

MARTHA REGINA VON BORSTEL SUGAI

TEMPO DE RECORRÊNCIA ASSOCIADO À
PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL NA
REGIÃO SUL DO BRASIL

Dissertação apresentada no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica, promovido pelo Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Parigot de Souza - CEHPAR, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

CURITIBA

1989

TEMPO DE RECORRÊNCIA ASSOCIADO À PRECIPITAÇÃO
MÁXIMA PROVÁVEL NA REGIÃO SUL DO BRASIL

por

MARTHA REGINA VON BORSTEL SUGAI

Dissertação aprovada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-Graduação
em Engenharia Hidráulica pela Comissão formada pelos
professores:

ORIENTADOR:



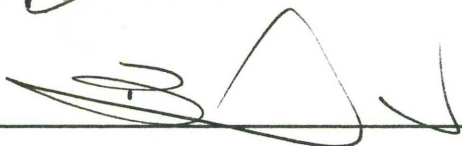
PROF. NELSON L. DE S. PINTO

CO-ORIENTADOR:

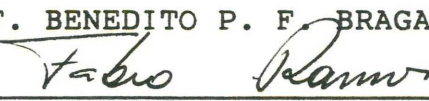


PROF. HEINZ DIETER O. A. FILL

MEMBROS :



PROF. BENEDITO P. F. BRAGA JUNIOR



PROF. FÁBIO RAMOS

Curitiba, 30 de outubro de 1989

a Rudy e Icema

Helio

Telma, Eduardo e Maura

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que de uma maneira ou outra contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação, em particular a:

Prof. Heinz Dieter O. A. Fill

Prof. Nelson L. de S. Pinto

Secretária Sueli Terezinha Coradin

Eng^o. Marcos Alberto Soares

Desenhistas Alfredo Muller, Hezir Tavares, Sebastião de Lima

Eng^o. Walter Hernandez

Eng^o. Walfrido Victorino Avila

Eng^o. Helio Mitsuo Sugai

Bibliotecárias da VBIB/COPEL e do CEHPAR/COPEL (1986/1989)

Digitadores da VEDD/COPEL

Colegas do DPHE/SPE

Família Sugai

Família von Borstel

Vizinhos do Condomínio Vista da Serra

e pela oportunidade de realização do curso a:

Superintendência de Planejamento e Estudos/SPE

Diretoria de Engenharia e Construção/DEC

Companhia Paranaense de Energia/COPEL

S U M Á R I O

	<u>LISTA DE TABELAS</u>	vi
	<u>LISTA DE FIGURAS</u>	vii
	<u>RESUMO</u>	x
1	<u>INTRODUÇÃO</u>	1
2	<u>ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÕES INTENSAS</u>	9
3	<u>PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL</u>	21
3.1	MÉTODOS HIDROMETEOROLÓGICOS	22
3.2	MÉTODOS ESTATÍSTICOS	57
4	<u>TEMPO DE RECORRÊNCIA ASSOCIADO À PRECIPITAÇÃO MÁXIMA</u> <u>PROVÁVEL NA REGIÃO SUL DO BRASIL</u>	64
4.1	APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÕES INTENSAS	68
4.2	DETERMINAÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS PROVÁVEIS	71
4.3	DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RECORRÊNCIA ASSOCIADO À PMP	84
5	<u>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u>	101
	<u>ANEXO 1: PROGRAMA CHEORVAL</u>	106
	<u>ANEXO 2: PROGRAMA CHEPMPEL</u>	139
	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	148

LISTA DE TABELAS

1	Tensão de Saturação do Vapor de Água em milibares em função da Temperatura em graus Celsius	29
2	Valores do Índice de Potência em função da Latitude e da Época do Ano para o Hemisfério Sul	43
3	Características dos Postos Pluviométricos e das Estações Meteorológicas Seleccionados na Região Sul do Brasil	66
4	Principais Parâmetros das Séries Anuais de Chuvas de 1 dia e as Precipitações Máximas (TR = 10.000 anos e PMP)	69
5	Principais Parâmetros das Séries Anuais de Chuvas de 2 dias e as Precipitações Máximas (TR = 10.000 anos e PMP)	70
6	Valor Esperado dos Tempos de Recorrência	94
7	Mediana dos Tempos de Recorrência	95

LISTA DE FIGURAS

1	Estrutura Vertical da Atmosfera.....	24
2	Radiossondagens e Gradiente Teórico de Temperatura..	38
3	Diagrama Pseudo-adiabático para Redução do Ponto de Orvalho para 1000 mb (100 kPa) a uma Altitude de 0 m	46
4	Modelo Esquemático de uma Tempestade.....	47
5	Precipitações Máximas Prováveis para Seis Horas de Duração em polegadas nos Estados Unidos da América..	50
6	Fator de Recorrência para Precipitações com 24 h de duração em função da Média das Séries Anuais segundo Hershfield	61
7	Fator de Ajuste da Média para um Valor Atípico na Amostra	61
8	Fator de Ajuste do Desvio Padrão para um Valor Atípico na Amostra	61
9	Fator de Ajuste da Média e do Desvio Padrão em função do tamanho da Amostra	62
10	Localização dos Postos Pluviométricos e das Estações Meteorológicas utilizados no Cálculo da PMP na Região Sul do Brasil	67

11	Envoltória aos Máximos Pontos de Orvalho Persistentes do Histórico - Estação de Curitiba.....	75
12	Envoltória aos Pontos de Orvalho Ajustados - Estação de Curitiba.....	76
13	Fator de Recorrência para 1 dia em função da Média das Séries Anuais para a Região Sul do Brasil	82
14	Fator de Recorrência para 2 dias em função da Média das Séries Anuais para a Região Sul do Brasil	83
15	Variação do Tempo de Recorrência com a Latitude para PMP de 1 dia - Pontos de Orvalho Máximos Históricos..	86
16	Variação do Tempo de Recorrência com a Latitude para PMP de 1 dia - Pontos de Orvalho Ajustados	87
17	Variação do Tempo de Recorrência com a Latitude para PMP de 2 dias - Pontos de Orvalho Máximos Históricos..	88
18	Variação do Tempo de Recorrência com a Latitude para PMP de 2 dias -Pontos de Orvalho Ajustados	89
19	Distribuição Geográfica dos Tempos de Recorrência Associados à PMP na Região Sul do Brasil para 1 dia - Pontos de Orvalho Ajustados	91
20	Variação das Frequências Relativas Acumuladas dos Logarítmos dos Tempos de Recorrência com Ajuste da Distribuição Normal - 1 dia.....	92
21	Variação das Frequências Relativas Acumuladas dos Logarítmos dos Tempos de Recorrência com Ajuste da Distribuição Normal - 2 dias	93
22	PMP de 1 dia em função da Precipitação Decamilenar - Pontos de Orvalho Máximos Históricos	96

23	PMP de 1 dia em função da Precipitação Decamilenar - Pontos de Orvalho Ajustados.....	97
24	PMP de 2 dias em função da Precipitação Decamilenar - Pontos de Orvalho Máximos Históricos.....	98
25	PMP de 2 dias em função da Precipitação Decamilenar - Pontos de Orvalho Ajustados.....	99

RESUMO

É feita uma avaliação do tempo de recorrência associado à PMP para durações de 1 e 2 dias em 45 postos pluviométricos distribuídos na região Sul do Brasil entre as latitudes 23° S e 29° S, excluindo a região litorânea. Para a definição da lei de variação do tempo de recorrência com a magnitude da chuva foi efetuado o ajuste de uma distribuição teórica de probabilidade às amostras disponíveis de chuvas observadas. Foram utilizadas somente duas distribuições, Gumbel e exponencial, usando-se o coeficiente de assimetria como parâmetro de seleção. Na determinação da PMP foram utilizados dois métodos, um hidrometeorológico e outro estatístico. Na aplicação do método hidrometeorológico foram usados dois critérios para definição das envoltórias dos pontos de orvalho, um utilizando os máximos observados e outro ajustando uma distribuição normal aos pontos de orvalho. O método estatístico utilizado é o proposto por Hershfield. O período de retorno associado à PMP foi calculado diretamente através do fator de recorrência da equação geral de Ven Te Chow. Observaram-se grandes variações entre os tempos de recorrência associados às PMP na região Sul do Brasil, tanto entre um posto e outro, como também de um método para outro. Contudo, não se verificou nenhuma influência aparente da latitude, longitude, ou altitude do posto, e portanto essas variações podem ser consideradas de caráter essencialmente aleatório. Pode-se considerar como valor de referência um tempo de recorrência de 10.000 anos associado à PMP na região Sul do Brasil no caso de se utilizar o método hidrometeorológico. O tempo de recorrência associado à PMP no caso do método estatístico é superior a 100.000 anos. As grandes variações que se observam nos tempos de recorrência entretanto não correspondem a diferenças importantes em termos de altura de chuva. Em torno de 90% dos pontos utilizando o método hidrometeorológico, estão afastados menos de 30% em relação à chuva decamilenar, faixa que pode ser considerada bastante satisfatória no caso de eventos tão raros.

1 INTRODUÇÃO

A definição de um critério para a determinação da cheia de projeto é um problema de grande importância no meio técnico ligado ao estudo, projeto e construção de obras hidráulicas. A cheia de projeto é definida, nesse contexto, como sendo a maior enchente cuja passagem a obra deve permitir com segurança para si própria e para o vale a jusante.

A importância de uma adequada estimativa da enchente de projeto evidencia-se quando se tem em mente as consequências catastróficas que podem advir da falha de uma grande obra hidráulica, como por exemplo a barragem de uma usina hidrelétrica de grande porte.

Vale a pena mencionar que cerca de um terço dos casos concretos de ruptura de barragem podem ser atribuídas ao subdimensionamento da capacidade do vertedouro (Thomas, 1976; Anjos & Almeida, 1981).

A determinação das vazões das cheias de projeto pode ser, em princípio, feita por dois métodos, ambos de uso corrente:

(i) análise de frequência de vazões máximas observadas no passado;

(ii) análise das chuvas intensas e posterior transformação em vazões pela simulação do ciclo hidrológico na bacia.

A aplicabilidade do primeiro método, conhecido como método direto, é limitada pela necessidade de se dispor de um registro de extensão razoável, idealmente superior a 30 anos de observações diárias de vazões no local ou nas suas proximidades.

No caso do segundo método, também chamado de método indireto, devido a possibilidade de se transpor as características relevantes de precipitações intensas, é possível estimar cheias de projeto em locais com poucos registros fluviométricos, suficientes apenas para caracterizar o processo de transformação chuva-vazão. A disponibilidade de séries longas de precipitação em algum local de características climáticas semelhantes viabiliza a aplicação do método. Outra vantagem é que a estrutura do processo estocástico gerador de chuvas intensas é mais simples que a das vazões extremas (Fill, 1981).

Anjos e Almeida (1981), analisando detalhadamente os projetos de 60 aproveitamentos hidrelétricos, chegaram à conclusão que não há uma uniformidade na determinação da cheia de projeto no Brasil. Damázio et alli (1983), aprofundando a análise feita por Anjos e Almeida, ao centrarem-se na evolução histórica, observaram uma tendência a partir de 1970 em direção aos métodos indiretos como metodologia preferencial de cálculo. Na maioria desses casos ainda se usou o método direto como meio para confrontação de resultados.

Ao se optar pelo método indireto, a par do problema de transformação chuva-vazão, a análise centra-se na determinação da chamada chuva de projeto ou seja da precipitação admitida como causadora da cheia de projeto.

Na definição da chuva de projeto três métodos básicos se oferecem ao hidrólogo, a saber:

- (i) fórmulas empíricas;
- (ii) análise de frequência de precipitações intensas;
- (iii) precipitação máxima provável.

As fórmulas empíricas, em geral do tipo:

$$h = aT^m (t + b)^n \quad (1.1)$$

onde: h = altura ou intensidade da precipitação;

T = tempo de recorrência;

t = duração da chuva;

embora ainda bastante usadas para a avaliação de precipitações de curta duração no projeto de obras de menor porte (por exemplo galerias de águas pluviais), atualmente não são utilizadas no cálculo da cheia de projeto de grandes obras hidráulicas.

A análise de frequência de chuvas intensas consiste no ajuste de uma distribuição de probabilidade às chuvas máximas observadas, que permite a extrapolação a períodos de retorno mais elevados, de acordo com as necessidades do projeto.

No caso de grandes obras esse tempo de retorno é fixado, via de regra, em 10.000 anos, tanto no Brasil como em muitos outros locais (Loukola et alli, 1985; ELETROBRÁS, 1987). Há entretanto países (por exemplo Noruega) onde a recomendação é de uma recorrência de 1.000 anos (Saelthun, 1989).

Apesar de alguns autores, por exemplo Fahlbush (1979), defenderem uma avaliação econômica do tempo de recorrência, comparando o valor esperado do prejuízo e o custo de

construção, não é fácil impor essa linha na prática, principalmente onde possa haver perda de vidas humanas.

Ao se optar pelo método indireto de estimativa da cheia de projeto, a combinação de uma precipitação com recorrência de 10.000 anos com condições antecedentes adversas, usadas na transformação chuva-vazão (vazão de base elevada, estado de umidade da bacia, chuvas anteriores, etc.) faz com que a probabilidade final da cheia calculada seja em geral inferior a $1/10.000$. A influência desses fatores no caso da precipitação máxima provável foi analisada por Newton(1983).

Outra maneira de se obter a chuva de projeto é determinar a precipitação máxima provável - PMP. Neste caso a cheia de projeto resultante é denominada de cheia máxima provável - CMP ou vazão máxima provável - VMP. Muitas organizações vinculadas à segurança de barragens recomendam explicitamente esse método para o caso de grandes obras e onde o galgamento envolve grandes riscos. Essa recomendação pode ser encontrada em várias referências bibliográficas como ANCOLD (1986), ELETROBRÁS (1987), Prasad e Subramanya (1987) e Pessoa (1988).

A PMP, segundo a Sociedade Americana de Meteorologia (WMO, 1973), representa "a maior altura de precipitação meteorologicamente possível, para uma dada duração, sobre uma determinada bacia, numa certa época do ano".

Entretanto, o conhecimento insuficiente dos processos atmosféricos não permite uma avaliação numérica precisa da PMP. Os métodos disponíveis estimam a PMP a partir de séries históricas de dados hidrometeorológicos (em geral, chuva e

umidade atmosférica), lançando mão do conhecimento teórico dos processos de formação das chuvas, e das características geográficas regionais, especialmente em termos de localização das fontes de umidade, das correntes de ar úmido que alimentam as chuvas e das barreiras orográficas existentes.

Em função dessas incertezas surgiram várias críticas àquela definição da PMP, como a de Yevjevich (1968) de que se há um limite físico para a precipitação este provavelmente será superior a qualquer valor calculado por processos de maximização. Por outro lado, tendo sido observadas em vários locais precipitações que ultrapassam o valor da PMP calculada (Wallis, 1980), cresceu, nos últimos anos, o interesse pela pesquisa visando definir a probabilidade associada à PMP.

Pfaffstetter (1967) estimou para as precipitações máximas prováveis na região leste dos Estados Unidos tempos de retorno variando de 2×10^6 a 10^7 anos.

Segundo U.S. National Research Council e o U.S. Bureau of Reclamation o tempo de retorno da PMP é provavelmente da ordem de 10^4 a 10^6 anos, enquanto que a American Nuclear Society observou que este tempo de retorno pode ser superior a 10^7 anos (Wellington, 1987).

O Tennessee Valley Authority determinou para a cheia máxima provável tempos de recorrência de 10^6 a 10^8 anos (Newton, 1987).

Baseado nos resultados de Kennedy e Hart, ANCOLD (1986) apresenta os valores da probabilidade associada à PMP em função do método de cálculo utilizado e da área da bacia, verificando-se valores que correspondem a tempos de recorrência de 10^3 a 10^8 anos.

Dawdy e Lettenmaier (1987), baseados nos resultados de Giusti, sugerem tempos de recorrência de 53.000 a 78.000 anos para uma cheia igual a dois terços da cheia máxima provável. Esses autores apresentam ainda resultados obtidos a partir de evidências geológicas da passagem da água que indicam tempos de recorrência da ordem de 10.000 a 60.000 anos para a cheia máxima provável.

Fill e Zschoerper (1979) observaram que na bacia do rio Iguaçu as chuvas decamilenares são equivalentes às precipitações máximas prováveis, o que também foi verificado na bacia do rio Pelotas-Uruguai, a montante da Usina de Machadinho, por Muñoz-Espinosa (1981).

Na bacia do rio Tamanduateí, Gomes et alli (1983) determinaram um tempo de retorno de apenas 200 anos para a PMP, utilizando o método hidrometeorológico, e de 30 anos, usando o método estação-ano. Esses autores utilizaram, no entanto, apenas um evento para maximização.

Como se pode observar há diferenças significativas no risco associado à precipitação máxima provável. Nesta dissertação é efetuada uma avaliação do tempo de recorrência correspondente à precipitação máxima provável na região Sul do Brasil, excluindo-se a região litorânea.

No capítulo dois são discutidas as metodologias para a análise de frequência de precipitações intensas. São comentadas as principais dificuldades associadas à aplicação da análise de frequência de precipitações. É apresentado no mesmo capítulo, o ajuste das distribuições de Gumbel e exponencial, que são as distribuições utilizadas nesta dissertação. Para determinação dos parâmetros dessas

distribuições são apresentadas as fórmulas correspondentes ao método dos momentos.

Os principais métodos disponíveis para a determinação da precipitação máxima provável são descritos no capítulo três. Destaque especial é dado às metodologias apresentadas no Manual for estimation of probable precipitation (WMO,1973).

Os métodos hidrometeorológicos para o cálculo da PMP são apresentados a partir de alguns conceitos básicos sobre os processos atmosféricos. A determinação da PMP é feita geralmente a partir da massa de vapor de água precipitável, também denominada de altura de água precipitável. Vários métodos de cálculo da massa de vapor de água precipitável são detalhados neste capítulo. São também citados três modelos esquemáticos de chuva apresentados no Guia para cálculo de cheias de projeto de vertedores (ELETROBRÁS, 1987) para o cálculo da massa de vapor de água efetivamente precipitável, que segundo alguns autores, deveria ser utilizada no cálculo dos fatores de maximização no lugar da massa de vapor de água precipitável. Na sequência são listados os procedimentos utilizados no caso das maximizações locais da umidade em regiões onde os efeitos orográficos não influenciam as precipitações intensas.

Entre os métodos estatísticos de cálculo da PMP descreve-se basicamente o método proposto por Hershfield (1961,1965), baseado em princípios do método estação-ano.

