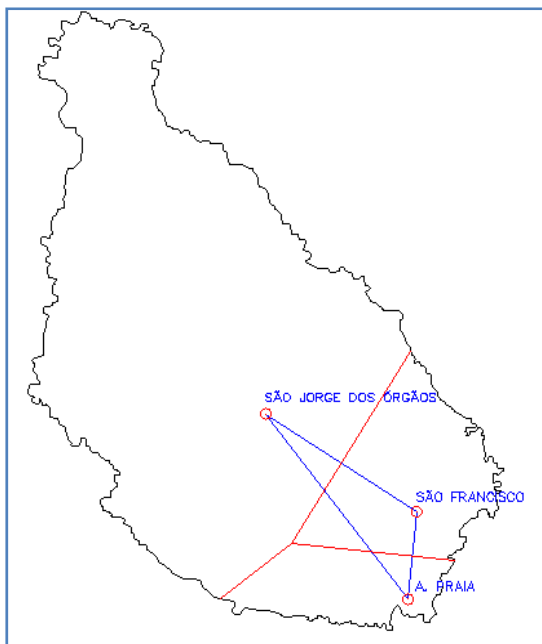


Figura 3.19 – Traçado dos Polígonos de Thissen – Período 3

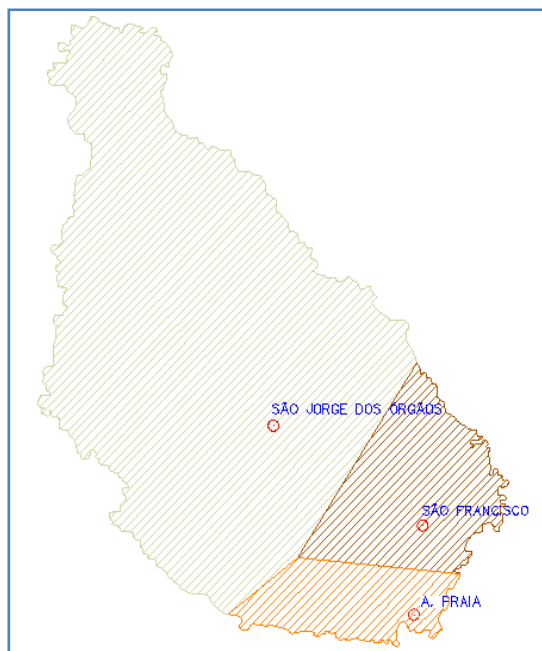


Figura 3.20 – Áreas de influência dos postos – período 3

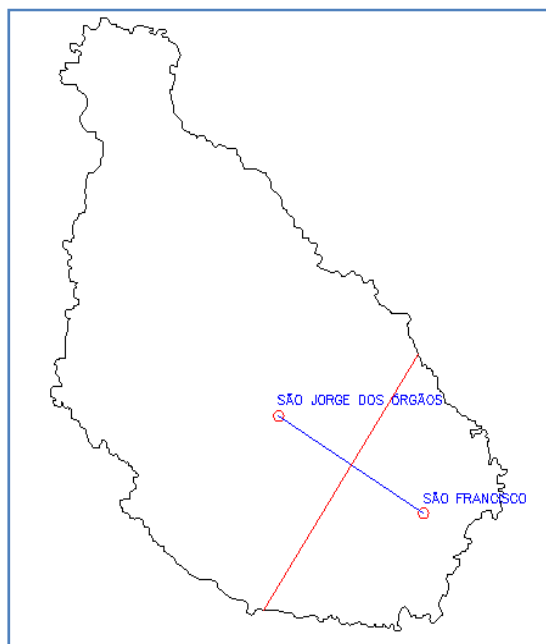


Figura 3.21 – Traçado dos Polígonos de Thissen – Período 4

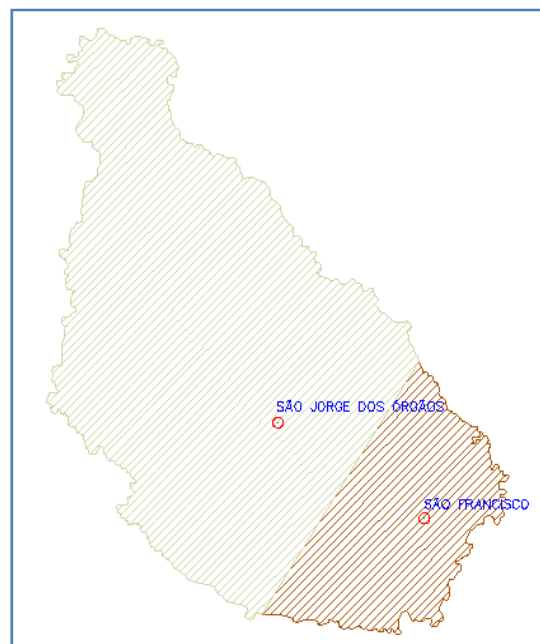


Figura 3.22 – Áreas de influência dos postos – período 4

Tabela 3.2 – Áreas de influência dos postos e seus respectivos períodos correspondentes

Períodos	Área (km ²)				Área Total (km ²)
	S. Francisco	S. Jorge	Trindade	A. Praia	
1	147,36	695,67	148,98	-	992,00
2	124,31	697,23	135,59	34,85	992,00
3	146,30	764,30	-	81,40	992,00
4	219,86	772,13	-	-	992,00

Através dos polígonos de Thiessen e das chuvas máximas anuais registradas nos postos, foi montada uma série de máxima média anual para a ilha de Santiago. Essa série é apresentada na Tabela 3.3.

As chuvas médias máximas foram dadas pela Equação 2.14 onde as áreas e as precipitações máximas usadas no calculo são correspondentes aos postos que se encontravam em operação no período em questão.

Tabela 3.3 – Série de máximas médias anual através do método de Thiessen

Período	Anos	Chuva máx. S. Francisco (mm)	Chuva máx. S. Jorge (mm)	Chuva máx. Trindade (mm)	Chuva máx. Aeroporto (mm)	Chuva média máxima (mm)
Período 1	1980	143,6	205,2	146,8	-	187,3
	1981	41,6	76,7	58,2	-	68,7
	1982	35,7	148,6	39,7	-	115,5
	1983	63,1	149,9	72,3	-	125,4
	1984	115,6	147,3	164,5	-	145,2
	1985	54,2	188,6	101,2	-	155,5
	1986	142,8	159,1	77,1	-	144,4
	1987	173,0	220,5	189,6	-	208,8
	1988	126,5	266,1	160,0	-	229,4
	1989	50,8	224,9	28,9	-	169,6
	1990	103,9	142,0	113,7	-	132,1
	1991	32,2	119,8	35,0	-	94,1
	1992	147,0	156,0	103,6	-	146,8
	1993	85,0	180,0	72,3	-	149,7
1994	25,0	76,7	37,0	-	63,1	
Período 2	1995	126,0	201,6	105,5	20,3	172,6
	1996	93,0	169,3	59,0	19,9	139,4
	1997	60,0	75,4	121,0	96,3	80,4
	1998	55,0	185,3	59,0	36,3	146,5
	1999	111,5	192,6	148,0	102,3	173,2
	2000	82,0	175,7	112,5	151,4	154,5
	2001	71,2	163,3	104,0	37,3	139,2
	2002	56,5	119,8	50,0	20,9	98,9
Período 3	2003	147,8	169,4	-	77,4	158,7
	2004	95,5	187,1	-	81,0	164,9
	2005	86,5	167,6	-	80,0	148,5
Período 4	2006	193,0	229,3	-	-	221,3

3.7 AJUSTE DA DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE

Não se tratando de uma análise comparativa ou de um teste de desempenho entre as diversas distribuições e em virtude da sua grande utilização em pesquisas da área em questão, no presente trabalho optou-se pela utilização da distribuição de eventos extremos de Gumbel.

Utilizando-se da série de médias máximas, calculou-se as probabilidades e os tempos de retorno das mesmas, através das Equação 2.20Equação 2.21, conforme mostrado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Distribuição de Gumbel para as séries de médias máximas anuais

Ano	Chuva média máxima	Ano Crítico	Chuva Crítica	Freqüência (F)	Variável reduzida (z)	$P[X \geq x]$	P%	TR (anos)
1980	187,3	1988	229,4	1	2,75626006	0,061553	6,16	16,25
1981	68,7	2006	221,3	1	2,53929386	0,075888	7,59	13,18
1982	115,5	1987	208,8	1	2,20878394	0,104017	10,40	9,61
1983	125,4	1980	187,3	1	1,63743709	0,176736	17,67	5,66
1984	145,2	1999	173,2	1	1,26289112	0,246356	24,64	4,06
1985	155,5	1995	172,6	1	1,24838183	0,249465	24,95	4,01
1986	144,4	1989	169,6	1	1,16823475	0,267224	26,72	3,74
1987	208,8	2004	164,9	1	1,04311739	0,296969	29,70	3,37
1988	229,4	2003	158,7	1	0,87796793	0,340073	34,01	2,94
1989	169,6	1985	155,5	1	0,79414016	0,363627	36,36	2,75
1990	132,1	2000	154,5	1	0,76643747	0,371655	37,17	2,69
1991	94,1	1993	149,7	1	0,64029912	0,409706	40,97	2,44
1992	146,8	2005	148,5	1	0,60689102	0,420183	42,02	2,38
1993	149,7	1992	146,8	1	0,56279491	0,434257	43,43	2,30
1994	63,1	1998	146,5	1	0,55430192	0,436999	43,70	2,29
1995	172,6	1984	145,2	1	0,51979865	0,448239	44,82	2,23
1996	139,4	1986	144,4	1	0,49830184	0,455323	45,53	2,20
1997	80,4	1996	139,4	1	0,36690234	0,499865	49,99	2,00
1998	146,5	2001	139,2	1	0,36193625	0,501587	50,16	1,99
1999	173,2	1990	132,1	1	0,17250161	0,568961	56,90	1,76
2000	154,5	1983	125,4	1	-0,00635671	0,634459	63,45	1,58
2001	139,2	1982	115,5	1	-0,26855191	0,729658	72,97	1,37
2002	98,9	2002	98,9	1	-0,7097584	0,869123	86,91	1,15
2003	158,7	1991	94,1	1	-0,83719028	0,900726	90,07	1,11
2004	164,9	1997	80,4	1	-1,19858326	0,963681	96,37	1,04
2005	148,5	1981	68,7	1	-1,50993328	0,989181	98,92	1,01
2006	221,3	1994	63,1	1	-1,65989943	0,994798	99,48	1,01

Através das Equação 2.21Equação 2.22, foi feita uma estimativa das alturas de chuvas para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos, com base no histórico observado e nos parâmetros de posição e de escala. Essas alturas são apresentadas na Tabela 3.5

Os parâmetros adimensionais de escala e de locação, α e μ respectivamente, foram calculadas de acordo com as expressões: $\alpha = S_n/S$ e $\mu = \bar{X} - Y_n/\alpha$. Esses parâmetros servem para melhorar o ajuste à distribuição escolhida.