A análise do tempo de recorrência associado à PMP na região Sul do Brasil, apresentada no capítulo 4, utiliza somente estimativas pontuais da PMP. A obtenção dos resultados foi feita em três etapas:

- (i) análise de frequência de precipitações intensas;
- (ii) determinação das precipitações máximas prováveis;
- (iii) determinação do tempo de recorrência associado à PMP.

Ainda no capítulo 4, procura-se interpretar as flutuações do tempo de recorrência associado à PMP e o quanto essas flutuações influem em termos de altura de chuva comparando os valores da PMP (método hidrometeorológico) com as precipitações obtidas por análise de frequência para um retorno de 10.000 anos, valor geralmente aceito para a cheia de projeto de grandes obras hidráulicas, como usinas hidrelétricas e barragens.

O capítulo 5 resume as principais conclusões deste estudo e apresenta recomendações para o desenvolvimento de novas pesquisas sobre o tópico analisado.

2 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÕES INTENSAS

A análise de frequência tem como objetivo estabelecer a partir de uma amostra de dados observados no passado, uma lei de variação, através de uma distribuição de probabilidade, entre a magnitude de um evento e a sua probabilidade de ocorrência. Essa probabilidade em hidrologia é normalmente expressa pelo tempo de recorrência ou período de retorno, definido como o intervalo de tempo médio, em geral medido em anos, decorrido entre duas realizações sucessivas, onde a magnitude do evento é igualada ou superada ao longo de um período muito extenso de modo que prevaleça a lei dos grandes números.

Uma amostra de eventos extremos, no caso chuvas intensas, pode ser obtida por dois critérios (Kelman, 1987):

(i) séries anuais, onde são selecionadas apenas as precipitações máximas em cada ano para uma determinada duração. Na análise de frequência o tempo de retorno será dado pelo inverso da probabilidade da precipitação ser igualada ou superada (complemento da função de distribuição acumulada);

(ii) séries parciais, onde são selecionadas todas as realizações onde a chuva de uma certa duração supera um determinado valor independente do ano em que ocorreu. Neste caso além da distribuição de frequência da altura da chuva intensa será necessária a definição da variável aleatória

número de eventos por ano e os resultados são obtidos pela convolução dessas duas variáveis.

Normalmente a análise de frequência de chuvas intensas é feita utilizando-se séries anuais, pois além de aplicação mais simples, para altos tempos de recorrência apresenta precisão similar a com séries parciais (ELETROBRÁS, 1987). Por essa razão, na sequência serão apresentados somente as fórmulas e as considerações para análise das séries anuais.

Isto posto e supondo conhecida a distribuição de probabilidade da chuva máxima anual X , o tempo de recorrência de uma precipitação $x(T)$ resulta:

$$T = \frac{1}{P [X \geq x(T)]} \quad (2.1)$$

O tempo de recorrência é muito utilizado como parâmetro de projeto de obras hidráulicas, e pode ser relacionado com dois outros parâmetros, a segurança (s) e o risco do projeto (r), respectivamente através de:

$$s = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (2.2)$$

$$r = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (2.3)$$

onde: n = vida útil da obra.

A probabilidade associada a um evento de magnitude $x(T)$ é determinada a partir da amostra utilizando:

(i) método empírico, que consiste em ajustar graficamente uma distribuição de probabilidade aos valores da amostra plotados segundo uma fórmula de posição de locação; utiliza-se neste caso em geral papéis com escalas especiais para facilitar a extrapolação (papel log-normal, papel de Gumbel, etc);

(ii) distribuições teóricas de probabilidade, onde os parâmetros da distribuição são estimados a partir dos dados da série, por meio de processos analíticos clássicos da teoria estatística.

Há uma série de fórmulas que fornecem a posição de locação (Viessman et alli, 1972; Pinto et alli, 1976; Kite, 1978). Entre essas, a mais utilizada é a Kimbal ou de Weibull (Viessman et alli, 1972), onde a frequência de ser igualado ou superado um evento de ordem M, numa série de tamanho N, em que os valores estão ordenados decrescentemente, é dada por:

$$P = \frac{M}{N+1} \quad (2.4)$$

O método empírico, por ser um método gráfico, é muito subjetivo e sua aplicação se restringe à faixa de dados observados.

O ajuste de uma distribuição teórica de probabilidade é o método normalmente utilizado e permite a extrapolação dos dados observados, dentro da aceitação da validade da distribuição para o evento em questão e da adequação do método de estimativa dos parâmetros.

Assim, no caso de ajuste de uma distribuição teórica de probabilidade, há dois problemas básicos:

(i) a escolha da distribuição teórica de probabilidade adequada à distribuição de chuvas intensas no local;

(ii) estimativa dos parâmetros da distribuição.

A escolha de uma distribuição teórica de probabilidade geralmente é feita levando em conta o fenômeno físico e as evidências empíricas. No caso de chuvas intensas sabe-se que a distribuição deverá ser contínua, ter um limite inferior não negativo e ter assimetria positiva (ELETROBRÁS, 1987).

As principais questões que surgem na escolha de uma distribuição de probabilidade na impossibilidade de saber a verdadeira distribuição de probabilidade do universo são:

(i) Qual da distribuição de probabilidade que conduz ao menor erro na estimativa de $x(T)$?

(ii) Qual a magnitude desse erro?

(iii) Qual a probabilidade de $x(T)$ ser inferior ao seu verdadeiro valor?

O problema de escolha de uma distribuição teórica tem sido mais exaustivamente estudado utilizando-se dados de vazões. A maioria das conclusões, contudo, se aplica aos dados de chuva, com a vantagem de haver neste caso uma dependência bem menor entre os eventos.

Existem, na literatura, vários critérios para a escolha da distribuição teórica, entre os quais os baseados:

(i) no índice de ajuste;

(ii) em amostras particionadas;

(iii) na teoria dos extremos;

- (iv) em práticas adotadas por outros e consagradas pelo uso;
- (v) em dispositivos legais;
- (vi) em critérios de robustez.

A escolha baseada no índice de ajuste tem sido o critério mais utilizado no Brasil e consiste em ajustar uma série de distribuições teóricas aos dados observados e entre estas escolher a que fornece o melhor ajuste.

O ajuste pode ser medido por testes de aderência como os de Kolmogorov-Smirnov, Qui-Quadrado e da relação de verossimilhança (Roche, 1963; Gomide & Kaviski, 1981; Kelman, 1987; ELETROBRÁS, 1987).

O melhor ajuste é, contudo, considerado um critério pouco confiável, pois além de ser muito sensível ao tipo do teste, à série dos dados e à divisão de classes (Gomide & Kaviski, 1981; Fill et alli, 1987), mostra apenas o melhor ajuste na faixa dos dados observados, mas não necessariamente a melhor definição da distribuição do universo.

O método das amostras particionadas, onde a qualidade de ajuste é estimada a partir de uma sub-amostra não usada na estimação de parâmetros, apresenta o mesmo inconveniente, ou seja, não informa sobre a parte extrapolada da distribuição (Kelman, 1987).

A utilização do critério da teoria dos extremos não é considerada suficiente para a escolha de uma distribuição de probabilidade porque as condições para aplicabilidade da teoria dos extremos de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas não são satisfeitas no caso da vazão ao longo do ano (Kelman, 1987).

No caso de precipitações, embora a dependência em série entre diferentes eventos pluviais seja questionável, a sazonalidade intra-anual sempre presente conduz também neste caso a variáveis aleatórias não identicamente distribuídas, o que também restringe em muito a aplicabilidade da teoria dos extremos.

Há uma série de distribuições teóricas e de métodos derivados de distribuições teóricas que vem sendo utilizadas com mais frequência nos estudos de extremos pelos hidrólogos. Entre esses vale a pena citar: a distribuição de Gumbel, distribuição exponencial ou método de Fuller, o método de Ven Te Chow, a distribuição log-normal de dois parâmetros, a distribuição log-normal de três parâmetros ou método de Galton Gibrat, o método de Foster-Hazen, o método de Goodrich, log-Pearson III e Pearson III (Alcântara, 1963; Roche, 1963; Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza, 1975; Anjos & Almeida, 1981; Fill et alli, 1981).

Nos Estados Unidos é recomendada a utilização da distribuição log-Pearson III na análise de vazões máximas anuais (WALLIS, 1980). Na Inglaterra é recomendada a utilização da distribuição de valores extremos generalizados (GEV) para amostras com mais de 25 anos e a distribuição de Gumbel para amostras menores (Kelman, 1987). Em ambos os países a seleção de distribuição foi baseada no critério de melhor ajuste para um grande número de postos.

A seleção de uma distribuição teórica pelo critério de robustez é feita procurando-se determinar a distribuição, que mesmo não sendo a verdadeira, conduz a erros moderados na estimativa de $x(T)$ (Kelman, 1987).

O critério de robustez foi utilizado para definir a distribuição de probabilidade a ser recomendada para o cálculo das cheias de projeto de vertedores no Brasil (ELETROBRÁS, 1987).

A pesquisa foi desenvolvida utilizando a técnica de experimentos computacionais e foi baseada na hipótese de que o coeficiente de assimetria da população se situava entre 1,0 e 2,5. Seus resultados mostraram, em geral, uma maior robustez da distribuição exponencial. Contudo, quando a assimetria estiver próximo do limite inferior, a distribuição de Gumbel poderá ser indicada. Os resultados indicaram que outras distribuições de dois parâmetros podem ser utilizadas mas em nenhuma ocasião se mostraram vantajosas distribuições com mais de dois parâmetros, além destas serem mais sensíveis a erros amostrais.

Fill (1986), em um estudo semelhante verificou que a distribuição exponencial apresenta melhores resultados quando a assimetria é maior que 1,5, enquanto que para valores menores a distribuição de Gumbel é a mais eficiente.

O tempo de recorrência e a distribuição teórica de probabilidade são relacionáveis através da expressão:

$$T = \frac{1}{1 - F_X(x)} \quad (2.5)$$

onde $F_X(x)$ = função de distribuição acumulada (f.d.a).

A função de distribuição acumulada fornece a probabilidade de um determinado evento ser inferior a x , sendo uma característica do tipo da distribuição.

A distribuição exponencial, também conhecida como método de Fuller, apresenta a seguinte função de distribuição acumulada (ELETROBRÁS, 1987):

$$F_X(x) = 1 - \exp [-(x-b)/a] \quad (2.6)$$

para valores de x maiores ou iguais a b . Em caso contrário, a função é nula.

A distribuição de Gumbel tem como função de distribuição acumulada (Souza Pinto et alli, 1976):

$$F_X(x) = \exp \{- \exp [-(x-c)/d]\} \quad (2.7)$$

para quaisquer valores de x variando entre menos e mais infinito. Apesar dessa inconsistência com os requisitos básicos de uma distribuição para chuvas extremas (limite inferior não negativo), as probabilidades associadas a valores negativos de x são tão pequenos que podem ser desprezados (ELETROBRÁS, 1987).

Os métodos mais utilizados para estimar os parâmetros de distribuições de probabilidade são:

- (i) método dos momentos;
- (ii) método de máxima verossimilhança;
- (iii) método dos mínimos quadrados.

O método dos momentos tem sido o mais utilizado pela sua simplicidade e rapidez.

Na pesquisa efetuada pelo CEPEL para definição da distribuição a ser recomendada para o cálculo de cheia no projeto de vertedores no Brasil foi observado que em média o

método dos momentos é superior ao método da máxima verossimilhança. O método da máxima verossimilhança apresentou melhores resultados no caso de altos tempos de recorrência e de população com alta assimetria e curtose, entretanto no caso de populações com baixa assimetria forneceu resultados muito ruins (ELETROBRÁS, 1987).

Particularmente na distribuição exponencial, o ajuste pela máxima verossimilhança, que iguala o parâmetro b ao menor valor da variável na amostra, frequentemente conduz a resultados incorretos.

No caso da distribuição de Gumbel é bastante utilizado o ajuste pelo método dos mínimos quadrados implícito na aplicação da chamada tabela de Weiss (Kamogawa, 1981). Entretanto no presente trabalho adotou-se por uma questão de uniformidade o método dos momentos para ambas as distribuições.

Resultam então para os parâmetros no caso da distribuição exponencial as expressões (ELETROBRÁS, 1987):

$$a = s \quad (2.8)$$

$$b = \bar{x} - s \quad (2.9)$$

e no caso da distribuição de Gumbel:

$$c = \bar{x} - 0,45 s \quad (2.10)$$

$$d = 0,7797 s \quad (2.11)$$

onde $\bar{x}$ e s são iguais à média e ao desvio padrão da amostra, respectivamente definidos como:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N} \quad (2.12)$$

$$s = \sqrt{\left(\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N - 1} \right)} \quad (2.13)$$

onde x = chuva máxima anual;

N = número de anos.

Substituindo as equações 2.6 e 2.7 na equação 2.5 obtém-se respectivamente para a distribuição exponencial:

$$x(T) = b - a [\ln (1/T)] \quad (2.14)$$

e para a distribuição de Gumbel:

$$x(T) = c + d \{- \ln [- \ln (1 - 1/T)]\} \quad (2.15)$$

Em 1951, Ven Te Chow apresentou uma equação, conhecida como equação geral de frequência, onde o valor de um evento é definido exclusivamente em função da média e do desvio padrão:

$$x(T) = \bar{x} + K_T \cdot s \quad (2.16)$$

onde K_T é o fator de frequência, ou recorrência.

Em geral, o fator de recorrência depende da distribuição de probabilidade adotada, do período de retorno e em alguns casos do tamanho da amostra. O método de estimação

dos parâmetros também influe no valor K_T . Para a distribuição exponencial e ajuste dos parâmetros pelo método dos momentos se reduz a:

$$K_T = \ln T - 1 \quad (2.17)$$

No caso da distribuição de Gumbel, resulta:

$$K_T = 0,7797 \{-\ln [-\ln (1 - 1/T)]\} - 0,45 \quad (2.18)$$

Considerando o desenvolvimento em série do logaritmo:

$$\ln (1 - 1/T) = - \frac{1}{T} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{T^2} - \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{T^3} - \dots \quad (2.19)$$

e desprezando todos os termos além do primeiro, o que é válido para tempos de retorno elevados o fator de recorrência será:

$$K_T = 0,7797 \ln T - 0,45 \quad (2.20)$$

Comparando as equações (2.17) e (2.20) pode-se observar que as estimativas com a distribuição exponencial são maiores que as com o método de Gumbel quando $T > \exp (0,55/0,2203)$ ou seja $T > 12,14$ anos.

Como já foi mencionado, as pesquisas do CEPEL (ELETROBRÁS, 1987) e de Fill (1986) indicaram como distribuições mais robustas a de Gumbel para assimetrias baixas e a exponencial para assimetrias maiores. Em conformidade com essas conclusões, usou-se, no presente trabalho apenas o coeficiente de assimetria para selecionar uma entre as duas

distribuições. Esse parâmetro é estimado pela expressão (Roche, 1963) :

$$\gamma = \frac{N (N-1)^{1/2} \sum (x - \bar{x})^3}{(N-2) \cdot \sum (x - \bar{x})^{3/2}} \quad (2.21)$$

onde N = tamanho da amostra;

x = chuvas máximas anuais;

$\bar{x}$ = média das chuvas máximas anuais.

Como critério de seleção entre as distribuições adotou-se:

$\gamma < 1,5$ - distribuição de Gumbel.

$\gamma \geq 1,5$ - distribuição exponencial

3 PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL

A Sociedade Americana de Meteorologia (WMO,1973) define a precipitação máxima provável-PMP, também denominada algumas vezes de máxima precipitação possível-MPP, como sendo "a maior altura de precipitação meteorologicamente possível, para uma dada duração, sobre uma determinada bacia, numa certa época do ano".

Essa definição não leva em conta possíveis alterações climáticas de longo termo. Contudo como essas alterações se desenvolvem em geral muito lentamente, elas podem ser desprezadas face às outras incertezas, principalmente quanto aos processos atmosféricos.

A consciência da natureza relativa dos resultados face aos conhecimentos atuais na área de meteorologia fez com que a partir de aproximadamente 1950 (WMO, 1973) se passasse a preferir a expressão precipitação máxima provável - PMP no lugar da máxima precipitação possível - MPP. Caracterizando desta forma que o limite físico que se pretende determinar não é absoluto, mas sujeito às incertezas inerentes ao método de cálculo.

Atualmente, apesar da definição original, considera-se cada vez mais a PMP não como um limite físico, mas como um evento cuja superação está associada a uma probabilidade

extremamente baixa. Essa postura levou a uma série de trabalhos (Pfafstetter, 1967; Fill & Zschoerper, 1979; Muñoz-Espinosa, 1981; Wellington, 1987; Gomes et alli, 1983; ANCOLD, 1986; Newton, 1987) procurando estimar numericamente a ordem de grandeza dessa probabilidade. A presente dissertação se insere neste contexto.

A precisão e a representatividade da estimativa da PMP dependem basicamente da quantidade e da qualidade dos dados disponíveis e das hipóteses de cálculo adotadas.

Há vários métodos de avaliação da PMP que podem ser classificados em duas categorias básicas:

(i) métodos hidrometeorológicos, onde a PMP é obtida a partir de processos de maximização do teor de umidade da massa de ar causadora da precipitação;

(ii) métodos estatísticos, que estimam a PMP a partir da maximização do chamado fator de recorrência $K_T = (PMP - \bar{P})/s$ onde, $\bar{P}$ = média das máximas e s = desvio padrão de máximas, por um processo semelhante ao método estação-ano (Clarke-Hafstad, 1942).

3.1 MÉTODOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Como, de uma maneira geral, os métodos hidrometeorológicos consistem basicamente na maximização da umidade presente na atmosfera, utilizando-se ou não transposição de chuvas em regiões meteorologicamente homogêneas, são necessários alguns conceitos básicos sobre os processos atmosféricos, principalmente quanto à termodinâmica da atmosfera e aos processos de condensação .

3.1.1 Conceitos básicos

A atmosfera terrestre, que compreende toda a camada gasosa que envolve o nosso planeta, estende-se a alturas bastante elevadas (até cerca de 1.000km). Porém, para a análise dos processos meteorológicos apenas a sua primeira camada, chamada de troposfera e que alcança altitudes de 8 a 18 km é importante.