Y_n e S_n foram extraídos da Tabela 2.1, em função do número de anos do histórico utilizado, ($n= 26$).

Tabela 3.5 – Estimativa de alturas de chuvas de 1 dia de duração para diferentes tempos de retorno

Período de retorno T (anos)	Probabilidade P[X≤x]	Probabilidade P[X≥x]	Variável Reduzida Y	Precipitação Estimada (mm)
2	0,500	0,500	0,3665	139,4
5	0,800	0,200	1,4999	182,1
10	0,900	0,100	2,2504	210,4
15	0,933	0,067	2,6738	226,3
20	0,950	0,050	2,9702	237,5
25	0,960	0,040	3,1985	246,1
30	0,967	0,033	3,3843	253,1
50	0,980	0,020	3,9019	272,6
100	0,990	0,010	4,6001	298,9
500	0,998	0,002	6,2136	359,7
1000	0,999	0,001	6,9073	385,8

Para avaliar a qualidade do ajuste da distribuição de Gumbel realizou-se uma regressão linear entre os máximos pluviométricos observados no período de 27 anos e os máximos pluviométricos obtidos pela distribuição de Gumbel.

Obteve-se uma forte correlação entre elas cujo coeficiente foi igual a 0,93. Quanto à forma da relação, ela foi certificada através da regressão quadrática, chegando-se ao 0,866. A Figura 3.23 ilustra a relação entre as variáveis.

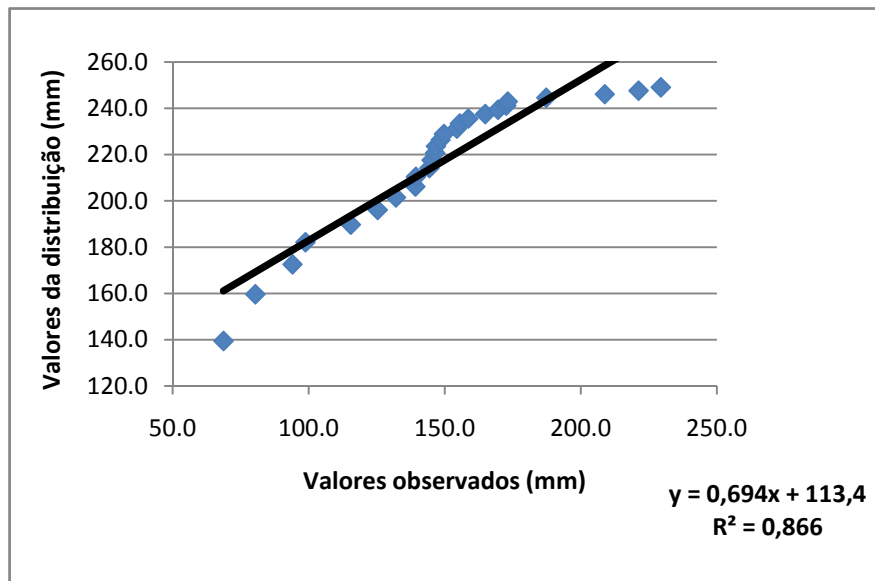


Figura 3.23 – Representação gráfica da regressão linear quadrática

3.8 MÉTODO DAS RELAÇÕES ENTRE CHUVAS DE DIFERENTES DURAÇÕES

Após a estimativa das alturas das chuvas de duração de 1 dia para diferentes tempos de retorno, calculou-se as alturas para as durações de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos, 1, 6, 8, 10, 12 e 24 horas.

Em primeiro lugar, foi feita a correção das precipitações máximas com duração de um dia, com diferentes tempos de retorno (2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 100, 500 e 1000 anos), para a máxima ocorrida em 24 horas.

Posteriormente, multiplicou-se essa chuva de 24 horas pelos coeficientes das diferentes durações para obtenção das alturas corrigidas para durações inferiores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 4.1, apresenta as alturas de chuvas de diferentes durações e tempos de retorno, estimados através do método das relações entre chuvas de diferentes durações. Utilizou-se dos valores da Tabela 2.2, referentes ao Brasil para encontrar as alturas das precipitações com as durações expostas acima. Para corrigir a chuva de duração de 1 dia para 24h, multiplicou-se a altura da chuva de 1 dia pelo coeficiente 1,10. Uma vez obtida a altura média máxima para a chuva de 24 horas, corrigiu-se o valor para as durações desejadas multiplicando-os pelos respectivos coeficientes.

Nota-se que à medida que aumenta a duração da chuva, aumenta a altura estimada. O mesmo acontece quanto se considera tempos de recorrência maiores, conferindo assim, coerência aos valores encontrados.

Tabela 4.1 – Alturas de chuva para diferentes durações e tempos de retorno

Duração da chuva	Total precipitado (mm)										
	Tempo de retorno (anos)										
	2	5	10	15	20	25	30	50	100	500	1000
5 min.	16,20	21,17	24,45	26,31	27,61	28,61	29,42	31,69	34,74	41,81	44,85
10 min	25,74	33,62	38,84	41,78	43,84	45,43	46,72	50,32	55,18	66,40	71,23
15 min.	33,36	43,58	50,34	54,16	56,83	58,89	60,57	65,24	71,53	86,08	92,33
20 min.	38,60	50,43	58,26	62,67	65,77	68,15	70,09	75,49	82,77	99,60	106,84
25 min.	43,37	56,65	65,45	70,41	73,89	76,56	78,74	84,81	92,99	111,90	120,03
30 min.	47,66	62,26	71,92	77,37	81,19	84,13	86,53	93,19	102,19	122,97	131,90
1h	64,40	84,13	97,19	104,56	109,72	113,69	116,93	125,94	138,09	166,17	178,24
6h	110,40	144,22	166,61	179,25	188,09	194,90	200,45	215,89	236,72	284,86	305,56
8h	119,60	156,24	180,50	194,18	203,76	211,15	217,15	233,88	256,45	308,60	331,02
10h	125,74	164,25	189,75	204,14	214,21	221,97	228,29	245,88	269,60	324,43	348,00
12h	130,34	170,26	196,70	211,61	222,05	230,09	236,64	254,87	279,47	336,30	360,73
24h	153,34	200,31	231,41	248,95	261,24	270,70	278,40	299,85	328,78	395,65	424,39

4.1 ESTABELECIMENTO DAS RELAÇÕES IDF

Na **Erro! Auto-referência de indicador não válida.** são apresentadas as relações intensidade-duração-frequencia, ou seja, as intensidades de chuva em mm/h, para as diferentes durações e tempos de retorno considerados. Essas intensidades são resultantes da divisão das alturas estimadas através do método das relações entre chuvas de diferentes durações, apresentadas na Tabela 4.1 pelas respectivas durações em hora.

Tabela 4.2 – Alturas de chuva para diferentes durações e tempos de retorno

Duração da chuva	Intensidade (mm/h)										
	Tempo de retorno (anos)										
	2	5	10	15	20	25	30	50	100	500	1000
5 min.	194,44	254,00	293,44	315,69	331,27	343,26	353,03	380,23	416,92	501,70	538,15
10 min.	154,41	201,71	233,02	250,69	263,06	272,59	280,34	301,95	331,08	398,41	427,36
15 min.	133,44	174,32	201,38	216,65	227,34	235,57	242,27	260,94	286,12	344,31	369,32
20 min.	115,81	151,28	174,77	188,02	197,30	204,44	210,26	226,46	248,31	298,81	320,52
25 min.	104,08	135,97	157,08	168,99	177,32	183,75	188,97	203,53	223,17	268,56	288,07
30 min.	95,32	124,51	143,84	154,75	162,38	168,27	173,05	186,39	204,37	245,93	263,80
1 h	64,40	84,13	97,19	104,56	109,72	113,69	116,93	125,94	138,09	166,17	178,24
6 h	18,40	24,04	27,77	29,87	31,35	32,48	33,41	35,98	39,45	47,48	50,93
8 h	14,95	19,53	22,56	24,27	25,47	26,39	27,14	29,24	32,06	38,58	41,38
10 h	12,57	16,43	18,98	20,41	21,42	22,20	22,83	24,59	26,96	32,44	34,80
12 h	10,86	14,19	16,39	17,63	18,50	19,17	19,72	21,24	23,29	28,02	30,06
24 h	6,39	8,35	9,64	10,37	10,88	11,28	11,60	12,49	13,70	16,49	17,68

Observando os valores das intensidades da

Na **Erro! Auto-referência de indicador não válida.** são apresentadas as relações intensidade-duração-frequencia, ou seja, as intensidades de chuva em mm/h, para as diferentes durações e tempos de retorno considerados. Essas intensidades são resultantes da divisão das alturas estimadas através do método das relações entre chuvas de diferentes durações, apresentadas na Tabela 4.1 pelas respectivas durações em hora.

Tabela 4.2, percebe-se que, ao contrário do exposto sobre as alturas de chuva de diferentes durações, à medida que aumenta a duração da chuva diminui a intensidade das mesmas. Já no concernente aos tempos de recorrência, quanto maior o tempo de retorno maior a intensidade da chuva correspondente.

Analisando o intervalo de duração de 5 a 30 minutos, nota-se que as chuvas com duração de 5 a 10 minutos possuem maiores variações de intensidades. Observa-se que para as chuvas com durações maiores de 15 minutos, a diferença entre as intensidades de chuvas tende a diminuir. Ou seja, a diferença de intensidade entre uma chuva de 20 minutos e uma de 25 minutos é menor que a diferença de intensidade entre uma de 15 minutos e de 20 minutos.

Quanto ao tempo de retorno, nota-se que há uma tendência a diminuição da diferença entre as intensidades das chuvas, com duração de 5 a 30 minutos, à medida que aumenta o tempo de retorno. Conforme a

Na **Erro! Auto-referência de indicador não válida.** são apresentadas as relações intensidade-duração-frequência, ou seja, as intensidades de chuva em mm/h, para as diferentes durações e tempos de retorno considerados. Essas intensidades são resultantes da divisão das alturas estimadas através do método das relações entre chuvas de diferentes durações, apresentadas na Tabela 4.1 pelas respectivas durações em hora.

Tabela 4.2, observa-se que essa tendência se mantém para tempos de retorno de até 25 anos. Para tempos de retorno maiores de 25 anos a diferença entre as intensidades, nesse intervalo de duração, tende a aumentar, à medida que aumenta o tempo de retorno. As chuvas com duração superiores a 6 horas, apresentam valores de intensidades relativamente próximos, para todos os tempos de retornos considerados.

4.2 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS RELAÇÕES IDF

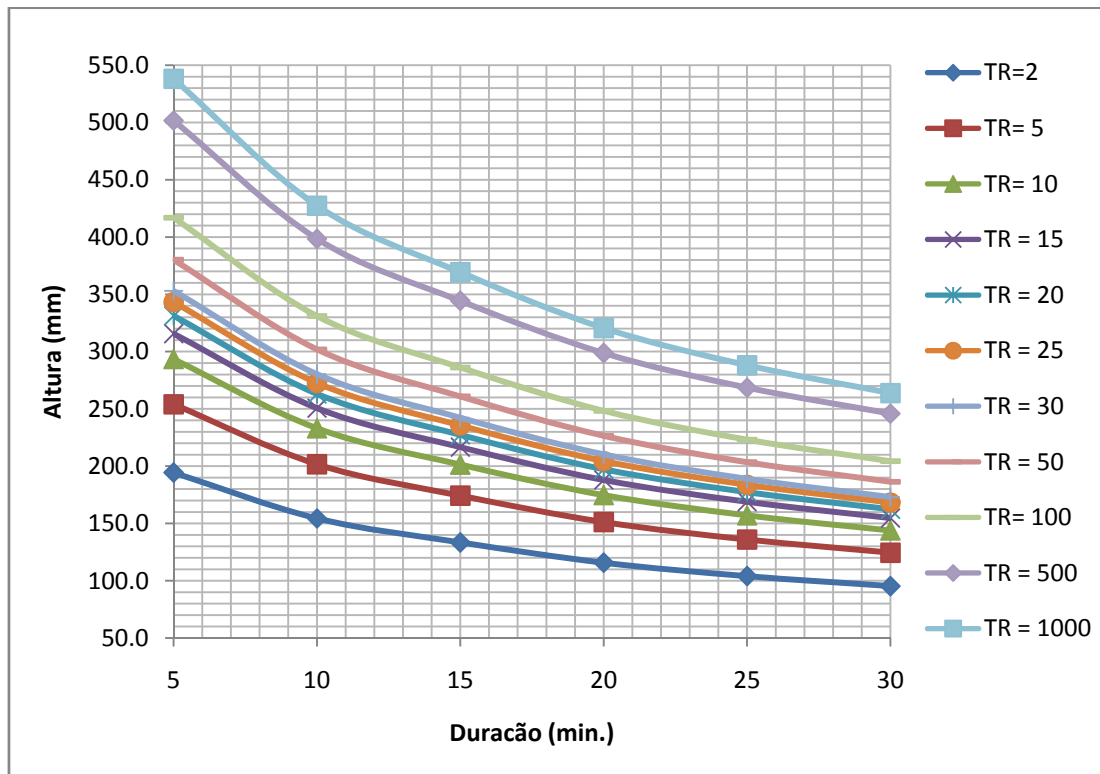


Figura 4.1 – Representação gráfica da IDF – (5 à 30 minutos)

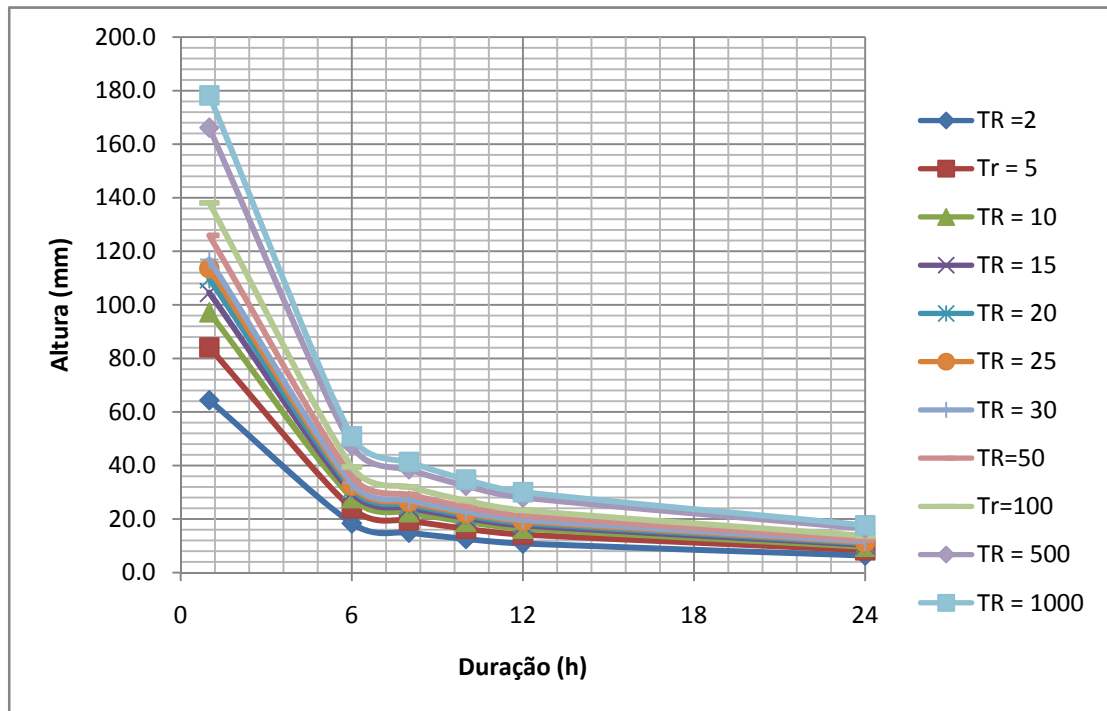


Figura 4.2 – Representação gráfica da IDF – (1à 24 horas)

Para facilitar a leitura das intensidades plotou-se as curvas num gráfico, altura da chuva em função da duração da mesma. As

Figura

4.1

Figura 4.2 ilustram as curvas IDF.

Na

Figura 4.2, nota-se uma tendência linear nos intervalos entre 1às 6h e no intervalo de 12 às 24h. Isso se deve ao fato de ser consideradas durações com separações muito grandes entre elas. Observe-se no gráfico que no intervalo de 6h às 12h, onde existe a maior quantidade de ponto, a tendência é menos acentuada. Há uma necessidade de considerarmos outras durações dentro desses intervalos longos para que haja uma melhor visualização das curvas.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia empregada neste estudo permitiu gerar a relação intensidade-duração-freqüência, para a ilha de Santiago, com base em dados pluviométricos, e mostrou-se adequada uma vez que comparando os valores observados nos postos com os estimados pela distribuição teórica de probabilidade, através da regressão quadrática, obteve-se um coeficiente de regressão linear próximo a 1.

A baixa densidade de postos aliado ao fato dos períodos de observação nos postos não se considerem na totalidade, a exceção dos postos de São Francisco e de São Jorge, pouco influenciou na estimativa da chuva média máxima da região. Com a aplicação do método dos polígonos de Thiessen chegou-se a valores próximos as magnitudes observadas na região.

A distribuição de Gumbel melhor se ajustou à tempos de retorno superiores a 5 anos e menores de 25. Sendo assim o estudo pode ser usado em obras e projetos hidráulicos, de pequeno e médio porte.

A correção dos valores do posto pluviométrico do aeroporto mostrou-se eficaz uma vez que após a correção, apresentou relação linear com os demais postos quando comparadas as chuvas acumuladas.

É necessária a realização de estudos hidrológicos no arquipélago, visando estabelecer uma relação entre as alturas das chuvas de diferentes durações para a região.

As relações IDF encontradas nesse trabalho podem ser usadas nas restantes ilhas do arquipélago. Porém com a instalação de postos pluviométricos espalhados por todas as ilhas pode-se estabelecer uma relação indensidade-duração-freqüência, com mais representatividade.