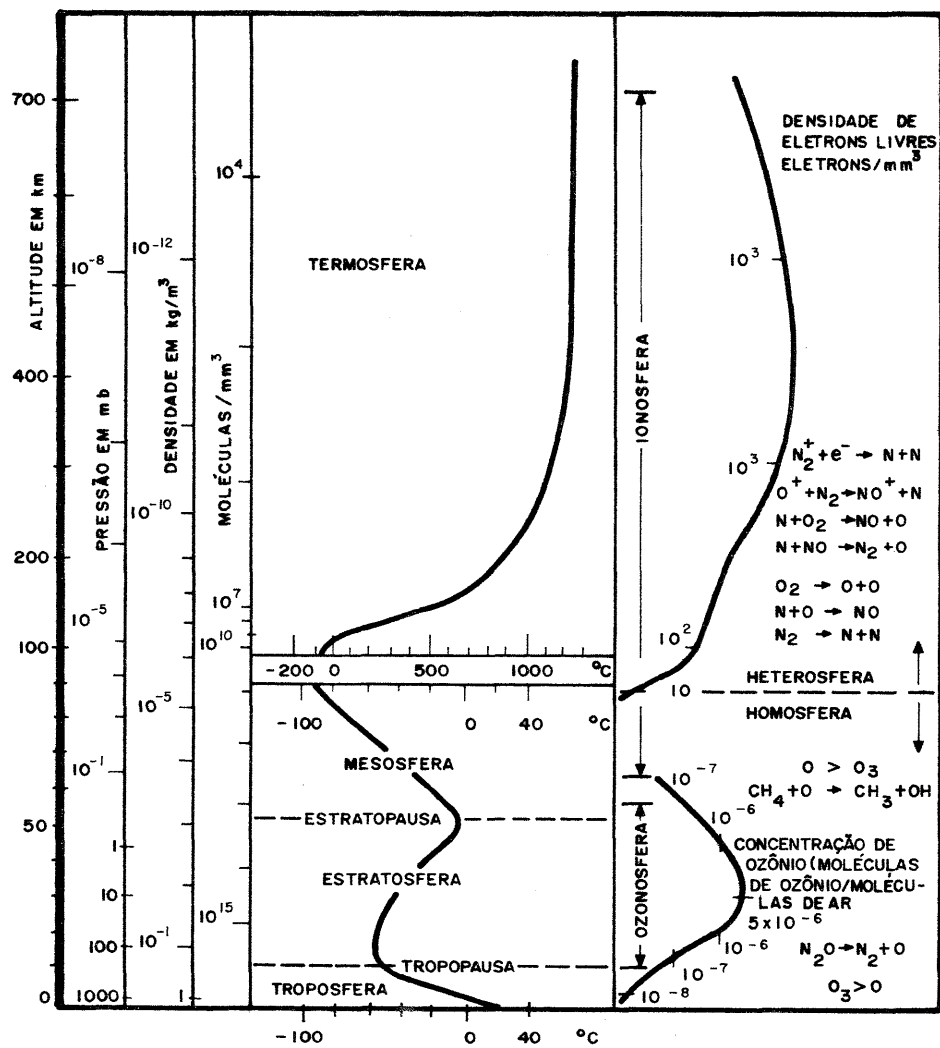
A atmosfera é constituída por uma mistura de gases onde predominam o nitrogênio (78%) e o oxigênio (21%). O restante (1%) é composto por gases nobres, hidrogênio e gás carbônico. A parcela de água, que resulta da combinação do hidrogênio com o oxigênio, é pequena e bastante variável tanto no tempo como no espaço (Raudkivi, 1979).

Na troposfera está concentrada cerca de 99,9% do teor de água de toda a atmosfera, razão pela qual a quase totalidade dos processos que dão origem ao clima e o tempo na superfície se desenvolvem nessa camada.

A estrutura vertical da atmosfera é apresentada na figura 1. Na altura da tropopausa, limite entre a troposfera e a estratosfera, a concentração de vapor de água é muita baixa em consequência dos baixos valores de pressão e de temperatura.

Em função das maiores temperaturas na superfície, a altura da troposfera é maior sobre o equador que sobre os pólos uma vez que a taxa de decréscimo da temperatura na troposfera e a temperatura na estratosfera são aproximadamente constantes.

A água na atmosfera apresenta-se ou na forma de vapor, invisível, ou condensada na forma de pequenas gotas e visível na forma de neblina ou de nuvens, dependendo da altitude. A condensação ocorre sempre que a quantidade de água



FONTE: RAUDKIVI, 1979

FIGURA 1 - ESTRUTURA VERTICAL DA ATMOSFERA

presente na atmosfera supera determinado limite denominado umidade de saturação e cujo valor depende da temperatura.

O volume máximo de chuva possível sobre uma região está diretamente relacionado com a quantidade de vapor de água presente nas diversas partes da atmosfera que contribuem para a precipitação em questão.

A quantidade de vapor de água sobre uma dada localidade pode crescer temporariamente devido à evaporação das superfícies líquidas e das camadas superficiais do solo, à transpiração da vegetação ou pela entrada de uma massa de ar com maior umidade. Por outro lado pode decrescer temporariamente através da precipitação ou pelo deslocamento de uma massa de ar substituindo o ar úmido por outro mais seco.

De uma maneira aproximada, o ar atmosférico pode ser considerado como uma mistura em proporção variável de dois gases ideais, o ar seco e o vapor de água, seguindo a lei de Dalton. Cada componente exerce a sua pressão parcial e a pressão total da mistura é a soma das pressões parciais.

A pressão parcial do vapor de água (v) é definido com:

$$e = \rho_v \cdot R_v \cdot T \quad (3.1)$$

e do ar seco(s):

$$p - e = \rho_s \cdot R_s \cdot T \quad (3.2)$$

onde: ρ_v e ρ_s = massas específicas (densidades absolutas) do vapor de água e do ar seco, respectivamente, em kg/m^3 ;

R_v e R_s = constantes específicas do vapor de água e do ar seco iguais a 461,49 J/kg.°K e 287,04 J/kg.°K, respectivamente;

T = temperatura do ar, em °K;

p = pressão atmosférica, em Pa.

Para a determinação da pressão parcial do vapor de água no ar atmosférico são utilizadas normalmente as temperaturas do termômetro de bulbo seco - T , que é a temperatura do ar, e do termômetro de bulbo úmido - T_h .

A pressão parcial do vapor da água em função das temperaturas T e T_h (ELETROBRÁS, 1987) é dada por:

$$e = e^* (T_h) + a (T_h - T) \quad (3.3)$$

$$\text{com } a = \frac{C_{ps} \cdot p}{0,622 \cdot L_h} \quad (3.4)$$

onde: C_{ps} = calor específico a pressão constante igual a 1005 J/kg.°K;

p = pressão atmosférica, em kPa;

L_h = calor latente de evaporação à temperatura T_h , em J/kg;

$e^* (T_h)$ = tensão de saturação para a temperatura T_h , em kPa.

Na prática tem-se estimado o valor de a simplesmente através de (Fill, 1987):

$$a = \frac{A \cdot p}{100} \quad (3.5)$$

onde: $A = 0,79$ ou $0,66$, respectivamente, se as temperaturas forem obtidas com psicrômetro de ventilação natural ou forçada.

A tensão de saturação é a pressão parcial de vapor em condições de saturação, que corresponde à já comentada concentração máxima de vapor de água no ar. A condição de saturação pode ser alcançada pelo aumento de vapor de água, mantida constante a temperatura ou então com a pressão de vapor constante, pela diminuição da temperatura até atingir o ponto de orvalho.

A tensão de saturação é função exclusivamente da temperatura, sendo distinta no caso de temperaturas negativas para a água no estado líquido ou sólido (gelo). Para a obtenção da tensão de saturação podem ser utilizadas fórmulas, tabelas ou ábacos disponíveis na maioria dos livros que tratam do assunto.

Apresentam-se a seguir algumas das fórmulas disponíveis para o cálculo da pressão parcial nas condições de saturação sobre a água em estado líquido.

(i) Fórmula de Richards (ELETROBRÁS, 1987):

$$e^*(T) = 101.325 \exp (13,3185 t_R - 1,9760 t_R^2 - 0,6445 t_R^3 - 0,1299 t_R^4) \quad (3.6)$$

$$\text{onde: } t_R = 1 - \frac{373,15}{T} \quad (3.7)$$

com T = temperatura , em °K;

e^* = tensão de saturação, em Pa.

(ii) Expressão publicada por Raudkivi (1979) e Petterssen (1964) válida para temperaturas variando entre - 40 °C e + 40 °C:

$$e^*(T) = 6,11 \times 10^{7,5T / (T+237,3)} \quad (3.8)$$

onde: T = temperatura, em °C;

e* = tensão de saturação, em mb.

(iii) Fórmula de aproximação aos valores das tabelas psicrométricas apresentadas pelo Smithsonian Institute, com uma diferença menor que 1% na faixa de - 50 °C e + 55 °C (Linsley, 1975).

$$e^*(T) = 33,8639(0,00738T+0,8072)^8 - 0,000019|1,8 T-48| + 0,001316 \quad (3.9)$$

onde: T = temperatura, em °C;

e* = tensão de saturação, em mb.

Em várias referências bibliográficas se encontram tabelas que fornecem a tensão de saturação. Essas tabelas são normalmente chamadas de tabelas psicrométricas. Na tabela 1 está reproduzida parcialmente a tabela apresentada por Roche (1963).

Ábacos que fornecem a tensão de saturação são encontrados em algumas referências, como Petterssen (1964) e Linsley et alli (1949).

A pressão do vapor de água também pode ser determinada a partir dos dados de umidade relativa-h e das temperaturas do

TABELA 1 - TENSÃO DE SATURAÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA EM
milibares EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA EM GRAUS CELSIUS

	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	6.108	6.153	6.198	6.243	6.288	6.333	6.380	6.426	6.473	6.519
1	6.566	6.614	6.662	6.711	6.759	6.807	6.857	6.906	6.956	7.005
2	7.055	7.106	7.157	7.209	7.260	7.311	7.364	7.417	7.469	7.522
3	7.575	7.630	7.684	7.739	7.793	7.848	7.904	7.960	8.017	8.073
4	8.129	8.187	8.245	8.304	8.362	8.420	8.480	8.540	8.599	8.659
5	8.719	8.781	8.843	8.904	8.966	9.028	9.092	9.156	9.219	9.283
6	9.347	9.413	9.478	9.544	9.609	9.675	9.742	9.809	9.876	9.943
7	10.01	10.08	10.15	10.22	10.29	10.36	10.43	10.50	10.58	10.65
8	10.72	10.79	10.87	10.94	11.02	11.09	11.17	11.24	11.32	11.39
9	11.47	11.55	11.63	11.71	11.79	11.87	11.95	12.03	12.11	12.19
10	12.27	12.35	12.44	12.52	12.61	12.69	12.78	12.86	12.95	13.03
11	13.12	13.21	13.30	13.38	13.47	13.56	13.65	13.74	13.84	13.95
12	14.02	14.11	14.21	14.30	14.40	14.49	14.59	14.68	14.78	14.87
13	14.97	15.07	15.17	15.27	15.37	15.47	15.57	15.67	15.78	15.88
14	15.98	16.08	16.19	16.29	16.40	16.50	16.61	16.72	16.82	16.93
15	17.04	17.15	17.26	17.38	17.49	17.60	17.71	17.83	17.94	18.06
16	18.17	18.29	18.41	18.52	18.64	18.76	18.88	19.00	19.13	19.25
17	19.37	19.49	19.62	19.74	19.87	19.99	20.12	20.25	20.37	20.50
18	20.63	20.76	20.89	21.03	21.16	21.29	21.42	21.56	21.69	21.83
19	21.96	22.10	22.24	22.38	22.52	22.66	22.80	22.94	23.09	23.23
20	23.37	23.52	23.67	23.81	23.96	24.11	24.26	24.41	24.56	24.71
21	24.86	25.02	25.17	25.33	25.48	25.64	25.80	25.96	26.11	26.27
22	26.43	26.59	26.76	26.92	27.09	27.25	27.42	27.59	27.75	27.92
23	28.09	28.26	28.43	28.61	28.78	28.95	29.13	29.30	29.48	29.65
24	29.83	30.01	30.19	30.38	30.56	30.74	30.93	31.11	31.30	31.48
25	31.67	31.86	32.05	32.25	32.44	32.63	32.83	33.02	33.22	33.41
26	33.61	33.81	34.01	34.22	34.42	34.62	34.83	35.03	35.24	35.44
27	35.65	35.86	36.07	36.29	36.50	36.71	36.93	37.15	37.36	37.58
28	37.80	38.02	38.24	38.47	38.69	38.91	39.14	39.37	39.60	39.83
29	40.06	40.29	40.53	40.76	40.99	41.23	41.47	41.71	41.95	42.19
30	42.43	42.68	42.92	43.17	43.41	43.66	43.91	44.17	44.42	44.68
31	44.93	45.19	45.45	45.70	45.96	46.22	46.49	46.75	47.02	47.28
32	47.55	47.82	48.09	48.37	48.64	48.91	49.19	49.47	49.75	50.03
33	50.31	50.60	50.88	51.17	51.45	51.74	52.03	52.32	52.62	52.91
34	53.20	53.50	53.80	54.10	54.40	54.70	55.01	55.32	55.62	55.93
35	56.24	56.55	56.87	57.18	57.50	57.81	58.13	58.45	58.78	59.10
36	59.42	59.75	60.08	60.41	60.74	61.07	61.41	61.75	62.08	62.42
37	62.76	63.11	63.45	63.80	64.14	64.49	64.84	65.20	65.55	65.91
38	66.26	66.62	66.99	67.35	67.72	68.08	68.45	68.82	69.19	69.56
39	69.93	70.31	70.69	71.07	71.45	71.83	72.22	72.61	73.00	73.39
40	73.78									

FONTE: ROCHE, 1963

ar-T, através da expressão abaixo, contudo com menor precisão que com a equação (3.3):

$$e = \frac{h \cdot e^*(T)}{100} \quad (3.10)$$

As unidades das grandezas temperatura e pressão no Sistema Internacional de Unidades são, respectivamente, kelvin (°K) e pascal (Pa). Em muitos estudos as fórmulas e os resultados são apresentados em graus Celsius (°C) e milibar (mb), respectivamente que já tem seus usos consagrados entre os meteorologistas.

A transformação da temperatura-T de graus Celsius para kelvin é efetuada através da relação:

$$T \text{ (em } ^\circ\text{K)} = T \text{ (em } ^\circ\text{C)} + 273,15 \quad (3.11)$$

enquanto que a transformação da pressão-p de milibar em pascal é feita com:

$$p \text{ (em Pa)} = p \text{ (em mb)} \times 100 \quad (3.12)$$

A umidade específica do ar atmosférico é definida (Linsley et alli, 1949) pela relação entre a massa de vapor de água e a massa de ar total, podendo ser calculada em kg por kg com:

$$q = \frac{0,622 e}{(p - 0,378 e)} \quad (3.13)$$

Como a pressão- p é da ordem de 100 vezes a pressão parcial do vapor- e a equação 3.13 pode ser aproximada para:

$$q = \frac{0,622 e}{p} \quad (3.14)$$

A definição da razão de mistura ou taxa de umidade do ar atmosférico é apresentada como a relação entre a massa de vapor de água e a massa de ar seco, resultando:

$$r = 0,622 \frac{e}{p - e} \quad (3.15)$$

Em termos práticos a razão de mistura e a umidade específica podem, na maioria dos casos, ser consideradas numericamente iguais e dadas pela expressão (3.14).

3.1.2 Água precipitável

A máxima quantidade de vapor de água por unidade de área entre a superfície e a tropopausa, que pode ser condensada numa determinada condição atmosférica, expressa pela altura de uma camada uniforme de chuva, é denominada altura de água precipitável.

Evidentemente a altura de água precipitável dependerá da variação da temperatura, da pressão e da umidade ao longo da vertical. A maneira mais precisa de se determinar a distribuição vertical dessas grandezas (temperatura, umidade e pressão) é a partir de medições com radiossondas.

Entretanto, a disponibilidade de radiossondagens, principalmente no Brasil, é bastante precária. Essas coletas

são efetuadas esporadicamente em um número reduzido de estações. Por isso, em geral se admite uma lei teórica para a variação daquelas propriedades na vertical, permitindo obter a altura de água precipitável em função de dados meteorológicos apenas de superfície.

A maioria dos métodos disponíveis para o cálculo da altura da água precipitável utiliza somente a pressão e o ponto de orvalho na superfície terrestre. Uma das limitações desses métodos é que eles não levam em conta o caráter dinâmico da atmosfera. Diversos fatores são desprezados entre os quais, a mistura de parcelas de ar com características distintas, a absorção não uniforme de radiação solar, a interação das camadas baixas com o solo, a presença de poluição, resultando perfis de temperatura e pressão diversos dos teóricos e portanto diferenças na quantidade de água condensável.

Na sequência são apresentados alguns métodos de obtenção da altura de água precipitável, basicamente a partir :

- (i) do uso de um modelo de convergência de umidade;
- (ii) da integração da massa de vapor de água numa coluna de ar;
- (iii) do uso de fórmulas empíricas;
- (iv) de ábacos;
- (v) de tabelas.

3.1.2.1 Modelo de convergência - Molion (1987) apresentou um modelo simples de chuva convectiva para o cálculo da massa total de vapor de água que leva em conta a convergência da umidade sobre uma determinada região, através da equação:

$$M = \frac{1}{A} \int_{z_0}^{z_t} \int_C (\bar{q} \cdot \bar{V}) \cdot \bar{\rho} \cdot dC \cdot dz \quad (3.16)$$

onde: A = área da região;

C = perímetro da nuvem;

$\bar{V}$ = componente radial da velocidade média do vento;

$\bar{q}$ = umidade específica média;

$\bar{\rho}$ = densidade média do ar para a camada considerada;

z_0 e z_t = níveis da superfície e da base de célula convectiva, respectivamente.

Segundo o autor, os valores q , V e ρ , utilizados no modelo para calcular a precipitação máxima, podem ser medidos na superfície, uma vez que nas grandes chuvas o fluxo de umidade é praticamente homogêneo entre a superfície e a base das nuvens.

Considerando nesse modelo a nuvem com formato circular de raio R e valores médios para V , q e ρ , a equação (3.16) pode ser facilmente integrada, resultando em:

$$M = 2 \cdot \frac{\bar{V}}{R} \cdot \bar{q} \cdot \bar{\rho} \cdot \Delta Z \quad (3.17)$$

Como nem toda a umidade que converge no volume considerado é transformada em chuva, utiliza-se um fator de conversão denominado eficiência de precipitação (ξ), para calcular a precipitação efetivamente produzida:

$$P = \xi \cdot M \quad (3.18)$$

Substituindo a equação 3.17 na 3.18, e fazendo as conversões necessárias, resulta para a precipitação máxima provável em mm/dia:

$$P = 172,8 \cdot \xi \cdot \frac{\bar{V}}{R} \cdot \bar{q} \cdot \bar{\rho} \cdot \Delta Z \quad (3.19)$$

utilizando $\bar{V}$ em m/s, R em m, $\bar{q}$ em g/Kg, $\bar{\rho}$ em Kg/m³ e ΔZ em m.