Recomenda-se que esse estudo seja atualizado, testando outras distribuições de probabilidade. Recomenda-se ainda que nos próximos estudos, usando os mesmos postos do presente trabalho, seja levado em consideração apenas a vertente sul da Ilhas de Santiago, conseguindo assim uma maior representatividade e densidade de postos, uma vez que restringia a área de estudo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BACK, A. J. *Chuvas Intensas e Chuva de Projeto de Drenagem superficial no Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri, 2002. 65 p (Epagri Boletim Técnico, 123)
2. BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E. *Precipitação*. In: TUCCI, C.E. (Ed.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1993. cap. 5, p. 177-241.
3. CECÍLIO, Roberto Avelino. **Precipitação**. Disponível em: <www.nedtec.ufes.br/prof/Roberto/disciplinas/manejo/03%20%20precipitação.pdf>. Acesso em out. 2007.
4. CETESB. (São Paulo, SP). Drenagem Urbana. Manual de projeto. 3ª Ed. São Paulo, 1986. 464p.
5. COSTA, A. R. & V. F. Brito. 1999. *Equações de chuva intensa para Goiás e sul de Tocantins*. In Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, Belo Horizonte, Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Anais.
6. COSTA, F. L. (1996) - *Processos erosivos actuais na bacia da Ribeira Seca (Santiago Oriental - Cabo Verde)*. *Garcia de Orta. Série Geografia*, vol. 15 (1), p. 29-34.
7. DENARDIN, J.L., FREITAS, P.L. *Características fundamentais da chuva no Brasil*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.17, n.10, p.1409-16, 1982.
8. DINIZ, A. CASTANHEIRA & MATOS, G. CARDOSO DE. 1985 *Carta de Zonagem agro-Ecológica de Cabo verde I- Ilha de Santiago*
9. ELTZ, F.L. *et al. Período de retorno de chuvas em Santa Maria*, RS. Revista Brasileira Ciência do Solo, Campinas, v. 16, p. 265- 269, 1992.
10. FREITAS, A.J. SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; PINTO, F.A. et al. *Equação de Chuvas Intensas no Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Companhia de saneamento de Minas Gerais, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2001. 65p
11. HEIZ, G. 1978. *Processamento dos dados pluviométricos do nordeste*: homogeneização dos dados – métodos do vetor regional. Recife: SUDENE

12. LAURA, A. A.; FERREIRA Fo., W. M. *Uso de séries parciais para análise de frequência de chuvas intensas*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XII, Vitória, 1997. Porto Alegre, ABRH, 1997. Anais
13. MARTINEZ JÚNIOR, F. 1999. *Análise das precipitações intensas no Estado de São Paulo*. In Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, Belo horizonte, Associação Brasileira de recursos hídricos, Anais.
14. MAY, S.; PRADO, R.T.A., *Estudo de Viabilidade de Aproveitamento de Água de Chuva para o consumo Não Potável em Edificações*. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo. São Paulo, 2004.
15. NERC. 1975. *Flood studies report*. London, 5v.
16. NERILO, N. *Pluviometria e chuvas intensas no Estado de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental*. Curso de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.168 p.
17. NERILO, N.; MEDEIROS, P. A.; CORDERO, A. *Chuvas Intensas no Estado de Santa Catarina*. Editora da UFCS, Florianópolis, 2002.
18. PINTO, F.A. *Chuvas intensas no Estado de Minas Gerais: análises e modelos*. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
19. PINTO, F. A., A. P. FERREIRA, F. F. Pruski, A. R. Alves& P. R. Cecon. 1999. *Equações de chuvas intensas para algumas localidades do Estado de Minas Gerais*. Engenharia Agrícola. 16 (1): 91- 104.
20. PFAFSTETTER, O. *Chuvas intensas no Brasil*. Rio de Janeiro: Ministério da Viação e Obras Públicas, DNOS, 1957. 420p.
21. PHILIPPI, L. SP.; VACCARI, K. P.; PETERS, M. R.; GONÇALVES, R. F. *Gerenciamento racional da água potável e de esgotos sanitários em edificações através do aproveitamento da água de chuvas e do reúso de águas servidas*. 1ªed. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006.
22. PRUSKI, F.F., CALIJURI, M.L., BHERING, E.M., SILVA, J.M. *Metodologia baseada no uso de sistemas de informações geográficas para obtenção de equações de chuvas intensas em qualquer localidade do Estado do Paraná*. Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v.5, n.3, p.254-265, 1997.

23. REZENDE, F. A. V.; ALMEIDA, R. M.V.; NOBRE, F. F. *Defining catchment areas for public hospitals in the Municipality of Rio de Janeiro through Weighted Voronoi Diagrams*. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2000000200017&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 09 Nov 2007.
24. SILVA, D.D.;VALVERDE, A.E.L.; PRUSKI, F.F.; PINTO, F.A. *Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-freqüência da precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo*. Revista Engenharia Agrícola, SBEA, Jaboticabal, SP, 18(3):11-21, 1999 a.
25. SILVA, D.D.;VALVERDE, A.E.L.; PRUSKI, F.F.; GONÇALVES. R.A.B. *Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação intensidade-duração-freqüência para o Estado de São Paulo*. Revista Engenharia na Agricultura. Viçosa, MG, v7. n2. p.70-80, 1999 b.
26. TUCCI, C.E.M. *Hidrologia ciência e aplicação*. Capítulos 4 e 5, 1ª ed. Porto Alegre ABHR, 1993.
27. TUCCI, C.E.M. *Modelos Hidrológicos*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998. 669p
28. VILLELA, S. M; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.

ANEXO 1 – Posto Pluviométrico de São Francisco

Posto Pluviométrico de São Francisco

Tabela 1.1 – Chuva Total anual – Posto de São Francisco

São Francisco			
Ano	P (mm)	Ano	P (mm)
1980	345,3	1994	97,8
1981	117,4	1995	583,5
1982	181,4	1996	219,3
1983	144,5	1997	301
1984	207,5	1998	149,2
1985	103,4	1999	419,1
1986	496,7	2000	372
1987	433	2001	220,5
1988	400,2	2002	154,3
1989	249,6	2003	546,7
1990	480	2004	254,6
1991	114,2	2005	238,6
1992	308,2	2006	444,4
1993	262,5		

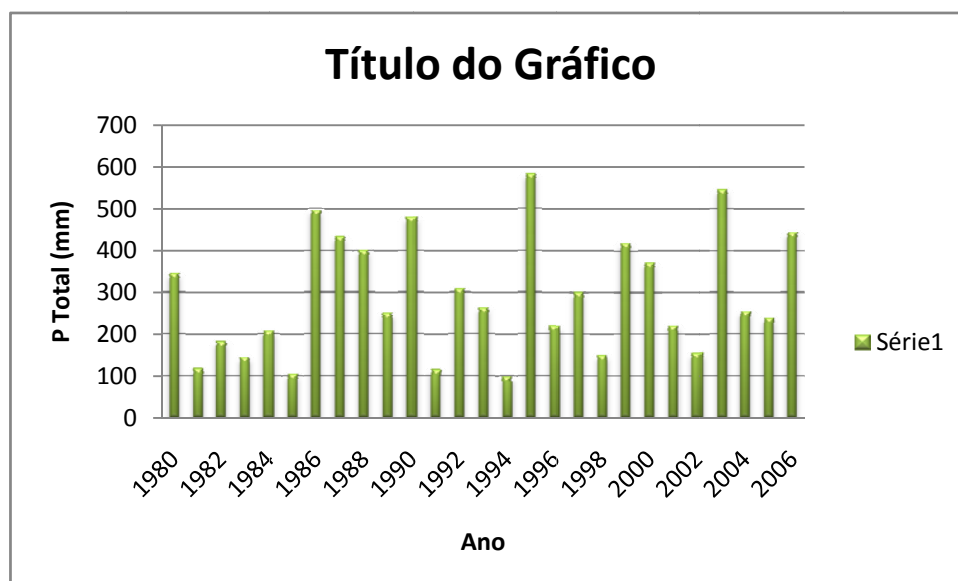


Figura 1.1 – Chuva Total anual – Posto de São Francisco

Tabela 1.2 – Número de dias que choveram efetivamente – Posto do aeroporto

Aeroporto			
Ano	Dias de Cuva	Ano	Dias de Cuva
1995	17	2001	20
1996	13	2002	14
1997	54	2003	23
1998	51	2004	17
1999	55	2005	14
2000	29		

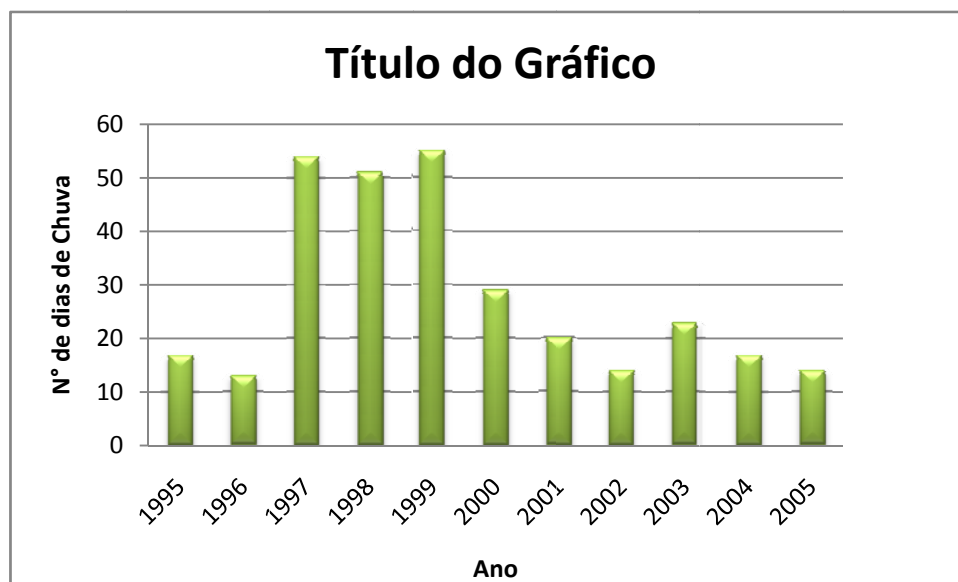


Figura 1.2 – Número de dias que choveram – Posto do aeroporto

Tabela 1.3 – Chuvas médias anuais com duração de 1 dia

Aeroporto			
Ano	P Méd. (mm)	Ano	P Méd. (mm)
1995	6,3	2001	7,0
1996	13,0	2002	5,9
1997	5,7	2003	15,1
1998	4,6	2004	14,8
1999	9,4	2005	16,4
2000	16,5		

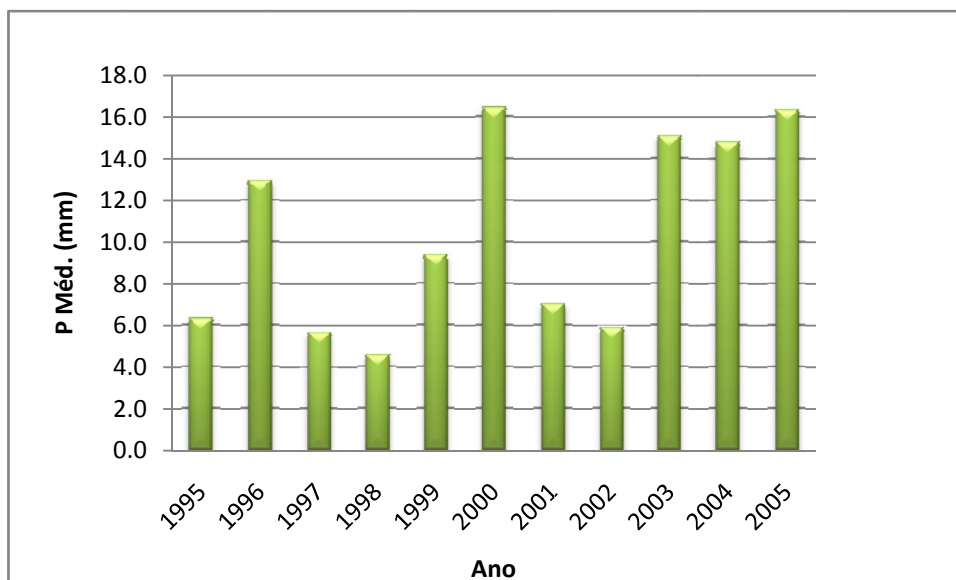


Figura 1.3 – Chuvas médias anuais – Posto do aeroporto

Tabela 1.4 – Chuvas máximas mensais com duração de 1 dia

Chuva Máxima Mensal (mm)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1995	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	11,6	20,3	17,0	0,0	0,0	0,0
1996	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,7	19,9	0,0	0,0	0,0
1997	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	96,3	55,9	1,4	0,0	0,0
1998	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	8,9	19,6	36,3	0,0	0,0	9,5
1999	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	73,5	102,3	56,4	0,0	0,0
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	25,9	77,6	151,4	0,1	0,0
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	37,3	25,4	0,3	0,0	0,0
2002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	20,9	12,3	0,0	0,0
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	77,4	60,2	33,0	0,0	0,0
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	39,9	81,0	8,2	37,5	0,0
2005	6,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	74,1	80,0	6,5	0,0	0,0

Dados Consistidos

Tabela 1.5 – Chuvas máximas anuais com duração de 1 dia

Aeroporto			
Ano	P Máx. (mm)	Ano	P Máx. (mm)
1995	20,3	2001	37,3
1996	19,9	2002	20,9
1997	96,3	2003	77,4
1998	36,3	2004	81
1999	102,3	2005	80
2000	151,4		

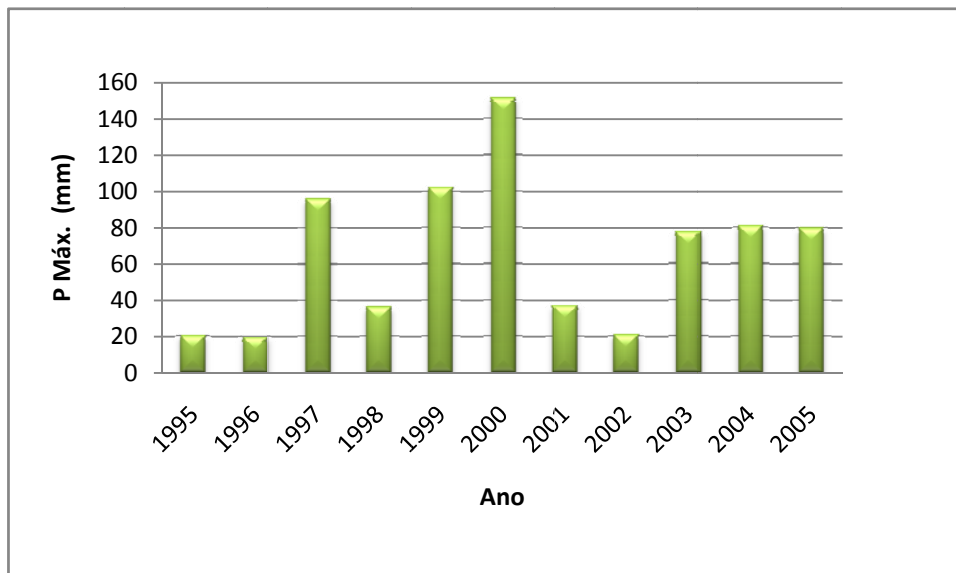


Figura 1.4 – Chuvas máximas anuais – Posto do aeroporto

ANEXO 2 – Posto Pluviométrico de São Jorge dos Órgãos

Posto Pluviométrico de São Jorge

Tabela 1.1 – Chuva Total anual – Posto de São Jorge

São Jorge			
Ano	P (mm)	Ano	P (mm)
1980	576,6	1994	235,5
1981	236,2	1995	654,9
1982	439,5	1996	389,3
1983	297,5	1997	411,6
1984	396,3	1998	497,3
1985	394,7	1999	1024,4
1986	578,6	2000	715,9
1987	581,4	2001	521,8
1988	610,3	2002	408,4
1989	513,2	2003	900,1
1990	568,5	2004	601,7
1991	285,9	2005	614,3
1992	500,6	2006	699,8
1993	443,2		

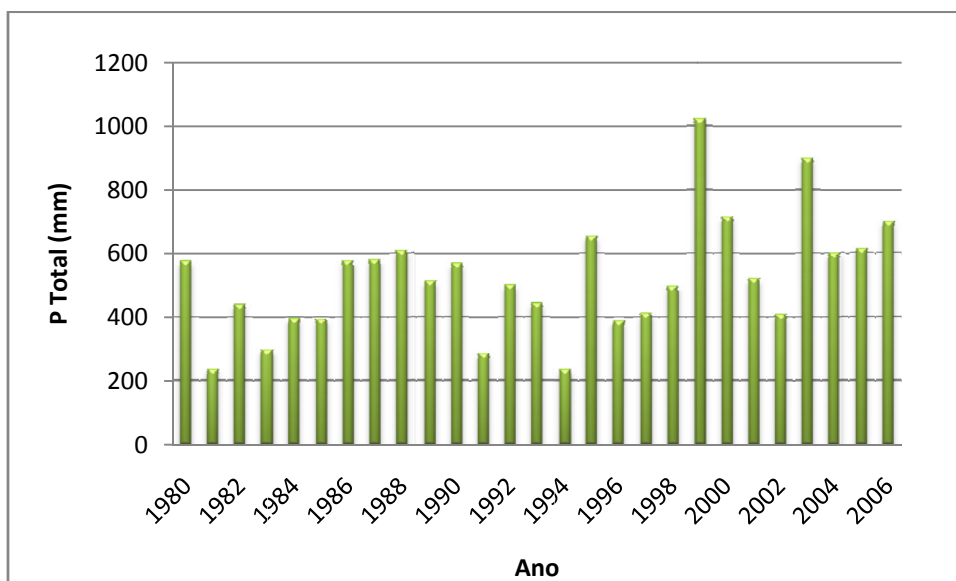


Figura 1.1 – Chuva Total anual – Posto de São Jorge

Tabela 1.2 – Número de dias que choveram efetivamente – Posto de São Jorge

São Jorge			
Ano	Dias de Cuva	Ano	Dias de Cuva
1980	21	1994	23
1981	13	1995	21
1982	50	1996	29
1983	51	1997	42
1984	54	1998	61
1985	18	1999	103
1986	29	2000	90
1987	26	2001	108
1988	24	2002	53
1989	29	2003	65
1990	26	2004	92
1991	20	2005	59
1992	25	2006	26
1993	25		

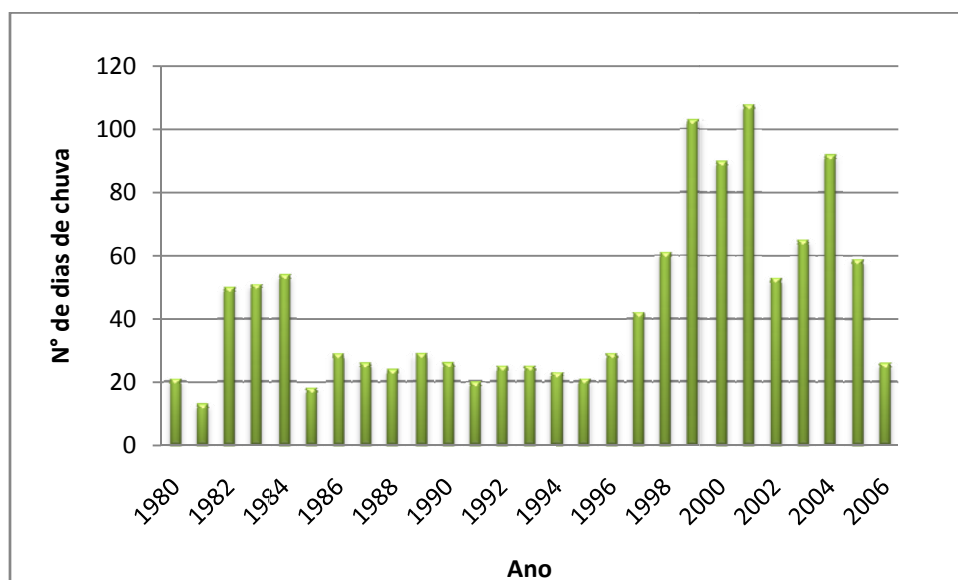


Figura 1.2 – Número de dias que choveram – Posto de São Jorge

Tabela 1.3 – Chuvas médias anuais com duração de 1 dia

São Jorge			
Ano	P Méd. (mm)	Ano	P Méd. (mm)
1980	27,5	1994	10,2
1981	18,2	1995	31,2
1982	8,8	1996	13,4
1983	5,8	1997	9,8
1984	7,3	1998	8,2
1985	21,9	1999	9,9
1986	20,0	2000	8,0
1987	22,4	2001	4,8
1988	25,4	2002	7,7
1989	17,7	2003	13,8
1990	21,9	2004	6,5
1991	14,3	2005	10,4
1992	20,0	2006	26,9
1993	17,7		