Os dados meteorológicos necessários para a utilização do modelo apresentado por Molion estão disponíveis nas estações classe A, inclusive uma estimativa da altura da base das nuvens. A eficiência de precipitação pode ser obtida em mapas como os publicados por Viswanadham et alli (Molion, 1987), que podem ser recalculados a partir de novas informações de chuvas intensas.

3.1.2.2 Massa de vapor de água numa coluna de ar - A massa total de vapor de água contida numa coluna de área unitária entre as cotas z_0 e z_t , isto é sem levar em conta a convergência de massas de ar, é dada por (Raudkivi, 1979):

$$W = \int_{z_0}^{z_t} \rho_v \cdot dz \quad (3.20)$$

onde: ρ_v = massa específica do vapor.

Substituindo na equação (3.20) a condição de estabilidade hidrostática do ar atmosférico:

$$dp = - \rho \cdot g \cdot dz \quad (3.21)$$

onde: ρ = massa específica do ar;
 g = aceleração da gravidade;

e utilizando o conceito de umidade específica, obtém-se:

$$W_p = \frac{1}{g} \int_{p_t}^{p_o} q \cdot dp \quad (3.22)$$

onde: p_t = pressão na tropopausa;
 p_o = pressão na superfície.

A equação que fornece a variação da pressão com a altitude na troposfera de uma atmosfera padrão é (Raudkivi, 1979) :

$$p = 1013,1 \left(1 - \frac{0,0065}{288} \cdot z \right)^{5,2568} \quad (3.23)$$

onde: p = pressão, em mb;
 z = altitude, em m.

Como em termos práticos a umidade específica q e a razão de mistura r podem ser consideradas iguais, a equação (3.22) pode ser escrita:

$$W_p = \frac{1}{g} \int_{p_t}^{p_o} r \cdot dp \quad (3.24)$$

Na ausência de informações mais precisas supõe-se que, durante a ocorrência de uma chuva, a massa de ar situada entre a superfície terrestre e a tropopausa, que representa

praticamente toda a umidade atmosférica, está saturada ($r = r^*$) e que as taxas de umidade do ar nas diferentes altitudes podem ser expressas em função do ponto de orvalho na superfície. Essa hipótese difere um pouco da situação real, pois nesta a camada de ar entre a superfície e base da nuvem não está totalmente saturada mas apenas próxima dessa situação.

O ponto de orvalho representa a temperatura para a qual a quantidade de vapor é máxima, isto é, ocorre a condição de saturação. Pode-se calcular o ponto de orvalho resolvendo por tentativas a equação (3.6), impondo a condição de que a tensão de saturação seja igual à pressão parcial de vapor. Com maior rapidez, e com a precisão desejada, pode-se determinar também o ponto de orvalho diretamente a partir das tabelas psicométricas (tabela 1).

Para o estudo teórico dos processos meteorológicos considera-se em geral, que o processo de ascensão de uma massa de ar na atmosfera é adiabático, isto é, não há trocas de calor. Numa atmosfera totalmente saturada, uma pequena parcela da energia interna correspondente à massa de água precipitada é perdida. Contudo, esta perda é, em geral, desconsiderada uma vez que a razão de mistura é sempre muito menor que a unidade, passando o processo a ser denominado pseudo-adiabático.

Entretanto é bom frisar que muitas vezes a atmosfera se afasta consideravelmente dessas transformações ideais devido a uma série de fenômenos complexos como a mistura de parcelas de ar de características diferentes, absorção de energia solar incidente, interação com o solo e outros, de modo que a consideração da atmosfera adiabática representa muitas vezes uma aproximação grosseira das verdadeiras condições. Para tanto

basta comparar radiossondagens efetuadas com resultados teóricos (ver figura 2).

Supondo a atmosfera saturada e pseudo-adiabática, a massa total de vapor de água numa coluna de ar de área unitária é função somente da temperatura e pressão na superfície (T_o , p_o) e da pressão na troposfera (p_t).

A integração numérica da equação (3.24) é facilmente obtida desde que se conheça a variação da temperatura do ar e da pressão com a altitude.

A lei de variação da temperatura do ar e da pressão com a altitude pode ser definida a partir das equações básicas da termodinâmica da atmosfera (Raudkivi, 1979):

i) Equação de estado do ar atmosférico:

$$p \cdot v = R \cdot T \quad (3.25)$$

onde: p = pressão atmosférica;

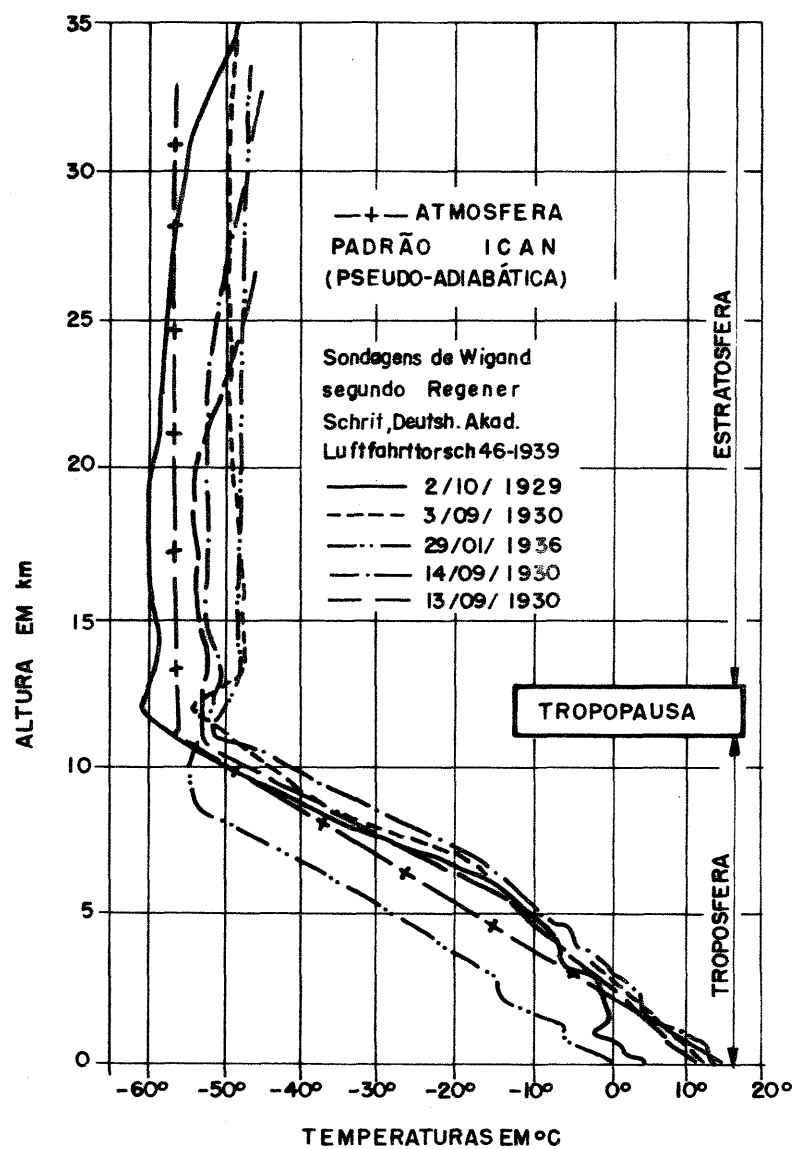
v = volume ocupado por uma massa unitária ($v = 1/\rho$,
 ρ = massa específica);

R = constante do gás que varia muito pouco em função da umidade presente na atmosfera, podendo ser adotado o valor correspondente ao ar seco (R_s);

T = temperatura do ar.

ii) Equação de estabilidade hidrostática do ar atmosférico:

$$dp = - \rho \cdot g \cdot dz \quad (3.26)$$



FONTES: REMENIERAS, 1974
RAUDKIVI, 1979

FIGURA 2 - RADIOSSONDAGENS E GRADIENTE TEÓRICO DE TEMPERATURA

onde: z = altitude;

g = aceleração da gravidade;

ρ = densidade absoluta do ar.

iii) Equação de conservação de energia, que para processos adiabáticos ou pseudo-adiabáticos na atmosfera é:

$$du + p \cdot dv + df = 0 \quad (3.27)$$

onde: du = energia interna por unidade de massa;

df = energia devido a possíveis mudanças de estado e consequente liberação de calor latente.

Diferenciando a equação de estado (3.25) e adotando $R=Rs$, pode-se explicitar a parcela $p \cdot dv$:

$$p \cdot dv = Rs \cdot dT - v \cdot dp \quad (3.28)$$

levando-se esta na equação de conservação da energia (3.27) resulta:

$$du + Rs \cdot dT - v \cdot dp + df = 0 \quad (3.29)$$

Como o calor latente por unidade de massa é $L \cdot r^*$, a liberação de calor latente correspondente é

$$df = d(L \cdot r^*) \quad (3.30)$$

quando uma parte do vapor de água condensa. Ainda, pela teoria cinética dos gases a energia interna é função somente da temperatura, sendo a variação da energia interna dada por:

$$du = c_{vs} \cdot dT \quad (3.31)$$

Substituindo-se (3.30) e (3.31) na equação (3.29) e reagrupando os termos, tem-se:

$$(C_{vs} + R_s) \cdot dT - V \cdot dp + d(L \cdot r^*) = 0 \quad (3.32)$$

mas :

$$C_{vs} + R_s = C_{ps} \quad (3.33)$$

assim a equação (3.32) se reduz a:

$$C_{ps} \cdot dT - V \cdot dp + d(L \cdot r^*) = 0 \quad (3.34)$$

Dividindo-se a equação (3.34) por T e utilizando-se a equação de estado (3.25) com $R = R_s$ resulta:

$$C_{ps} \cdot \frac{dT}{T} - R_s \cdot \frac{dp}{p} + \frac{d(L \cdot r^*)}{T} = 0 \quad (3.35)$$

que é uma equação diferencial ordinária em T e p, pois r^* é somente função de T e p, e L é uma função aproximadamente linear de T, que pode ser calculada por (Linsley et alli, 1949):

$$L = 3.145.780 - 2.361 T \quad (3.36)$$

onde: L = calor latente de evaporação, em J/kg;

T = temperatura, em °K.

Na equação (3.34) pode-se ainda adotar a seguinte simplificação :

$$\frac{d(L \cdot r^*)}{T} \approx d\left(\frac{L \cdot r^*}{T}\right) \quad (3.37)$$

possibilitando assim que a equação seja integrada entre dois níveis a e b a partir da condição inicial $T = T_o$ e $p = p_o$ resultando:

$$C_{ps} \cdot \ln \frac{T_b}{T_a} - R_s \cdot \ln \frac{p_b}{p_a} + \left[\frac{L_b \cdot r^*_{*b}}{T_b} - \frac{L_a \cdot r^*_{*a}}{T_a} \right] = 0 \quad (3.38)$$

Discretizando o domínio da pressão desde $p = p_o$ até $p = p_t$ em n intervalos iguais, a equação (3.38) pode ser resolvida por tentativas entre os níveis de pressão limítrofes de cada intervalo. Quanto menores forem esses intervalos de pressão, mais preciso será o resultado, uma vez que essa equação é uma aproximação.

Numa atmosfera saturada, a temperatura do ar é igual à temperatura do ponto de orvalho em qualquer ponto. Com isso pode-se facilmente integrar a equação (3.24) nas condições de saturação ($r = r^*$) e calcular a água precipitável.

3.1.2.3 Fórmulas empíricas - Vários pesquisadores tem procurado definir uma relação empírica entre o logaritmo da massa total de vapor de água contida numa coluna e o ponto de

orvalho na superfície, encontrando nestes estudos coeficientes de correlação variando desde 0,33 até 0,99 (Viswanadhan, 1981).

Viswanadhan (1981) demonstrou que se pode usar a seguinte relação simples para a determinação de W_p :

$$\ln W_p = 1,371 - \ln(\lambda + 1) + 0,071.T_o \quad (3.39)$$

onde: W_p = água precipitável, em cm;

λ = índice de potência, que é função da latitude e da estação do ano, podendo ser obtido a partir de tabelas;

T_o = ponto de orvalho, em °C.

Dos resultados do trabalho, Viswanadhan concluiu que os coeficientes de correlação entre as variáveis $\ln W_p$ e T_o variam significativamente (0,21 e 0,99), tanto com a latitude como em relação a época do ano, e provavelmente influenciados pelo terceiro parâmetro, λ . Os valores publicados (ver tabela 2) indicam grandes variações nos valores de λ . Portanto, em muitos meses os valores sazonais não são aplicáveis. Observa-se ainda que este parâmetro não leva em conta a altitude do local. Valores de λ estimados a partir das radiossondagens efetuadas na própria estação ao longo do ano são mais precisos.

Na maioria das estações meteorológicas no Brasil, os psicrômetros utilizados são de ventilação natural, com velocidades de vento inferiores a 3 m/s. Trabalhos experimentais fazem suspeitar que quando as velocidades de ventilação são inferiores a 4 m/s as estimativas da temperatura

TABELA 2 - VALORES DO ÍNDICE DE POTÊNCIA EM FUNÇÃO
DA LATITUDE E DA ÉPOCA DO ANO PARA O HEMISFÉRIO SUL

LATITUDE GRAUS	JANEIRO (VERÃO)	ABRIL (OUTONO)	JULHO (INVERNO)	OUTUBRO (PRIMAVERA)	MÉDIA ANUAL
00	3.62	3.44	3.61	3.56	3.56
05	3.59	3.52	3.79	3.79	3.67
10	3.59	3.72	4.02	3.94	3.82
15	3.67	3.82	4.03	3.97	3.87
20	4.52	4.57	4.47	4.50	4.51
25	3.83	3.94	4.03	3.95	3.94
30	3.98	4.13	4.10	4.12	4.08
35	4.14	4.21	4.29	4.28	4.23
40	3.99	4.15	4.16	4.05	4.09
45	3.63	3.74	3.80	3.74	3.72
50	3.33	3.46	3.66	3.54	3.49
55	3.18	3.32	3.60	3.43	3.38
60	3.14	3.27	3.49	2.29	3.05
65	3.20	3.22	3.20	3.09	3.18
70	2.99	2.29	2.33	2.25	2.46
75	2.17	0.93	1.25	1.20	1.39
80	1.88	0.71	0.67	0.98	1.06
85	1.15	0.18	0.50	0.86	0.67
90	0.44	-0.26	0.04	0.30	0.13
MÉDIA PARA O HEMISFÉRIO SUL	3.16	2.96	3.11	3.04	3.06

FONTE: VISWANADHAN, 1981

do bulbo úmido (T_h) e portanto do ponto de orvalho (T_o), tendem a ser superestimadas (Molion, 1987).

A partir dos dados obtidos num experimento micro meteorológico na floresta Amazônica próxima a Manaus (Molion, 1987), observou-se que as diferenças entre o ponto de orvalho e a temperatura do ar variam entre 4 e 8°C. Supondo-se que a diferença entre temperatura e ponto de orvalho seja constante (o que equivale dizer que a umidade relativa do ar é constante) pode-se calcular a água precipitável diretamente a partir da temperatura do ar, sem introduzir erros significativos, através da equação:

$$\ln W_p = 1,371 - \ln (\lambda + 1) + 0,071 (T - 6) \quad (3.40)$$

onde: T = temperatura do ar, em °C;

W_p = água precipitável, em cm.

Entretanto essa metodologia ainda não é aceita de forma universal, sendo que a grande maioria dos hidrólogos quando confrontada com o problema de cálculo da PMP adota o procedimento recomendado pela WMO (1973), que se baseia na obtenção do ponto de orvalho persistente na superfície a partir das observações em estações meteorológicas.

3.1.2.4 Ábacos e tabelas - As alturas de água precipitável em uma coluna de ar saturada podem ser lidas também diretamente em ábacos ou em tabelas em função do ponto de orvalho na superfície. Pinto et alli (1976) apresentam duas figuras nas quais se obtém diretamente a altura de água precipitável numa

coluna acima do nível de 1.000 mb em função do ponto de orvalho reduzido a 1.000 mb. A World Meteorological Organization (1973) apresenta dois conjuntos de tabelas, um para os vários níveis de pressão e outro para as várias altitudes também em relação ao nível de 1.000 mb e em função do ponto de orvalho reduzido a 1.000 mb. Vale a pena ressaltar que em particular essas figuras e essas tabelas foram obtidas considerando a atmosfera saturada com a temperatura variando segundo um processo pseudo-adiabático.

O ponto de orvalho de uma estação situada num nível qualquer pode ser reduzida para uma pressão de 1.000 mb (ou uma altitude igual a 0 m) a partir de diagramas pseudo-adiabáticos como o apresentado pela WMO (1973) e reproduzido na figura 3.

Não há nenhum mecanismo atmosférico que remova todo o vapor de água contido na atmosfera por essa razão foi introduzido o conceito de massa de vapor de água efetivamente precipitável. Essa altura efetivamente precipitável pode ser calculada utilizando modelos esquemáticos de tempestade como a célula geradora apresentada na figura 4 (ELETROBRÁS, 1987).