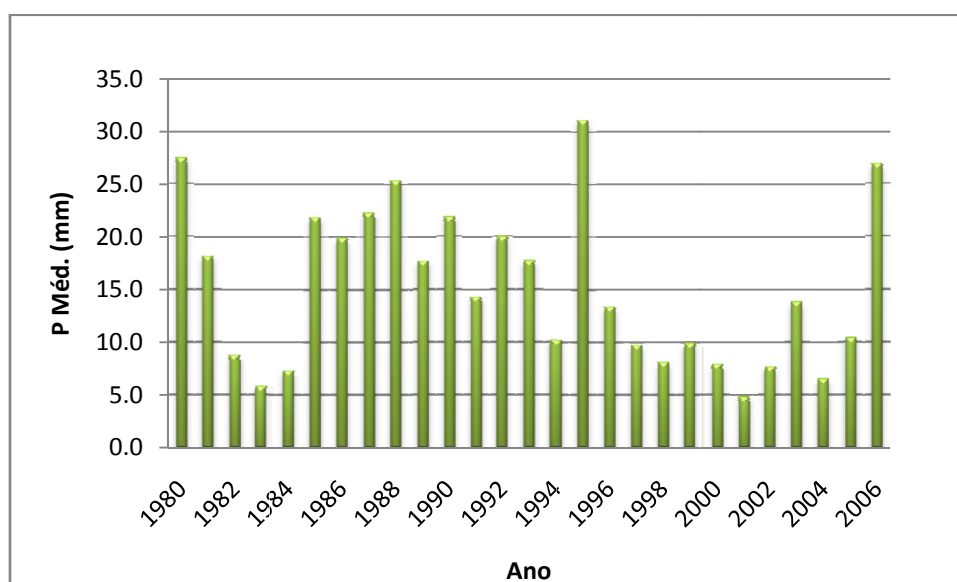


Figura 1.3 – Chuvas médias anuais – Posto de São Jorge

Tabela 1.4 – Chuvas máximas mensais com duração de 1 dia –Posto de São Jorge

Chuva Máximas Mensais (mm)												
Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1980	0,0	2,2	0,4	0,0	0,0	1,7	5,4	205,2	89,5	26,4	22,2	123,3
1981	12,4	7,0	0,5	0,0	0,0	0,0	33,1	67,8	76,7	0,0	0,0	8,0
1982	43,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	148,6	35,6	78,9	4,9	0,8
1983	2,6	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	1,3	98,3	149,9	1,0	0,0	1,1
1984	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	1,2	58,0	29,0	147,3	2,5	74,7	25,3
1985	0,8	0,4	1,2	0,0	0,0	0,0	42,1	80,0	188,6	0,1	2,4	36,8
1986	8,6	6,4	0,1	0,7	4,0	0,0	23,1	159,1	113,5	125,1	0,8	0,3
1987	0,3	4,2	0,4	0,0	0,0	0,2	2,5	220,5	103,7	199,4	1,6	1,8
1988	4,6	46,7	4,1	0,0	0,0	0,1	15,2	266,1	79,6	6,8	99,5	1,3
1989	0,0	0,0	0,3	0,8	0,0	0,0	5,3	224,9	48,0	50,2	3,5	35,5
1990	31,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	51,2	55,0	142,0	109,2	3,4	0,2
1991	0,3	4,6	0,0	0,2	0,0	0,0	1,9	78,1	119,8	18,7	0,2	5,4
1992	48,4	0,2	0,1	0,0	0,4	0,0	60,6	39,9	99,4	156,0	28,4	0,1
1993	18,4	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	22,2	180,0	127,4	2,4	5,4	0,2
1994	2,4	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	4,2	74,8	76,7	15,3	0,0	0,0
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,9	138,0	201,6	30,9	1,2	38,8
1996	10,7	1,5	3,0	0,0	0,0	0,7	5,7	169,3	65,5	10,1	13,4	2,3
1997	11,8	0,0	0,0	0,2	0,0	1,9	9,6	70,0	75,4	4,6	0,1	0,0
1998	4,6	0,0	2,6	2,6	0,0	0,0	17,2	76,9	185,3	3,8	0,5	4,0
1999	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	77,2	151,5	55,2	192,6	5,5	1,4
2000	1,9	0,1	0,0	0,6	0,0	0,6	29,9	107,1	75,2	175,7	4,9	1,2
2001	0,8	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	54,8	163,3	81,3	48,4	82,5	2,6
2002	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	72,7	119,8	49,7	0,2	0,0
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	49,2	169,4	130,9	112,3	0,0	0,0
2004	1,4	0,7	0,3	0,8	0,0	0,0	32,7	87,4	187,1	55,3	42,2	0,4
2005	18,7	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	48,9	93,5	167,6	72,9	0,0	0,0
2006	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	40,9	158,5	229,3	11,2	0,0	0,0

Tabela 1.5 – Chuvas máximas anuais com duração de 1 dia

São Jorge			
Ano	P Máx. (mm)	Ano	P Máx. (mm)
1980	205,2	1994	76,7
1981	76,7	1995	201,6
1982	148,6	1996	169,3
1983	149,9	1997	75,4
1984	147,3	1998	185,3
1985	188,6	1999	192,6
1986	159,1	2000	175,7
1987	220,5	2001	163,3
1988	266,1	2002	119,8
1989	224,9	2003	169,4
1990	142,0	2004	187,1
1991	119,8	2005	167,6
1992	156,0	2006	229,3
1993	180,0		

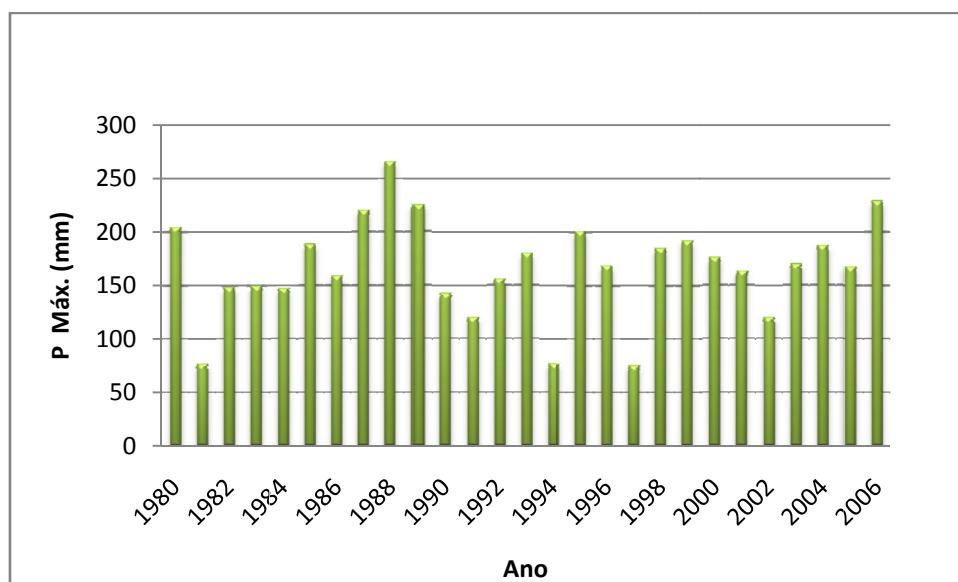


Figura 1.4 – Chuvas máximas anuais – Posto de São Jorge

ANEXO 3 – Posto Pluviométrico da Trindade

Posto Pluviométrico de São Francisco

Tabela 1.1 – Chuva Total anual – Posto da Trindade

Trindade			
Ano	P (mm)	Ano	P (mm)
1980	311,4	1992	219,4
1981	113,4	1993	241,1
1982	126,8	1994	84,4
1983	123,7	1995	543,2
1984	264,3	1996	141,5
1985	156,9	1997	227
1986	320,9	1998	135
1987	438	1999	545
1988	522,6	2000	379,3
1989	221,3	2001	290,2
1990	513,9	2002	142
1991	112,4		