Na célula apresentada, entre os níveis p_1 e p_2 o ar úmido converge, enquanto que entre os níveis p_3 e p_4 o ar úmido sai. Considerando-se nessa situação o princípio da conservação da massa, caracterizado pela equação da continuidade, e a hipótese de equilíbrio estático na vertical, obtem-se para a massa de vapor efetivamente precipitável a expressão:

$$W_e = W_{12} - \frac{\Delta p_{12}}{\Delta p_{34}} \cdot W_{34} \quad (3.41)$$

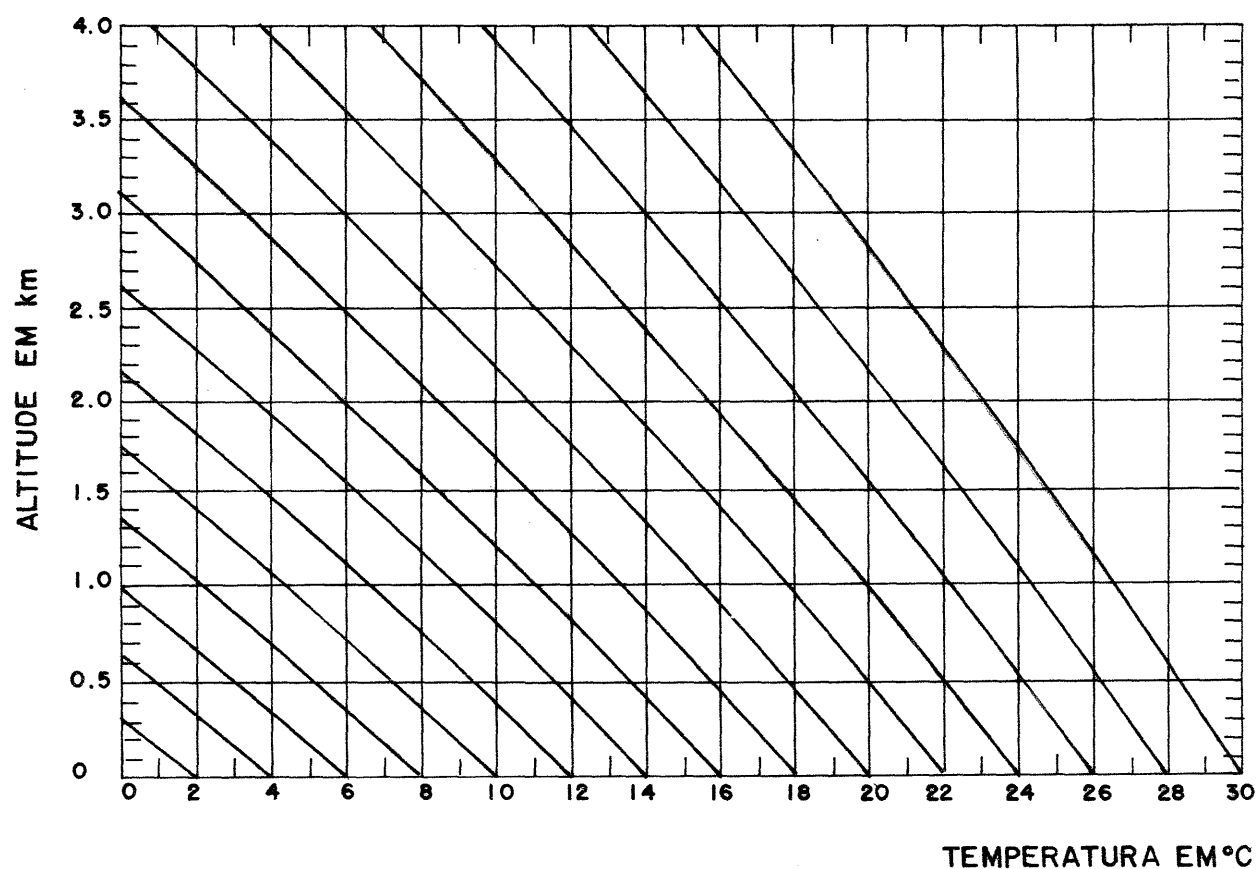


FIGURA 3 - DIAGRAMA PSEUDO-ADIABATICO PARA REDUÇÃO DO PONTO DE ORVALHO PARA 1000 mb (100 kPa) A UMA ALTITUDE DE 0m.

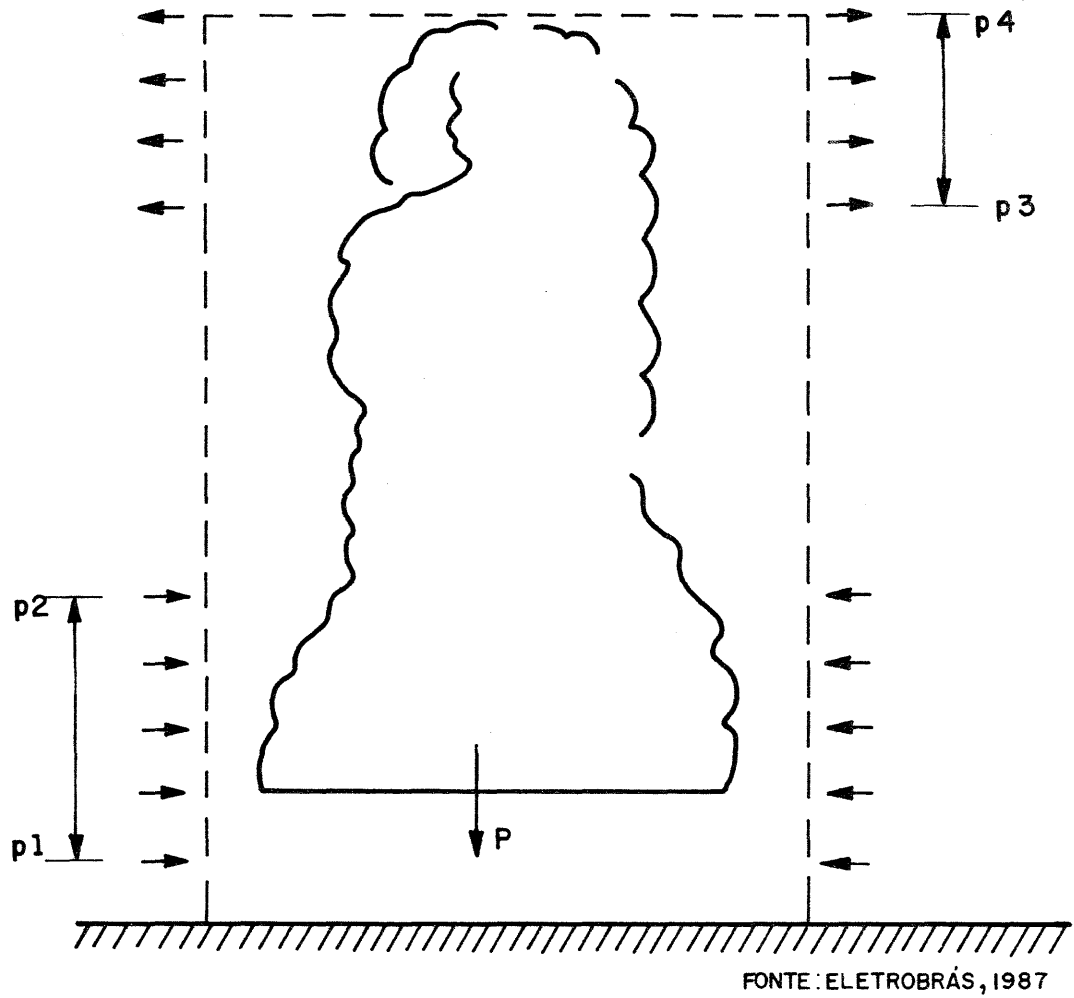


FIGURA 4 - MODELO ESQUEMÁTICO DE UMA TEMPESTADE

onde: W = massa total de vapor entre os níveis p_1 e p_2
 (W_{12}) e p_3 e p_4 (W_{34});

Δp = diferença de pressão entre esses mesmos níveis.

Na definição dos níveis p_1 , p_2 , p_3 e p_4 adota-se geralmente $p_1=p_0$ e $p_4=p_t$, isto é, a base da célula coincide com o nível da superfície e o topo das nuvens alcança a tropopausa. A maneira mais precisa de se estimar p_t é a partir de radiossondagens. Na ausência desses dados o Guia para cálculo de cheia de projeto de vertedores (ELETROBRÁS, 1987) recomenda adotar $p_t = 10$ kPa.

Os níveis p_3 e p_4 devem sempre que possível ser determinados a partir das evidências locais. A cooperação de um meteorologista é muito útil para a seleção de modelos adaptáveis à região.

No citado Guia são apresentados como exemplos três modelos de tempestades, um dividindo igualmente a célula em 3 partes e os demais indicando camadas de entrada e saída do ar úmido mais estreitas.

3.1.3 Métodos de maximização

Os métodos de maximização podem ser classificados em duas categorias básicas:

- local (site specific);
- regionalizado (generalized estimates),

respectivamente para os estudos efetuados em bacias isoladas ou para grandes regiões englobando várias bacias.

As principais vantagens das estimativas regionalizadas são a possibilidade de se estimar prontamente a PMP em

qualquer bacia da região e a obtenção de resultados consistentes em toda a área de estudo.

Para algumas regiões do mundo (por exemplo Estados Unidos) existem mapas que fornecem a PMP para uma dada duração. Há de se considerar que nas fronteiras de regiões adjacentes podem ocorrer inconsistências, como se observa nos mapas publicados no Design of small dam (BUREC, 1977), páginas 48 e 50, reproduzidos na figura 5.

Antes de iniciar um estudo de estimativa de PMP por um método hidrometeorológico é necessário verificar se a área do estudo ou regiões vizinhas estão sujeitas a chuvas orográficas ou não.

A influência da topografia sobre as chuvas vem sendo estudado há muitos anos e de uma maneira geral observou-se que nas encostas voltadas a fontes de ar úmido (oceanos) a chuva é sensivelmente maior que nas encostas a sota-vento, onde os ventos são quentes e secos. O exemplo mais flagrante do efeito orográfico são as chuvas de monções no sudeste asiático provocadas pela ascensão orográfica de massas de ar quente e úmido vindos do oceano Índico sobre as encostas do Himalaia.

Nas regiões sujeitas a chuvas orográficas as estimativas devem ser baseadas em duas componentes:

(i) chuva orográfica, que resulta da influência da topografia;

(ii) chuva convergente, que resulta de processos atmosféricos presumivelmente independentes da topografia.

No presente estudo, as estimativas da PMP se restringiram a estimativas locais em regiões de relevo suave e

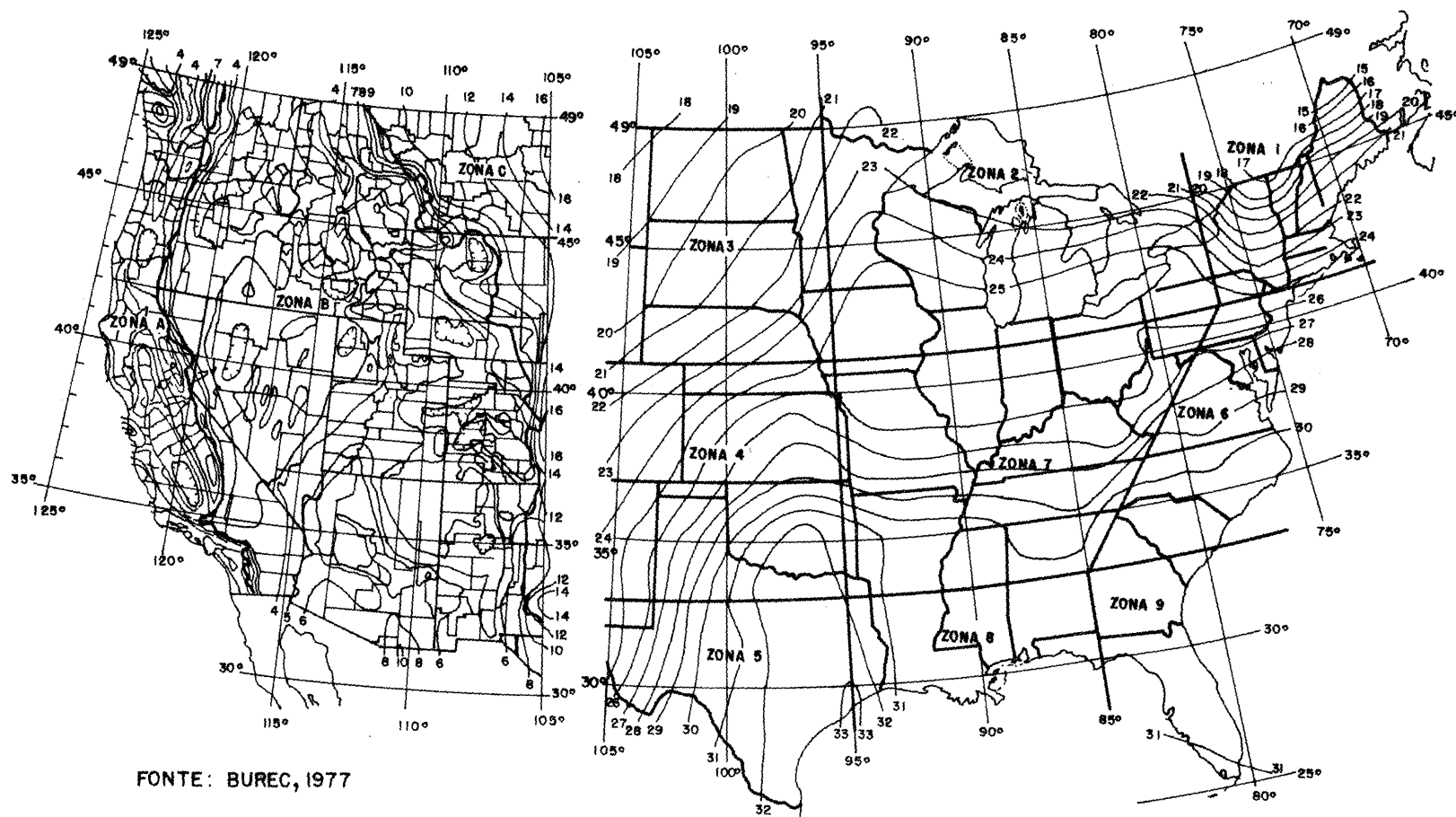


FIGURA 5 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS PROVÁVEIS PARA SEIS HORAS DE DURAÇÃO EM POLEGADAS NOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA.

sem a influência de barreiras nas proximidades ou melhor às regiões onde os efeitos orográficos não influenciam as precipitações extremas.

Em regiões não orográficas raramente é utilizada a maximização do fator vento (WMO, 1973). A umidade é o parâmetro básico para fins de maximização. É a umidade que permite comparar a chuva observada com a que poderia ocorrer se a situação atmosférica fosse mais crítica.

Isso implica em supor que nas grandes tempestades todos os demais fatores como eficiência de precipitação e intensidade de convergência já não podem mais ser superados. Essa hipótese entretanto está longe de ser sempre verdadeira, pois levaria a diferenças muito pequenas nos valores maximizados a partir de eventos distintos, o que não acontece nos casos concretos de maximização.

Os passos de cálculo das precipitações máximas prováveis em regiões não orográficas são basicamente:

(i) seleção das maiores chuvas intensas observadas na região ou em locais climaticamente similares;

(ii) obtenção da umidade representativa tanto dessas maiores chuvas como da máxima provável naquelas condições para as diferentes épocas do ano;

(iii) cálculo dos fatores de maximização da umidade e das chuvas maximizadas.

No caso de grandes bacias a seleção das maiores chuvas intensas pode restringir-se a dados diários de chuva, portanto não são necessários dados pluviográficos e/ou as curvas área x altura x duração, maximizando-se diretamente as sequências históricas.

A umidade atmosférica representativa para fins de maximização pode ser obtida a partir da massa total de vapor de água (altura de água precipitável) ou da massa de vapor efetivamente precipitável (altura de água efetivamente precipitável).

Na seção 3.1.2 estão descritos alguns modos de obtenção da altura de água precipitável e da altura de água efetivamente precipitável.

A maioria dos métodos consagrados pela prática hidrológica utiliza para fins de maximização os pontos de orvalho representativos das piores chuvas observadas e os maiores que poderiam ser observados naquele local e naquela época do ano.

Segundo a WMO (1973) os pontos de orvalho representativos devem ser obtidos nas estações localizadas entre a fonte de umidade e a área da chuva, contudo na maioria dos estudos tem sido utilizados os pontos de orvalho na própria área em estudo.

Há vários critérios para a obtenção desses pontos de orvalho representativos.

Um dado ponto de orvalho isolado pode conduzir a uma diferença considerável na obtenção da umidade que provocou a chuva. A chuva observada é na verdade consequência das condições de umidade que persistiram durante horas e não minutos (WMO, 1973), além do fato que a maioria das chuvas que são maximizadas tem duração de um ou mais dias.

O Guia para cálculo de cheia de projeto de vertedores (ELETROBRÁS, 1987) recomenda que em grandes bacias sejam

utilizadas as médias móveis dos pontos de orvalho com duração igual à da precipitação a ser maximizada.

A recomendação da WMO (1973), adotada no presente trabalho, consiste em usar em latitudes médias e para áreas de drenagem até 50.000 km² o ponto de orvalho persistente por 12 horas para eliminar as flutuações observadas.

O ponto de orvalho persistente por 12 horas durante a chuva foi escolhido pela WMO (1973) porque é muito pouco provável que as condições de umidade mais intensa permaneçam por um tempo maior que 12 a 24 horas devido ao deslocamento da massa de ar.

O ponto de orvalho persistente por 12 horas é definido como o maior valor do ponto de orvalho abaixo do qual não há observações durante um intervalo de 12 horas. Por exemplo, na série de pontos de orvalho:

tempo (horas)	00	06	12	18	00	06	12	18
To (°C)	20	21	23	24	22	21	24	21

o ponto de orvalho persistente por 12 horas é de 22 °C, correspondente ao intervalo de tempo entre as 12 e 00 horas.

Na obtenção dos pontos de orvalho persistentes por 12 horas normalmente são utilizadas as leituras de temperaturas obtidas em intervalos de 6 e 12 horas porque muito raramente se dispõe de dados horários, além de que a utilização destes aumenta consideravelmente o trabalho de obtenção dos pontos de orvalho persistentes.

O máximo ponto de orvalho que poderia ser observado é, em geral, o máximo ponto de orvalho persistente por 12 horas no

histórico numa determinada época do ano. No caso de se dispor de um registro com muito menos de 50 anos de extensão, tem-se recomendado um estudo de frequência dos máximos pontos persistentes de cada ano, numa determinada época do ano, adotando-se como máximo o correspondente a um tempo de recorrência de 50 ou 100 anos (WMO, 1973).

Os máximos pontos de orvalho quer sejam obtidos diretamente a partir do histórico, quer sejam pela análise de frequência, são geralmente plotados no meio do intervalo no qual foram obtidos, definindo-se uma envoltória suave que cobre todo ano hidrológico ou civil.

Na maximização da umidade tem-se utilizado geralmente os máximos pontos de orvalho lidos ao longo da envoltória dentro de um intervalo de mais ou menos 15 dias para levar em conta as variações sazonais.

O máximo ponto de orvalho que tem sido aceito em estudos de PMP é de 299°K ou 26°C (ELETROBRÁS, 1987). Valores acima deste limite são decorrentes geralmente do efeito de evaporação superficial localizada e ou mesmo de erros grosseiros de observação e podem não representar a umidade nas diversas camadas da atmosfera.

A teoria do ajuste da umidade para fins de maximização das precipitações parte do princípio de que a precipitação observada é diretamente proporcional à massa de vapor de água na atmosfera ou altura de água precipitável e que somente esta precisa ser maximizada.

O fator de maximização da umidade é definido, assim simplesmente pela relação entre a altura de água precipitável nas condições mais críticas para aquela época do ano (WM) e

a altura de água precipitável nas condições em que foi observada a precipitação que se quer maximizar (WC):

$$f = \frac{WM}{WC} \quad (3.42)$$

A equação (3.42) também pode ser utilizada para calcular o fator de maximização utilizando a massa de vapor de água efetivamente precipitável nas correspondentes condições.

No caso de se usar a transposição de chuvas de uma bacia para outra devem ser levados em conta os limites de transposição. As duas áreas devem ser meteorologicamente homogêneas, isto é, ter características climáticas e topográficas semelhantes. As transposições de chuvas devem ser limitadas a diferenças de latitudes menores que 20 graus.

O cálculo do fator de ajuste da umidade no caso da transposição de precipitações deve levar em conta a diferença de altitude, e por conseguinte, de pressão, entre as duas áreas. No caso de existir uma barreira orográfica entre as duas áreas, a altura desta deve ser utilizada no cálculo da água precipitável da região em estudo.

Na transposição de precipitações ainda deve ser considerada a orientação do padrão isoietal a ser transposto.

No caso de não haver barreira orográfica entre as áreas o fator de maximização pode ser calculado simplesmente com:

$$f = \frac{WM(A)}{WC(B)} \quad (3.43)$$

onde: $WM(A)$ = altura de água precipitável calculada para pressão $p_o = p_A$ e para o ponto de orvalho máximo histórico ou ajustado na bacia ou ponto A para qual se está transpondo a chuva observada;

$WC(B)$ = altura de água precipitável calculada para pressão $p_o = p_B$ e para o ponto de orvalho por ocasião da chuva na bacia ou posto B.

As chuvas maximizadas são obtidas simplesmente pelo produto do fator de maximização calculado quer seja pela equação (3.42) ou (3.43) e da precipitação que se está ajustando:

$$PM = f \cdot P \quad (3.44)$$

Finalmente, a precipitação máxima provável para uma dada duração é determinada selecionando-se a maior entre as chuvas maximizadas para esta duração. Em alguns casos a PMP é obtida a partir da envoltória das curvas altura x duração dos vários eventos maximizados (Pinto et alli, 1976).

No caso de se utilizar o método de obtenção da PMP proposto por Molion dispensa-se o cálculo do fator de maximização. Em vez disso a PMP é obtida diretamente pela fórmula já apresentada na seção 3.1.2.1 (equação 3.19) usando-se valores maximizados (maiores registrados no passado ou ajustados) para a convergência $\bar{V}/R$, a umidade $\bar{q}$ e a eficiência da precipitação ξ .

3.2 MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Os métodos hidrometeorológicos são os procedimentos mais tradicionais para a determinação da precipitação máxima provável - PMP, e utilizam na sua determinação além dos dados de precipitação, também dados climatológicos, principalmente de umidade atmosférica.

Como em geral a quantidade dos dados de precipitação é muito superior à quantidade de dados climatológicos, e também a disponibilidade de dados climatológicos é muito escassa em várias regiões, os métodos estatísticos são uma ferramenta útil para a obtenção da PMP.

Entre os métodos estatísticos, o que tem sido melhor aceito (WMO, 1973) é o método desenvolvido por Hershfield em 1961 e atualizado por ele em 1965, denominado neste estudo de método de Hershfield. O método de Hershfield é um processo semelhante ao método estação-ano que foi utilizado pela primeira vez em 1917 pelos engenheiros do Miami Conservancy District num estudo de chuvas da região leste dos Estados Unidos (Clarke-Hafstad, 1942).

O método estação-ano consiste basicamente em reunir os dados pluviométricos de uma região meteorologicamente homogênea em uma única série, representativa do ponto médio da área considerada, de comprimento total igual à soma das séries individuais (Linsley et alli, 1949).

O primeiro problema de aplicação do método estação-ano é que raramente se encontram regiões meteorologicamente homogêneas. Na prática esse problema pode ser minimizado selecionando-se postos não muito distantes entre si, distribuídos uniformemente na região.

Na delimitação das áreas pode ser utilizado o critério proposto pelo Miami Conservancy District (Clarke-Hafstad, 1942), que recomenda a divisão em quadrantes terrestres de 2 graus desde que não haja nenhuma evidência de não homogeneidade meteorológica, que sugira outro critério.

Testes estatísticos como o t de Student e o F (Snedecor & Cochran, 1980), o de Terry e o de Mann e Whitney (Kite, 1978), o de Kolmogorov-Smirnov (Kite, 1978; Gomes et alii, 1983), o de Bartlett (Strobel, 1987) e de Mann-Kendall (ELETROBRÁS, 1987) podem ser utilizados para verificação da homogeneidade das séries. A análise fatorial também pode ser usada na identificação de regiões hidrologicamente homogêneas (Strobel, 1987a).

O segundo problema está relacionado com a independência dos eventos, que é determinante na confiabilidade dos resultados deste método. Ocorre que a homogeneidade climática da região e a independência estocástica das estações são, em geral, conflitantes entre si. A homogeneidade implica em dependência o que invalida a combinação das várias séries. Apenas quando se dispõe de região climaticamente homogênea de grande extensão é que o método pode ser aplicado sem distorcer o resultado.

Esses dois problemas, a não homogeneidade meteorológica dos postos e a não independência dos dados, limitam em muito a utilização deste método na análise de chuvas intensas.

O método proposto por Hershfield tenta superar os dois problemas utilizando um processo semelhante ao do método estação-ano, só que em vez de reunir um grupo de postos numa série única e ajustar uma distribuição de frequência, ele

parte da equação geral de frequência (equação 2.16) e maximiza o fator de recorrência.

O cálculo dos fatores de recorrência K_T , designados simplesmente por K neste item, em cada posto foi feito por Hershfield substituindo na equação geral de frequência $x(T)$ por $x_{\text{máx}}$, que é a máxima precipitação observada no local, e utilizando a média e o desvio padrão calculados pelas fórmulas tradicionais, excluindo o valor $x_{\text{máx}}$.

Dessa maneira, Hershfield determinou o fator de recorrência para cada uma das séries de 24 horas de duração nas aproximadamente 2.600 estações (95.000 anos de dados). Em torno de 90% das estações utilizadas estão localizadas nos Estados Unidos. As demais estações são de outras partes do mundo inclusive das regiões em que mais chove.

O máximo valor encontrado por Hershfield para o fator de recorrência foi de 14,5. Contudo, em apenas 38 estações, o que corresponde a 1,5% das séries analisadas, o valor do fator de recorrência foi superior a 9. Os fatores de recorrência plotados não indicaram qualquer tendência geográfica, comprovando serem as variações de carácter aleatório.

Inicialmente Hershfield, nos seus resultados apresentados em 1961, não observou uma eventual influência da magnitude da chuva máxima média nos fatores de recorrência. Reanalizando os seus resultados e utilizando ainda dados e resultados de mais seis durações entre 5 minutos e 24 horas (Hershfield, 1965), observou que, na realidade, os fatores de recorrência variam inversamente com a magnitude das médias das precipitações máximas de cada ano.

Em consequência, o método originalmente proposto (Hershfield, 1961), que recomendava a utilização de um fator de recorrência constante igual a 15, foi alterado (Hershfield, 1965), recomendando-se a partir de então a utilização das envoltórias superiores definidas para cada uma das durações analisadas, onde o valor de K pode ser determinado em função da média das precipitações máximas. Na figura 6 é mostrada a envoltória definida por Hershfield para chuvas de 24 horas.

Hershfield (1961) para complementar o seu trabalho ainda fez uma análise de sensibilidade da média e do desvio padrão quanto à presença de um valor atípico na amostra e quanto à influência do tamanho da amostra.

Nas figuras 7 e 8 são mostrados os ajustes a serem efetuados segundo Hershfield, respectivamente na média e no desvio padrão calculados utilizando todos os n valores da amostra, para levar em conta a presença de um valor atípico na série. Na figura 9 são mostrados os ajustes a serem efetuados em função do tamanho da série.

Os passos para a obtenção da PMP pelo método de Hershfield são os seguintes (WMO, 1973):

(i) Cálculo da média $\bar{X}_n$ e do desvio padrão S_n considerando toda a amostra;

(ii) Cálculo da média $\bar{X}_{n-1}$ e S_{n-1} excluindo da série o valor máximo observado;

(iii) Ajuste de $\bar{X}_n$ e S_n devido à presença de um valor atípico na série através dos gráficos das figuras 7 e 8, respectivamente, e para o tamanho da série com a figura 9;

(iv) Obtenção do valor do K na figura 6 em função do valor da média ajustada;

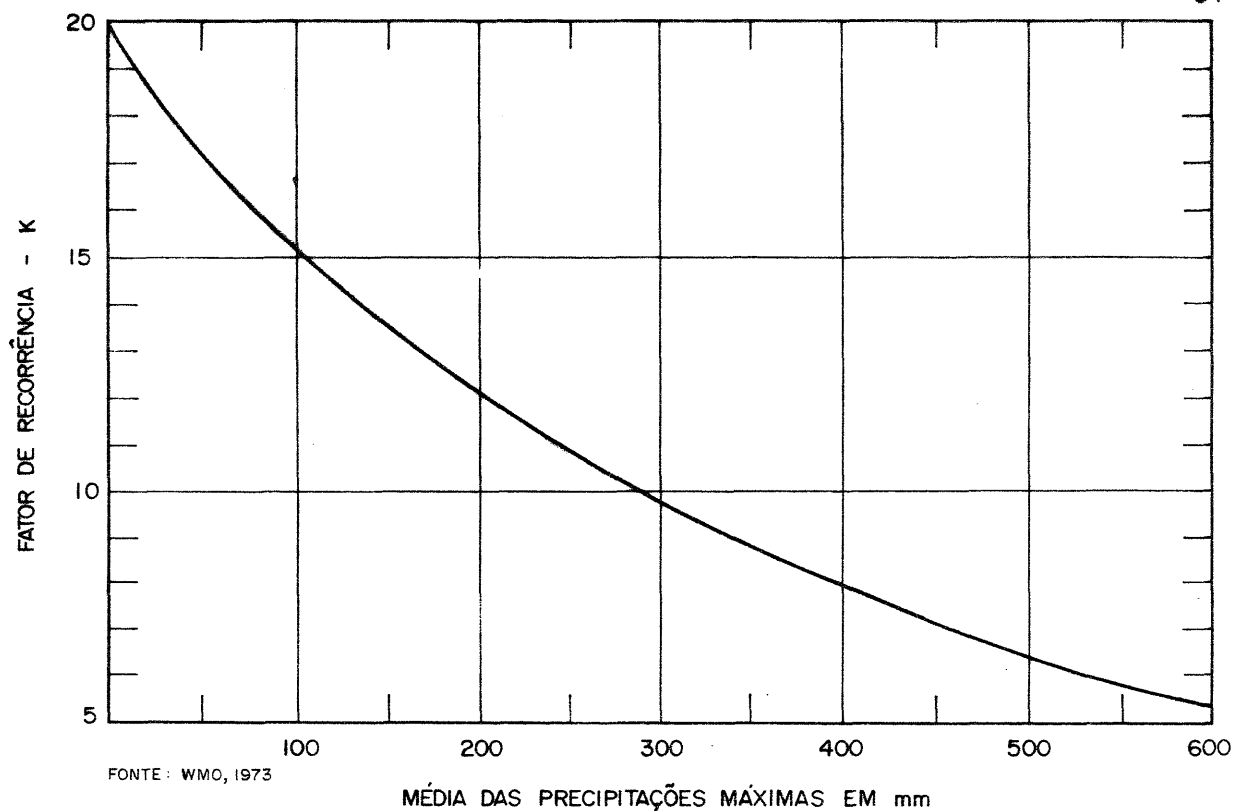


FIGURA 6 - FATOR DE RECORRÊNCIA PARA PRECIPITAÇÕES COM 24 h DE DURAÇÃO EM FUNÇÃO DA MÉDIA DAS SÉRIES ANUAIS SEGUNDO HERSHFIELD.

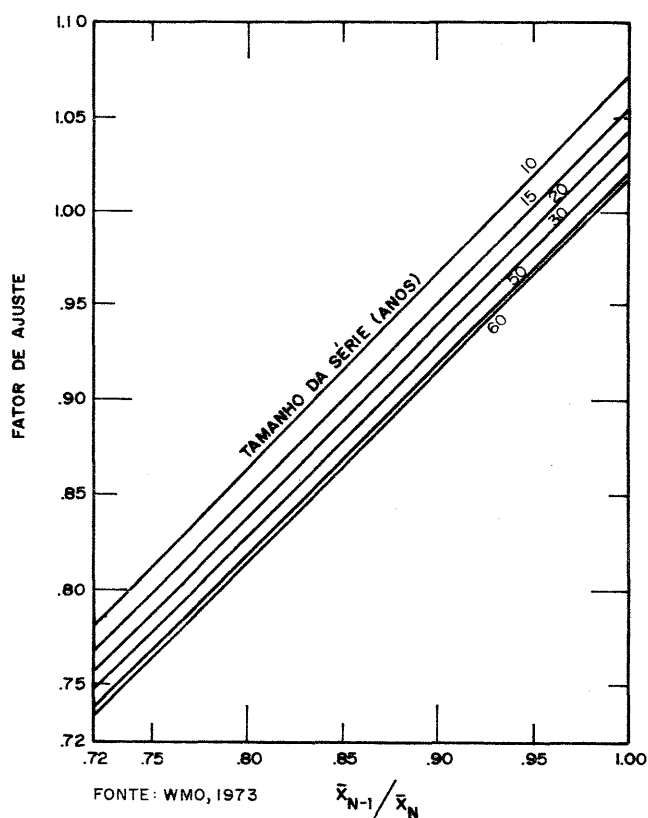


FIGURA 7 - FATOR DE AJUSTE DA MÉDIA PARA UM VALOR ATÍPICO NA AMOSTRA

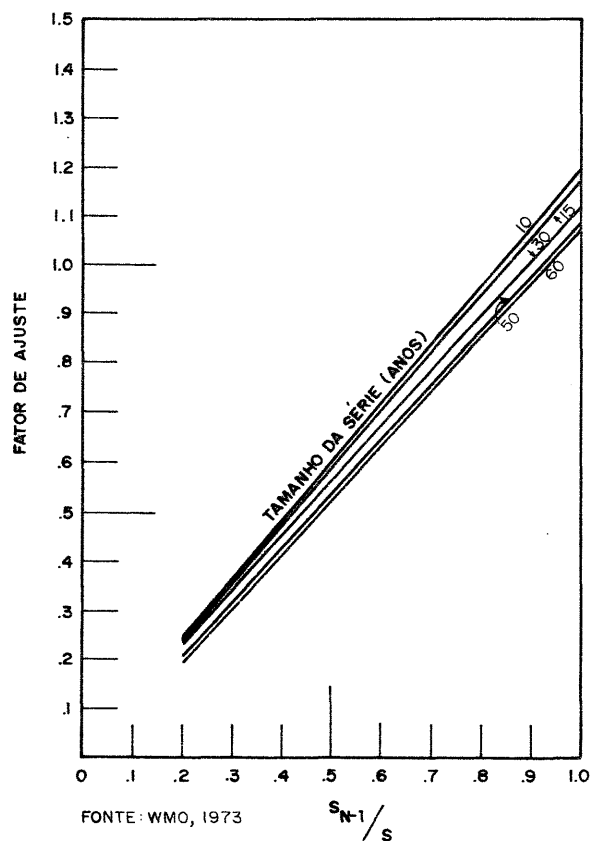


FIGURA 8 - FATOR DE AJUSTE DO DESVIO PADRÃO PARA UM VALOR ATÍPICO NA AMOSTRA

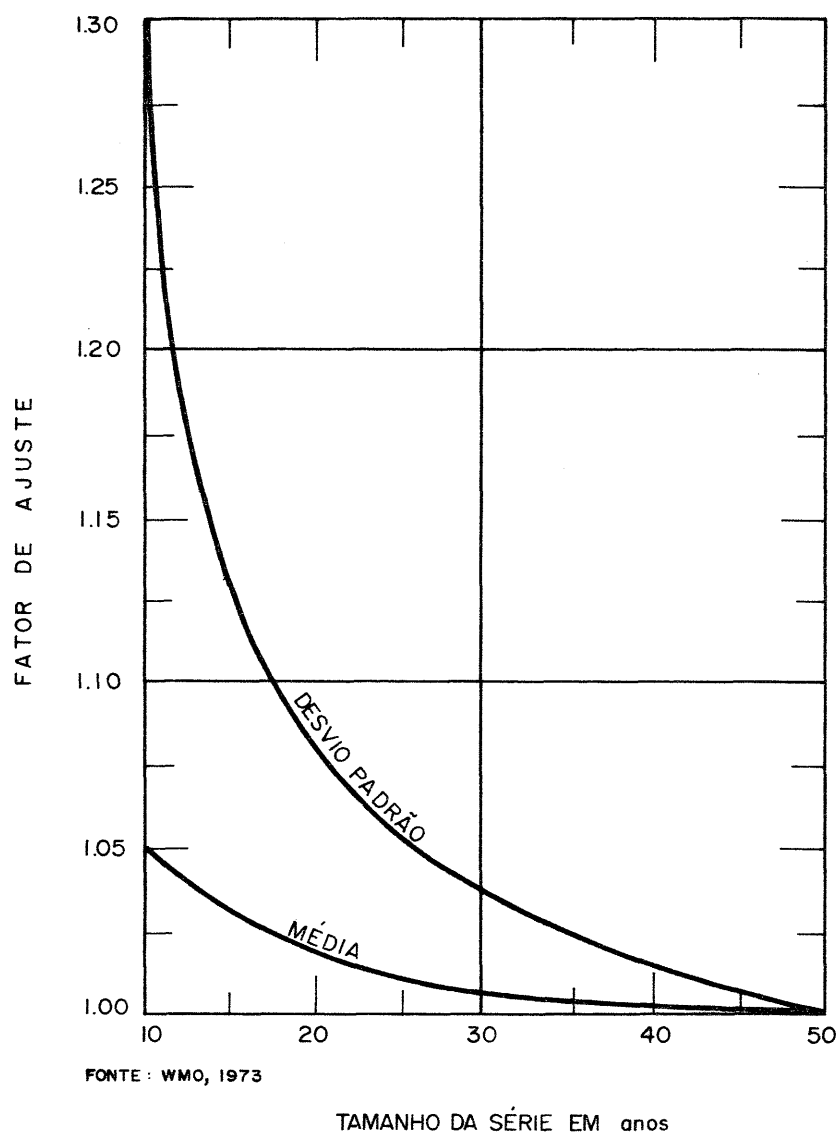


FIGURA 9 - FATOR DE AJUSTE DA MÉDIA E DO DESVIO PADRÃO EM FUNÇÃO DO TAMANHO DA AMOSTRA

(v) Cálculo da PMP através da equação (2.16).