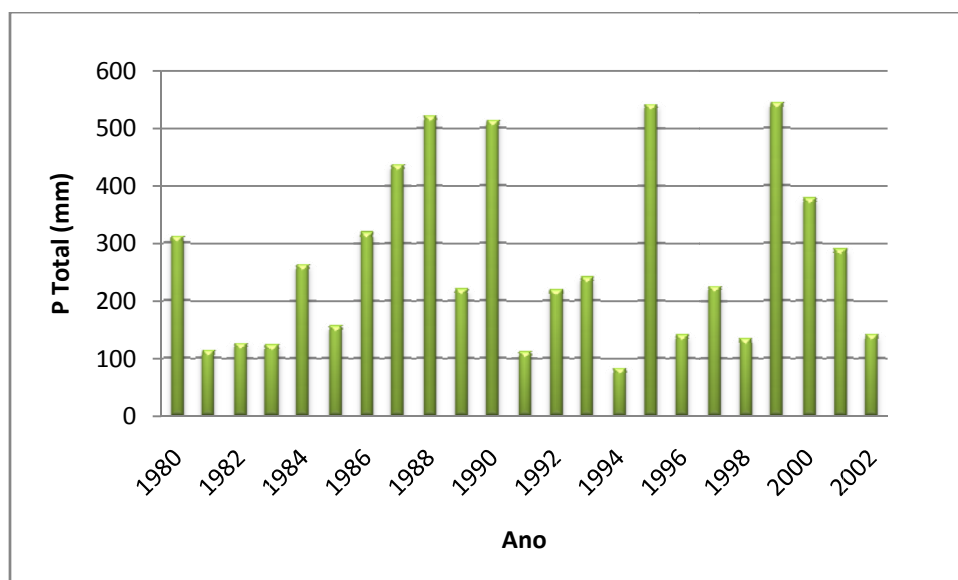


Figura 1.1 – Chuva Total anual – Posto da Trindade

Tabela 1.2 – Número de dias que choveram efetivamente – Posto da Trindade

Trindade			
Ano	Dias de Chuva	Ano	Dias de Chuva
1980	13	1992	17
1981	11	1993	19
1982	47	1994	14
1983	47	1995	20
1984	50	1996	14
1985	14	1997	38
1986	24	1998	36
1987	18	1999	43
1988	15	2000	43
1989	21	2001	41
1990	22	2002	38
1991	13		

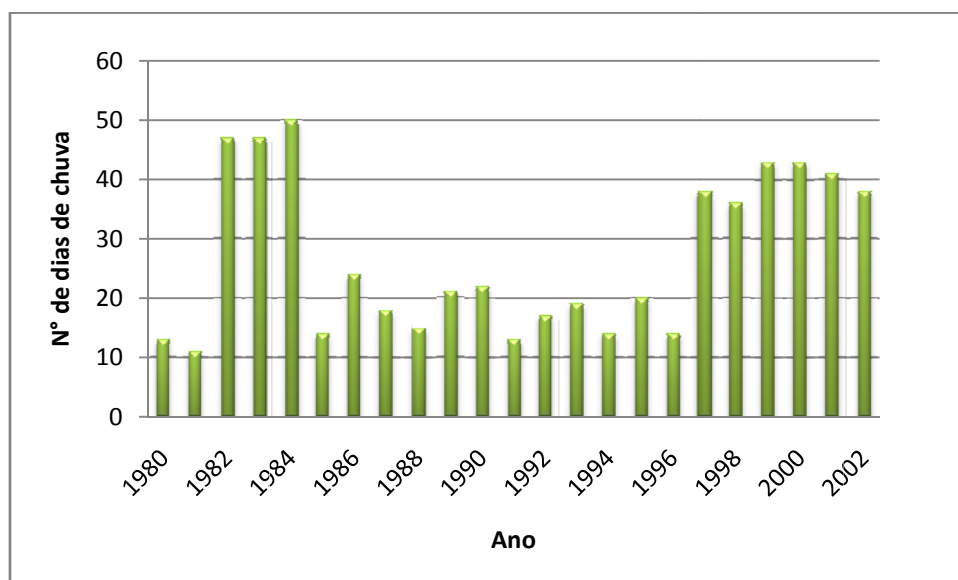


Figura 1.2 – Número de dias que choveram – Posto da Trindade

Tabela 1.3 – Chuvas médias anuais com duração de 1 dia

Trindade			
Ano	P Méd. (mm)	Ano	P Méd. (mm)
1980	24,0	1992	12,9
1981	10,3	1993	12,7
1982	2,7	1994	6,0
1983	2,6	1995	27,2
1984	5,3	1996	10,1
1985	11,2	1997	6,0
1986	13,4	1998	3,8
1987	24,3	1999	12,7
1988	34,8	2000	8,8
1989	10,5	2001	7,1
1990	23,4	2002	3,7
1991	8,6		

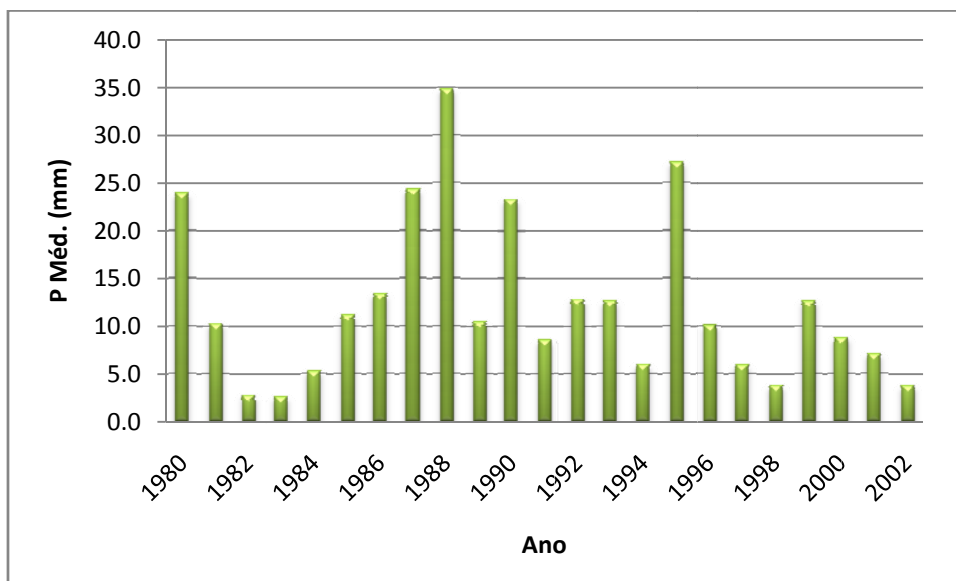


Figura 1.3 – Chuvas médias anuais – Posto da Trindade

Tabela 1.4 – Chuvas máximas mensais com duração de 1 dia- Posto da trindade

Chuva Máxima Mensal (mm)												
Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1980	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	146,8	73,8	0,0	0,0	0,0
1981	7,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	58,2	24,0	0,0	0,0	0,1
1982	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,7	3,3	6,0	2,6	0,0
1983	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	17,0	72,3	0,0	0,0	0,0
1984	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	2,2	164,5	0,0	29,6	22,6
1985	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	5,2	32,8	101,2	0,0	0,0	6,4
1986	6,0	5,6	0,0	0,0	8,0	0,0	0,8	72,4	55,2	77,1	0,0	0,0
1987	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	189,6	80,3	128,0	0,0	0,0
1988	0,0	52,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	139,8	72,4	0,0	160,0	0,0
1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,4	28,9	26,5	0,4	0,0
1990	21,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	81,5	41,6	113,7	87,6	0,6	0,0
1991	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	35,0	17,2	0,0	0,0	0,0
1992	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	11,5	0,0	41,1	103,6	0,0	0,0
1993	12,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	72,3	70,0	0,0	0,0	0,0
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,0	8,0	0,0	0,0	0,0
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,8	105,5	97,5	6,6	0,0	100,0
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	59,0	6,0	0,0	0,0	0,0
1997	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	121,0	28,0	0,0	0,0	0,0
1998	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	59,0	35,0	0,0	0,0	0,0
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0	148,0	97,0	0,0	0,0
2000	17,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,0	112,5	56,0	0,0	0,0
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0	54,0	104,0	6,0	42,6	0,0
2002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	34,0	50,0	0,0	0,0
2003	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
2004	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
2005	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
2006	**	**	**	**	**	**	**	**	291,0	10,0	0,0	0,0

**Dados não disponíveis

Tabela 1.5 – Chuvas máximas anuais com duração de 1 dia

Trindade			
Ano	P Máx. (mm)	Ano	P Máx. (mm)
1980	146,8	1992	103,6
1981	58,2	1993	72,3
1982	39,7	1994	37
1983	72,3	1995	105,5
1984	164,5	1996	59
1985	101,2	1997	121
1986	77,1	1998	59
1987	189,6	1999	148
1988	160	2000	112,5
1989	28,9	2001	104
1990	113,7	2002	50
1991	35		

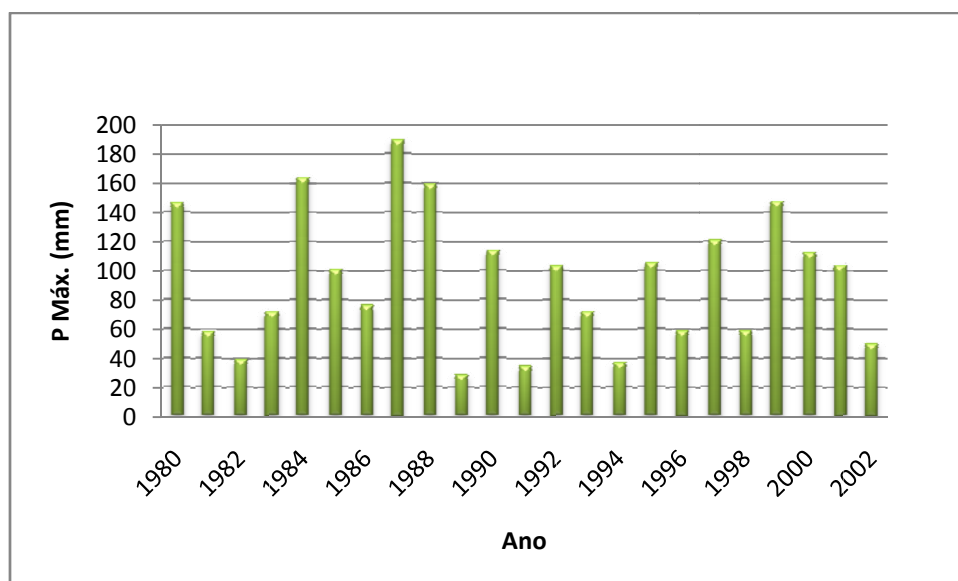


Figura 1.4 – Chuvas máximas anuais – Posto da Trindade

ANEXO 4 – Posto Pluviométrico do Aeroporto Internacional da Cidade da Praia

Posto Pluviométrico do Aeroporto da Praia

Tabela 1.1 – Chuva Total anual – Posto do aeroporto

Aeroporto			
Ano	P (mm)	Ano	P (mm)
1995	107,7	2001	140,7
1996	168,4	2002	82,4
1997	308,2	2003	347
1998	233,7	2004	252,2
1999	516,4	2005	229,3
2000	477,7		