Na seleção das estações é recomendada a comparação entre a média, o desvio padrão e o coeficiente de assimetria de estações vizinhas para detectar se há ou não séries de qualidade duvidosa que não devem ser utilizadas.

No cálculo da PMP pelo método estatístico existe muita controvérsia sobre qual é o valor mais realista para o coeficiente de recorrência K . Existem registros de estações não oficiais dos Estados Unidos e estudos do Canadá (WMO, 1973) que apontam a valores superiores aos apresentados por Hershfield. Na bacia do Cauca, um dos mais importantes rios da Colômbia Central, foi adotado $K = 10$ para chuvas de 1 dia e 2 dias e $K = 11$ para chuvas de 3, 4 e 5 dias (Villegas & Cadavíg, 1987).

O método Hershfield constitui na prática um procedimento rápido para avaliação da PMP sendo recomendado para áreas de drenagem inferiores a 1.000 km², apesar de ter sido usado também em áreas muito maiores.

4 TEMPO DE RECORRÊNCIA ASSOCIADO À PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL NA REGIÃO SUL DO BRASIL

Como já foi comentado em detalhes no Capítulo 1, há muita discussão em torno do tempo de recorrência associado à PMP, isto é, do risco que se assume ao se projetar uma obra pelo critério da PMP.

Nesta dissertação é efetuada uma análise desse problema na região Sul do Brasil, utilizando-se para tanto dados de postos localizados basicamente nas bacias dos rios Tibagi, Ivaí, Piquiri, Iguaçu, Itajaí, Uruguai e Jacuí. É feita uma comparação entre precipitações máximas prováveis e precipitações extremas obtidas por análise de frequência em 45 estações pluviométricas. Não são analisados resultados de valores médios calculados sobre determinadas áreas.

Entretanto, pelo fato da precipitação extrema sobre uma área resultar de uma combinação linear de chuvas pontuais os resultados gerais do presente estudo se aplicam igualmente a chuvas médias sobre bacias.

Como na região Sul do Brasil se dispõe de um número muito reduzido de estações meteorológicas, isto é, locais onde existem ao menos registros simultâneos de chuva e de umidade relativa, partiu-se do princípio de que os dados de uma estação meteorológica, para fins de maximização, poderiam ser utilizados para postos pluviométricos localizados nas suas

vizinhanças até um raio de 150 km, desde que os dois pontos se localizassem em uma mesma região climática.

Dessa maneira foram selecionados os postos pluviométricos e as correspondentes estações meteorológicas apresentados na tabela 3 levando-se em conta, além da localização, a extensão da série e a qualidade aparente dos dados. A homogeneidade climatológica foi levada em conta, indiretamente com a localização do posto e da estação, a partir dos conhecimentos gerais da evolução do clima na região.

Na figura 10 pode-se observar a distribuição geográfica dos postos pluviométricos e das estações meteorológicas utilizados.

No presente estudo foi efetuada apenas uma análise superficial de consistência dos dados pluviométricos e de temperatura. Nos locais onde se dispunha de informações de postos ou de estações operadas por mais de uma entidade, as séries foram comparadas entre si e em alguns casos reunidas em uma série única como pode ser visto na tabela 3, no caso as séries pluviométricas.

A avaliação do tempo de recorrência associado à PMP foi efetuada em três etapas:

- (i) análise de frequência de precipitações intensas;
- (ii) determinação das precipitações máximas prováveis - PMP;
- (iii) determinação do tempo de recorrência associado à PMP.

TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS E DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADOS NA REGIÃO SUL DO BRASIL

N ¹	CÓDIGO	P O S T O	PERÍODO	ALTIT. ² m	N ¹	ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	PERÍODO	ALTIT. ² m	DIST. ³ km
P1	02350000	JATAIZINHO	38-86	350	M1	LONDRINA	61-87	610	20
P2	02450006	SALTO MAUÁ	46-86	550					90
P3	02352000	PORTO PARAÍSO DO NORTE	53-87	250	M2	CAMPO MOURÃO	61-85	620	90
P4	02353001	SANTA ISABEL DO IVAÍ	58-86	400					140
P5	02451014	IVAIPORÁ	56-85	650					75
P6	02353002	BALSA DO GOIOERÊ	62-86	320	M3	GUAÍRA	63-86	220	110
P7	02454001	GUAÍRA (DN)	41-63	220					0
	02454009	GUAÍRA (IN)	64-86	220					
P8	02450002	TIBAGI	39-86	720	M4	PONTA GROSSA	54-87	880	90
P9	02550024	VILA VELHA	54-86	880					0
P10	02451003	TEREZA CRISTINA	57-86	550	M5	TEIXEIRA SOARES	63-87	890	80
P11	02548001	PRAIA GRANDE	40-86	750	M6	CURITIBA	51-86	950	40
P12	02549001	PORTO AMAZONAS	40-86	800					60
P13	02549006	CURITIBA		950					0
P14	02550001	SÃO MATEUS DO SUL	38-86	760					120
P15	02649006	RIO NEGRO (DN)	39-86	800					90
	02649021	RIO NEGRO (IN)	25-38	800					
P16	02551000	GUARAPUAVA (DN)	68-86	1000	M7	GUARAPUAVA	51-87	1000	0
	02551006	GUARAPUAVA (IN)	25-67	1000					
P17	02551004	SANTA CLARA	50-86	740					60
P18	02552000	QUEDAS DO IGUAÇU	50-86	550					140
P19	02554000	FOZ DO IGUAÇU	41-87	100	M8	FOZ DO IGUAÇU	51-87	100	0
P20	02651000	UNIÃO DA VITÓRIA	38-87	740	M9	PALMAS	61-87	1100	90
P21	02651006	PALMAS (IN)	25-72	1100					0
	02652010	PALMAS (SUR)	73-86	1100					
P22	02652007	PORTO PALMEIRINHA	56-87	560					80
P23	02651001	CAMPINA DA ALEGRIA	44-87	950	M10	XANXERÊ	55-83	840	60
P24	02652000	ABELARDO LUZ	58-87	800					30
P25	02652006	XANXERÊ	41-71	840					0
P26	02652004	PASSO NOVA ERECHIM	59-85	300	M11	IRAÍ	46-83	250	40
P27	02753003	IRAÍ	39-85	230					0
P28	02754001	ALTO URUGUAI	49-87	200					80
P29	02749002	ITUPORANGA	41-87	370	M12	LAGES	55-83	940	80
P30	02749032	SANTA CLARA	60-84	900					80
P31	02750005	LAJES	31-85	930					0
P32	02750010	PONTE ALTA DO NORTE	60-87	300					70
P33	02751002	CAMPOS NOVOS	31-85	910	M13	CAMPOS NOVOS	46-83	910	0
P34	02751005	MARCELINO RAMOS	31-72	380	M14	MARCELINO RAMOS	51-83	380	0
P35	02851014	LAGOA VERMELHA	14-85	890					90
P36	02755001	PORTO LUCENA	49-87	100	M15	S. LUIZ GONZAGA	46-83	250	60
P37	02854011	SÃO LUIZ GONZAGA	12-85	250					0
P38	02755	POSADAS	55-83	100	M16	POSADAS	57-81	100	0
P39	02852006	USINA CARAZINHO	41-87	400	M17	P. DAS MISSÕES	48-83	630	60
P40	02852017	MAURÍCIO CARDOSO	52-78	500					130
P41	02852020	PASSO FUNDO	12-85	680					90
P42	02753004	LINHA CESCON	59-87	400					30
P43	02853005	CRUZ ALTA	39-85	470					90
P44	02853014	SANTA CLARA DO INGAÍ	45-87	300					90
P45	02957	PASO DE LOS LIBRES	56-83	100	M18	P. DE LOS LIBRES	00-83	100	0

¹ - NÚMERO
² - ALTITUDE

³ - DISTÂNCIA
⁴ - 1889-1985

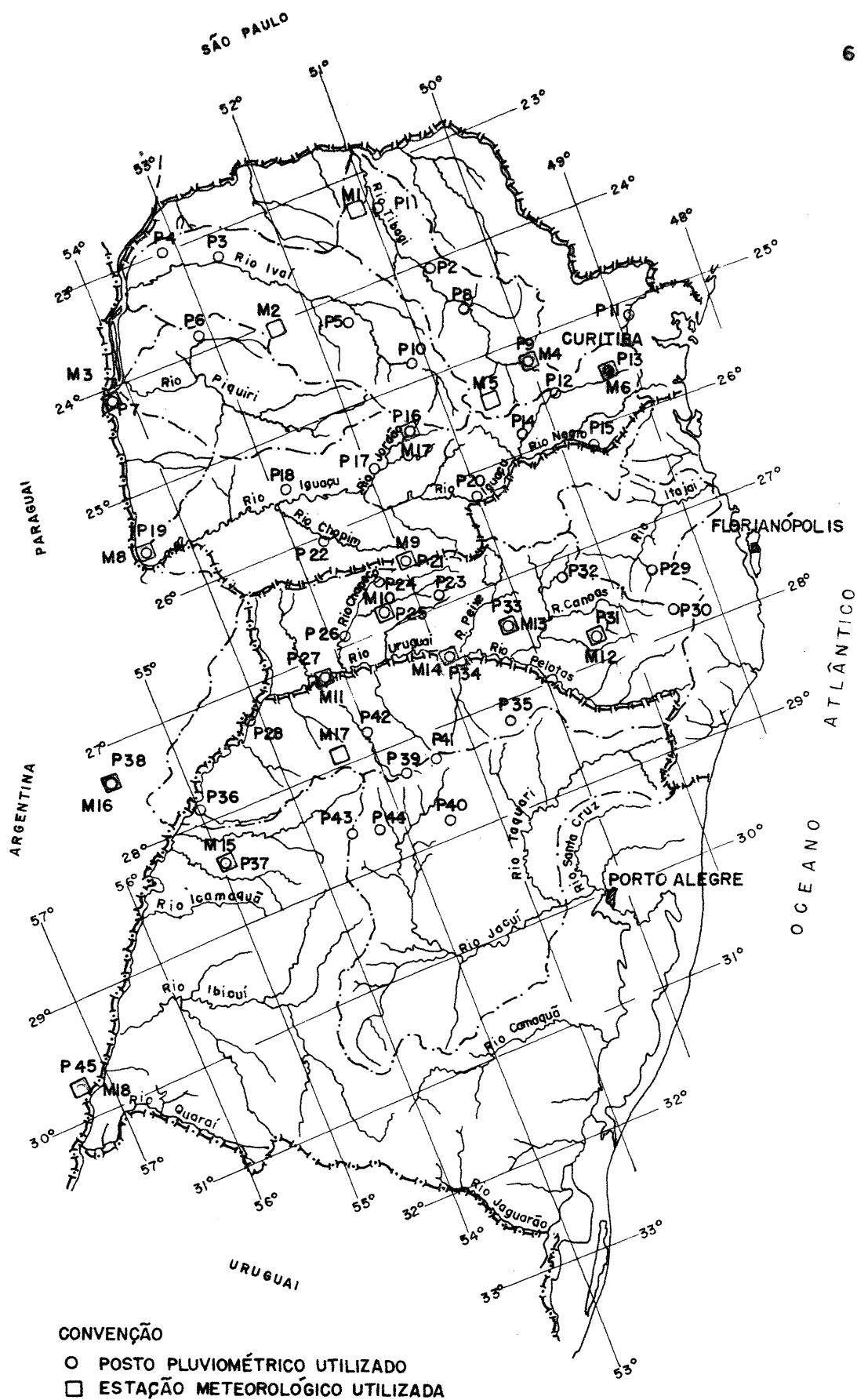


FIGURA 10 - LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS E DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS UTILIZADOS NO CÁLCULO DA PMP NA REGIÃO SUL DO BRASIL.

4.1 APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE PRECIPITAÇÕES INTENSAS

Na análise de frequência, como foi mencionado no capítulo 2, foram utilizadas somente as distribuições de Gumbel e exponencial, determinando-se os parâmetros pelo método dos momentos.

Inicialmente foram selecionadas as chuvas máximas anuais de 1 e 2 dias de duração observadas ao longo do histórico, abandonando-se os anos que apresentavam falhas diárias nos postos onde não se tinha segurança de que as máximas anuais houvessem sido registradas.

Para cada uma das séries de chuvas máximas anuais de 1 e 2 dias de duração foram determinadas a média, o desvio padrão e o coeficiente de assimetria utilizando as fórmulas (2.12), (2.13) e (2.21).

O critério de utilização de uma ou outra distribuição, já explicado no capítulo 2, consiste em adotar a distribuição de Gumbel quando o coeficiente de assimetria é menor que 1,5 em ambas as séries, isto é, para chuvas de 1 e de 2 dias de duração, e adotar a distribuição exponencial em caso contrário.

Em seguida foram calculadas as chuvas esperadas para um tempo de recorrência de 10.000 anos (chuvas decamilenares) utilizando-se a distribuição selecionada em cada local. Nas tabelas 4 e 5 são listadas essas chuvas decamilenares juntamente com o tipo de ajuste utilizado (G = distribuição de Gumbel e E = distribuição exponencial), respectivamente para 1 e 2 dias de duração. Nessas tabelas constam também os valores das PMP e seus períodos de recorrência, calculados segundo vários critérios e que serão comentados mais adiante.

TABELA 4 - PRINCIPAIS PARÂMETROS DAS SÉRIES ANUAIS DE CHUVAS
DE 1 DIA E AS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS (TR = 10000 anos E PMP)

N ¹	P O S T O	PERÍODO	S É R I E				TR ⁵ 10000 mm	P M P		PMP HIDROMETEOROLÓGICO			
			MÉDIA	D.P. ²	MÁX. ³	Y ⁴		ESTATÍSTICO mm	TR ⁵	SEM AJUSTE mm	COM AJUSTE TR ⁵	mm	TR ⁵
P1	JATAIZINHO	38-86	81,0	19,2	144	0,47	210	250	1,4XE5	222	22000	228	33000
P2	SALTO MAUÁ	46-86	84,6	24,1	149	1,01	247	309	2,7XE5	195	630	210	1400
P3	PORTO PARAÍSO DO NORTE	53-87	76,4	19,7	126	0,76	209	262	3,1XE5	230	39000	223	25000
P4	SANTA ISABEL DO IVAÍ	58-86	82,9	19,4	128	1,04	214	273	4,9XE5	310	5,9XE6	301	3,3XE6
P5	IVAIPORÃ	56-85	96,1	23,8	154	0,59	256	325	4,1XE5	245	5400	275	27000
P6	BALSA DO GOIOERÊ	62-86	94,2	26,2	146	0,59	271	363	8,8XE5	266	8000	305	54000
P7	GUAÍRA ⁶	41-86	101,5	28,6	196	1,08	294	352	1,4XE5	311	21000	334	60000
P8	TIBAGI	39-86	74,4	17,0	118	0,38	189	234	2,9XE5	266	3,4XE6	266	3,4XE6
P9	VILA VELHA	54-86	74,7	19,2	139	1,43	204	235	83000	209	14000	219	27000
P10	TEREZA CRISTINA	57-86	82,4	17,4	115	0,27	199	260	8,6XE5	189	4600	205	15000
P11	PRAIA GRANDE	40-86	74,0	23,7	166	1,48	269	268	9800	276	14000	301	39000
P12	PORTO AMAZONAS	40-86	77,6	17,0	113	-0,06	192	240	3,7XE5	162	1000	174	2600
P13	CURITIBA	7	72,7	19,9	164	1,29	207	247	1,4XE5	190	3400	198	5700
P14	SÃO MATEUS DO SUL	38-86	75,4	22,7	143	1,06	228	280	1,8XE5	254	43000	247	29000
P15	RIO NEGRO ⁶	25-86	67,5	14,7	111	0,56	167	202	2,2XE5	168	11000	184	46000
P16	GUARAPUAVA ⁶	25-86	78,5	20,3	147	1,18	215	258	1,5XE5	342	3,0XE7	374	2,3XE8
P17	SANTA CLARA	50-86	88,8	26,7	160	1,01	308	340	33000	285	4200	285	4200
P18	QUEDAS DO IGUAÇU	50-86	108,9	27,1	161	0,16	291	374	5,2XE5	310	24000	339	96000
P19	FOZ DO IGUAÇU	41-87	95,0	32,4	180	0,23	313	396	2,6XE5	283	3000	313	10000
P20	UNIÃO DA VITÓRIA	38-87	78,7	20,5	155	1,41	247	252	13000	226	3600	240	7100
P21	PALMAS ⁶	25-86	94,0	33,0	181	1,04	365	397	26000	252	330	300	1400
P22	PORTO PALMEIRINHA	56-87	100,9	32,6	176	0,95	321	420	4,9XE5	301	4700	356	41000
P23	CAMPINA DA ALEGRIA	44-87	93,8	24,6	155	0,45	260	326	3,2XE5	426	5,9XE7	401	1,6XE7
P24	ABELARDO LUZ	58-87	87,9	30,0	210	2,33	334	295	2700	303	3500	336	11000
P25	XANXERÊ	41-71	94,8	27,9	199	1,85	324	314	7100	296	3700	280	2100
P26	PASSO NOVA ERECHIM	59-85	76,6	14,8	105	0,15	176	229	1,0XE6	197	61000	197	61000
P27	IRAÍ	39-85	94,4	20,6	144	0,72	233	291	3,7XE5	247	24000	262	61000
P28	ALTO URUGUAI	49-87	68,5	28,2	126	-0,18	258	341	4,3XE5	217	1500	229	2600
P29	ITUPORANGA	41-87	70,2	20,9	120	0,45	211	266	2,9XE5	205	7000	205	7000
P30	SANTA CLARA	60-84	78,0	19,6	123	0,59	210	273	6,2XE5	299	3,4XE6	294	2,4XE6
P31	LAJES	31-85	70,0	19,8	127	1,23	203	251	2,2XE5	213	19000	202	9200
P32	PONTE ALTA DO NORTE	60-87	71,0	16,6	119	0,70	183	221	2,0XE5	229	3,6XE5	217	1,4XE5
P33	CAMPOS NOVOS	31-85	76,2	22,9	131	-0,14	230	294	3,4XE5	256	42000	239	16000
P34	MARCELINO RAMOS	31-72	92,6	24,5	151	0,39	258	326	3,4XE5	211	880	235	3100
P35	LAGOA VERMELHA	14-85	84,6	19,9	132	-0,17	219	270	2,7XE5	188	1400	188	1400
P36	PORTO LUCENA	49-87	112,9	29,5	175	-0,17	311	400	4,6XE5	314	11000	319	14000
P37	SÃO LUIZ GONZAGA	12-85	109,4	36,5	310	2,58	409	361	2700	300	500	300	500
P38	POSADAS	55-83	112,6	28,8	209	1,41	306	354	82000	251	850	290	4800
P39	USINA CARAZINHO	41-87	102,1	33,2	229	2,00	374	370	8800	360	6400	360	6400
P40	MAURÍCIO CARDOSO	52-78	90,9	24,5	169	1,17	292	301	14000	296	12000	286	7800
P41	PASSO FUNDO	12-85	87,6	22,3	170	1,06	237	282	1,3XE5	281	1,2XE5	268	57000
P42	LINHA CESCON	59-87	99,8	27,5	156	0,49	285	379	7,8XE5	263	3600	263	3600
P43	CRUZ ALTA	39-85	94,7	26,2	163	0,73	271	341	3,1XE5	352	5,3XE5	352	5,3XE5
P44	SANTA CLARA DO INGAÍ	45-87	96,1	23,9	156	0,32	257	322	3,2XE5	221	1400	221	1400
P45	PASO DE LOS LIBRES	56-83	105,7	46,4	286	2,41	487	425	2600	405	1700	N.C. ⁸	