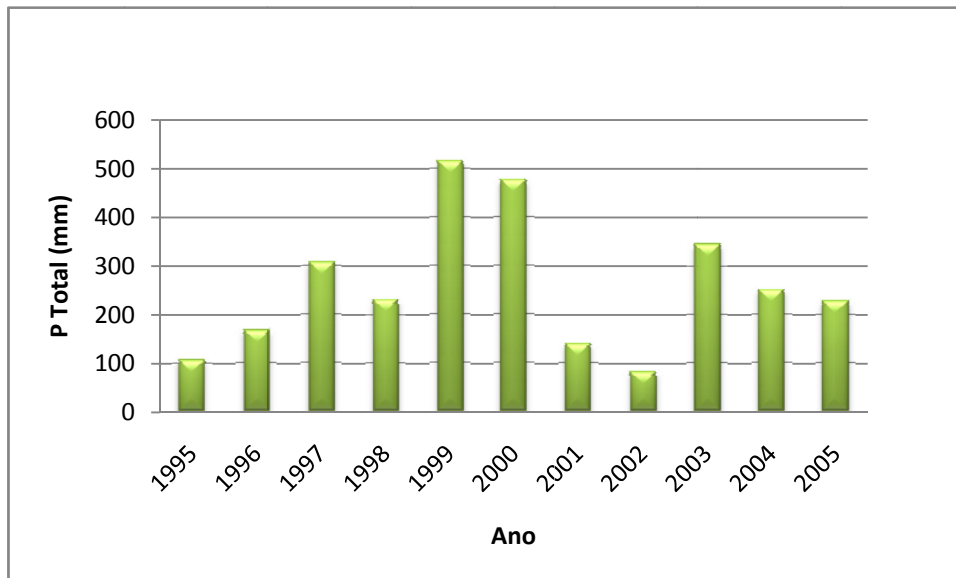


Figura 1.1 – Chuva Total anual – Posto do aeroporto

Tabela 1.2 – Número de dias que choveram efetivamente – Posto do aeroporto

Aeroporto			
Ano	Dias de Cuva	Ano	Dias de Cuva
1995	17	2001	20
1996	13	2002	14
1997	54	2003	23
1998	51	2004	17
1999	55	2005	14
2000	29		

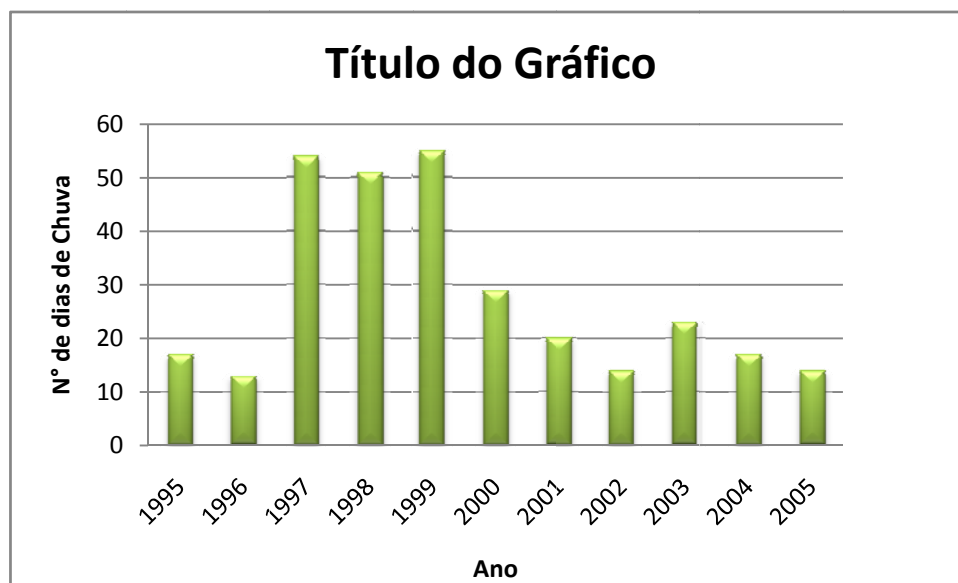


Figura 1.2 – Número de dias que choveram – Posto do aeroporto

Tabela 1.3 – Chuvas médias anuais com duração de 1 dia

Aeroporto			
Ano	P Méd. (mm)	Ano	P Méd. (mm)
1995	6,3	2001	7,0
1996	13,0	2002	5,9
1997	5,7	2003	15,1
1998	4,6	2004	14,8
1999	9,4	2005	16,4
2000	16,5		

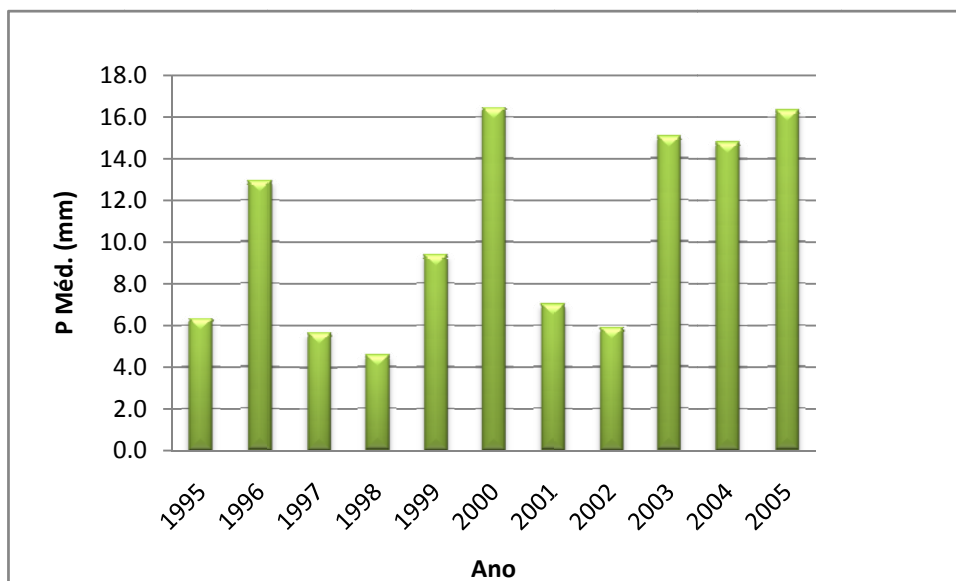


Figura 1.3 – Chuvas médias anuais – Posto do aeroporto

Tabela 1.4 – Chuvas máximas mensais com duração de 1 dia

Chuva Máxima Mensal (mm)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1995	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	11,6	20,3	17,0	0,0	0,0	0,0
1996	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,7	19,9	0,0	0,0	0,0
1997	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	96,3	55,9	1,4	0,0	0,0
1998	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	8,9	19,6	36,3	0,0	0,0	9,5
1999	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	73,5	102,3	56,4	0,0	0,0
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	25,9	77,6	151,4	0,1	0,0
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	37,3	25,4	0,3	0,0	0,0
2002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	20,9	12,3	0,0	0,0
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	77,4	60,2	33,0	0,0	0,0
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	39,9	81,0	8,2	37,5	0,0
2005	6,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	74,1	80,0	6,5	0,0	0,0

Dados Consistidos

Tabela 1.5 – Chuvas máximas anuais com duração de 1 dia

Aeroporto			
Ano	P Máx. (mm)	Ano	P Máx. (mm)
1995	20,3	2001	37,3
1996	19,9	2002	20,9
1997	96,3	2003	77,4
1998	36,3	2004	81
1999	102,3	2005	80
2000	151,4		

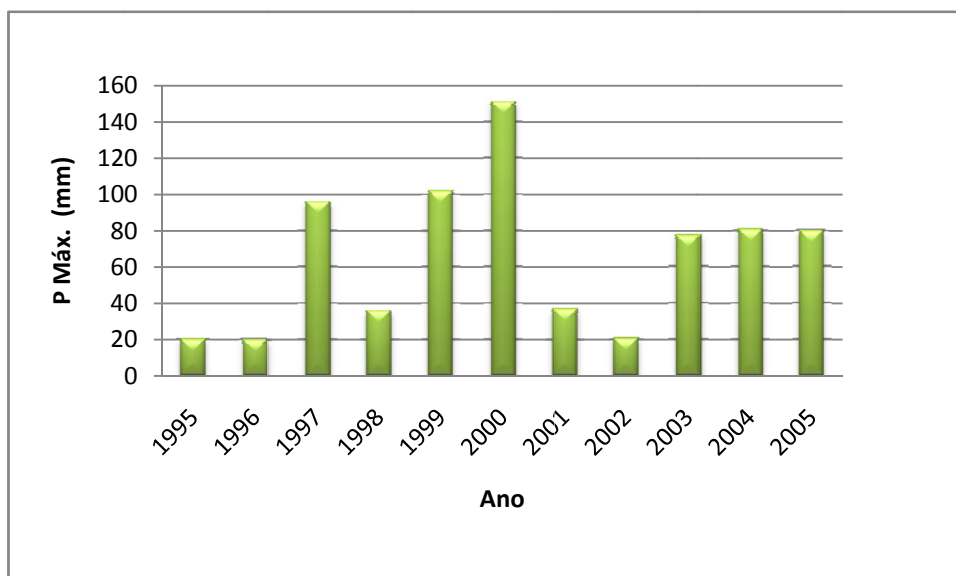


Figura 1.4 – Chuvas máximas anuais – Posto do aeroporto