¹ - NÚMERO

² - DESVIO PADRÃO

³ - MÁXIMA PRECIPITAÇÃO OBSERVADA NO PERÍODO

⁴ - COEFICIENTE DE ASSIMETRIA - SE NAS
TABELAS 4 e 5 :

$\gamma < 1,5$ DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL

$\gamma \geq 1,5$ DISTRIBUIÇÃO EXPONENCIAL

⁵ - TEMPO DE RECORRÊNCIA EM anos

⁶ - PARTE DO REGISTRO PREENCHIDO COM OUTRO POSTO
NO MESMO LOCAL (VER TABELA 3)

⁷ - 1889 - 1985

⁸ - NÃO CALCULADO

TABELA 5 - PRINCIPAIS PARÂMETROS DAS SÉRIES ANUAIS DE CHUVAS
DE 2 DIAS E AS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS (TR = 10000 anos E PMP)

N ¹	P O S T O	PERÍODO	S É R I E				TR ⁵ 10000 mm	P M P		PMP HIDROMETEOROLÓGICO			
			MÉDIA	D.P. ²	MÁX. ³	Y ⁴		ESTATÍSTICO	TR ⁵	SEM AJUSTE	COM AJUSTE	TR ⁵	TR ⁵
P1	JATAIZINHO	38-86	108,2	27,9	178	0,54	296	369	2,9XE5	259	1800	282	5200
P2	SALTO MAUÁ	46-86	110,3	31,3	193	0,86	321	401	2,7XE5	258	750	280	1900
P3	PORTO PARAÍSO DO NORTE	53-87	100,2	26,0	167	0,36	275	345	3,1XE5	311	58000	303	39000
P4	SANTA ISABEL DO IVAÍ	58-86	106,1	26,3	153	0,33	283	376	8,9XE5	338	1,4XE5	328	89000
P5	IVAIPORÁ	56-85	122,5	28,3	189	1,01	313	398	4,7XE5	330	22000	329	21000
P6	BALSA DO GOIOERÊ	62-86	125,3	38,9	231	1,25	387	487	2,7XE5	335	1800	389	11000
P7	GUAÍRA ⁶	41-86	123,1	30,9	200	0,39	331	416	3,5XE5	317	5600	341	15000
P8	TIBAGI	39-86	100,8	22,4	147	0,37	251	316	4,1XE5	359	4,7XE6	359	4,7XE6
P9	VILA VELHA	54-86	98,5	25,5	154	0,57	270	346	4,5XE5	264	7300	276	13000
P10	TEREZA CRISTINA	57-86	111,9	23,5	168	1,07	270	340	4,7XE5	298	46000	324	1,9XE5
P11	PRAIA GRANDE	40-86	92,5	33,3	247	2,49	366	336	4100	391	21000	426	61000
P12	PORTO AMAZONAS	40-86	96,3	19,4	144	0,41	227	280	3,3XE5	207	2700	219	5900
P13	CURITIBA	7	95,1	24,8	169	0,81	262	324	2,4XE5	239	3000	248	4800
P14	SÃO MATEUS DO SUL	38-86	98,2	26,0	175	1,15	273	332	1,8XE5	331	1,7XE5	322	1,1XE5
P15	RIO NEGRO ⁶	25-86	90,2	17,7	144	0,39	209	252	2,2XE5	226	33000	248	1,6XE5
P16	GUARAPUAVA ⁶	25-86	106,8	27,0	183	1,00	289	353	2,2XE5	424	6,2XE6	463	3,9XE7
P17	SANTA CLARA	50-86	118,1	40,9	258	1,74	453	467	14000	385	1900	422	4600
P18	QUEDAS DO IGUAÇU	50-86	124,5	31,5	223	1,02	336	403	1,5XE5	412	2,1XE5	451	1,1XE6
P19	FOZ DO IGUAÇU	41-87	117,7	39,2	228	0,58	381	477	2,3XE5	335	2200	405	22000
P20	UNIÃO DA VITÓRIA	38-87	104,1	31,6	258	2,49	364	325	2900	309	1800	368	12000
P21	PALMAS ⁶	25-86	131,5	51,2	299	1,57	552	583	18000	450	1400	536	7300
P22	PORTO PALMEIRINHA	56-87	133,4	51,7	279	1,22	481	607	2,3XE5	449	4500	531	34000
P23	CAMPINA DA ALEGRIA	44-87	124,8	37,9	238	0,56	380	470	2,1XE5	501	6,0XE5	442	81000
P24	ABELARDO LUZ	58-87	117,8	38,5	241	1,21	434	446	14000	363	1600	382	2600
P25	XANXERÊ	41-71	136,0	34,9	206	0,21	422	485	60000	392	4200	404	5900
P26	PASSO NOVA ERECHIM	59-85	104,8	23,3	153	0,32	262	344	9,1XE5	242	3400	259	8600
P27	IRAÍ	39-85	119,2	32,4	206	1,07	337	423	3,1XE5	292	1700	323	5700
P28	ALTO URUGUAI	49-87	92,9	37,2	172	0,29	343	452	4,3XE5	287	1400	294	1800
P29	ITUPORANGA	41-87	93,2	26,2	190	1,37	269	315	92000	312	80000	312	80000
P30	SANTA CLARA	60-84	109,5	32,5	180	0,34	328	436	6,8XE5	462	1,9XE6	462	1,9XE6
P31	LAJES	31-85	97,3	29,3	172	0,74	294	368	2,5XE5	286	6900	286	6900
P32	PONTE ALTA DO NORTE	60-87	95,3	24,5	179	1,34	260	296	68000	322	2,5XE5	331	4,0XE5
P33	CAMPOS NOVOS	31-85	105,9	31,4	171	-0,33	317	409	4,3XE5	275	1800	260	960
P34	MARCELINO RAMOS	31-72	122,5	30,2	213	0,40	326	398	2,2XE5	256	520	256	520
P35	LAGOA VERMELHA	14-85	114,1	27,3	193	0,48	298	366	2,4XE5	276	3600	276	3600
P36	PORTO LUCENA	49-87	144,1	47,6	310	1,32	464	550	1,0XE5	503	28000	495	23000
P37	SÃO LUIZ GONZAGA	12-85	144,6	47,8	424	3,17	537	457	1900	364	270	370	300
P38	POSADAS	55-83	137,9	38,7	214	0,67	398	526	6,9XE5	356	2400	437	36000
P39	USINA CARAZINHO	41-87	135,4	35,8	241	0,87	429	465	27000	420	7700	420	7700
P40	MAURÍCIO CARDOSO	52-78	117,6	36,3	229	1,86	416	435	17000	359	2100	359	2100
P41	PASSO FUNDO	12-85	121,5	29,9	214	1,03	323	395	2,2XE5	367	66000	367	66000
P42	LINHA FESCON	59-87	130,7	31,2	230	0,98	341	396	98000	350	15000	320	4300
P43	CRUZ ALTA	39-85	125,5	32,5	188	0,10	344	444	5,2XE5	391	63000	391	63000
P44	SANTA CLARA DO INGAÍ	45-87	129,0	32,1	190	-0,01	345	444	5,2XE5	329	5200	329	5200
P45	PASO DE LOS LIBRES	56-83	139,8	53,1	315	1,19	575	582	11000	441	790	N.C. ⁸	

¹ - NÚMERO

² - DESVIO PADRÃO

³ - MÁXIMA PRECIPITAÇÃO OBSERVADA NO PERÍODO

⁴ - COEFICIENTE DE ASSIMETRIA - SE NAS
TABELAS 4 E 5 :

Y < 1,5 DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL

Y ≥ 1,5 DISTRIBUIÇÃO EXPONENCIAL

⁵ - TEMPO DE RECORRÊNCIA EM anos

⁶ - PARTE DO REGISTRO PREENCHIDO COM OUTRO POSTO
NO MESMO LOCAL (VER TABELA 3)

⁷ - 1889-1985

⁸ - NÃO CALCULADO

4.2 DETERMINAÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS PROVÁVEIS

As precipitações máximas prováveis - PMP foram calculadas nesta dissertação por dois métodos, um hidrometeorológico e outro estatístico.

O método hidrometeorológico utilizado segue basicamente os procedimentos recomendados pela WMO (1973), utilizando-se contudo a integração da massa de vapor de água numa coluna para o cálculo da altura de água precipitável (equação 3.24). Para efeito de determinação da máxima altura de água precipitável utilizaram-se neste estudo dois critérios:

(i) o máximo ponto de orvalho histórico observado na estação meteorológica para a respectiva época do ano e que é referido na sequência como critério máximo histórico ou sem ajuste;

(ii) o ponto de orvalho resultante para uma probabilidade de não excedência igual a 98% em uma distribuição gaussiana dos valores observados (método dos momentos) e que na sequência será denominado critério ajustado ou com ajuste.

O método estatístico utilizado é o método apresentado por Hershfield (1961, 1965) com um valor de K adaptado às condições da região Sul do Brasil.

Na sequência são apresentados com maiores detalhes os dados e os procedimentos utilizados no cálculo da PMP, como também são fornecidos os valores da PMP em cada posto.

4.2.1 Método hidrometeorológico

Na determinação das precipitações máximas prováveis pelo método hidrometeorológico, além dos dados de chuva foram utilizados também os dados das três leituras diárias dos

termômetros de bulbo seco e de bulbo úmido. Na ausência dos dados de temperatura do termômetro de bulbo úmido foram usados os dados de umidade, registrados pela leitura do higrômetro.

Na tabela 3 são apresentados os períodos em que se dispunham de registros de chuvas nos postos pluviométricos e de temperatura e/ou umidade nas correspondentes estações meteorológicas. O período de dados utilizado na obtenção da PMP pelo método hidrometeorológico em cada posto foi definido pelo período comum entre o posto e a estação meteorológica.

Os registros de temperatura e/ou umidade foram utilizados para calcular os pontos de orvalho nos correspondentes horários de leitura, que nas estações meteorológicas do Sul do Brasil são 9, 15 e 21 horas local e correspondem respectivamente a 12, 18 e 24 horas do Tempo Médio de Greenwich (TMG).

Foi desenvolvido um programa de computador em linguagem FORTRAN (IBM FORTRAN 66), listado no Anexo 1, para o cálculo dos pontos de orvalho para cada uma daquelas leituras e os máximos pontos de orvalho persistentes no período histórico agrupados para períodos de 5 dias consecutivos. No programa também é feito o ajuste da distribuição normal aos pontos de orvalhos máximos persistentes em cada ano para cada um desses grupos.

Os pontos de orvalho em cada uma das três leituras são obtidos no programa utilizando a tabela psicrométrica reproduzida na tabela 1 a partir da pressão parcial de vapor e, calculada pelas equações (3.3) ou (3.10), dependendo de se utilizar os dados de temperatura do termômetro de bulbo úmido

ou de umidade, respectivamente. No caso do ponto de orvalho a pressão parcial de vapor representa a condição de saturação.

Aquela tabela psicrométrica também foi utilizada no programa para calcular a tensão de saturação correspondente às temperaturas do termômetro de bulbo seco - $e^*(T)$ e do termômetro de bulbo úmido - $e^*(T_h)$.

A partir dos pontos de orvalho de cada horário são determinados os máximos persistentes por 12 horas em cada ano. Essa pesquisa no programa é feita agrupando-se os pontos de orvalho em cada mês em seis classes (dias 1 a 5, 6 a 10, etc.), resultando para cada ano uma matriz de 6 x 12 valores de pontos de orvalho máximos persistentes por 12 horas.

Os máximos históricos são obtidos simplesmente selecionando-se dentro de cada classe os máximos valores observados no período de dados disponíveis.

O ajuste da distribuição de frequência também é feito para cada classe, calculando-se separadamente para cada uma a média, o desvio padrão e o coeficiente de assimetria.

Como se observou que os coeficientes de assimetria das séries dos pontos de orvalho eram muito próximos de zero, e muitas vezes até negativos, optou-se pela utilização da distribuição normal para o ajuste.

Num estudo para a determinação de chuvas de projeto para a bacia do rio Tamanduateí, Gomes et alli (1983) também utilizaram a distribuição normal que, segundo eles, mostrou ser a de melhor ajuste à série de dados.

O tempo de recorrência escolhido nesta dissertação para calcular os pontos de orvalho ajustados foi de 50 anos, que

assim como o de 100 anos tem sido utilizado segundo a WMO (1973).

Os pontos de orvalho ajustados foram calculados para todas as estações meteorológicas selecionadas com exceção da de Paso de Los Libres por que a sua série abrange o período 1900 a 1982, portanto um registro de mais de 50 anos que é considerado suficiente.

Tanto os máximos históricos como os ajustados foram plotados no ponto médio de cada cinco dias. Em ambos os casos foi definida uma envoltória superior como é mostrado nas figuras 11 e 12, no caso da estação de Curitiba.

Ao se comparar as envoltórias observou-se que, de uma maneira geral, as que foram definidas a partir dos pontos de orvalho ajustados são superiores, atingindo em um grande número de estações diferenças de até $1,5^{\circ}\text{K}$, e em alguns casos diferenças excepcionais de 2 a 3°K .

Na maioria das estações as envoltórias estimadas a partir dos pontos de orvalho ajustados são superiores às dos máximos históricos no período de abril a junho e inferiores no período de agosto a novembro, o que é compreensível pela menor e maior estabilidade climática, respectivamente, nestes períodos.

No caso das estações de Guaíra, Foz do Iguaçu e Posadas, ao longo de todo o ano as envoltórias definidas a partir dos pontos de orvalho ajustados são superiores atingindo valores máximos de até 300°K . Foi nessas estações também que se observaram as maiores diferenças, que podem ser explicadas pelas maiores variações das condições climáticas numa mesma

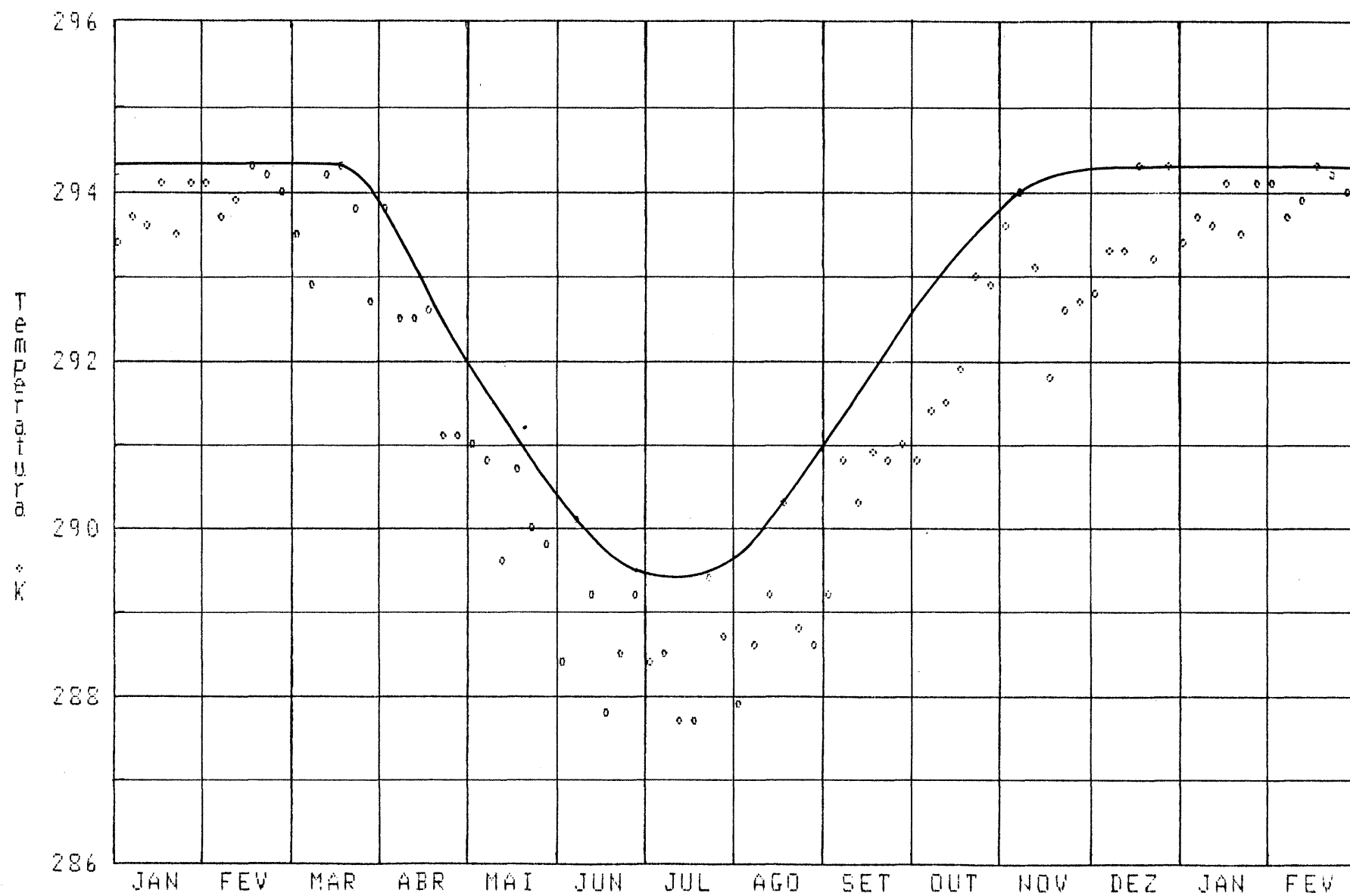


FIGURA 11 - ENVOLTORIA AOS MAXIMOS PONTOS DE ORVALHO DO HISTORICO
ESTACAO DE CURITIBA

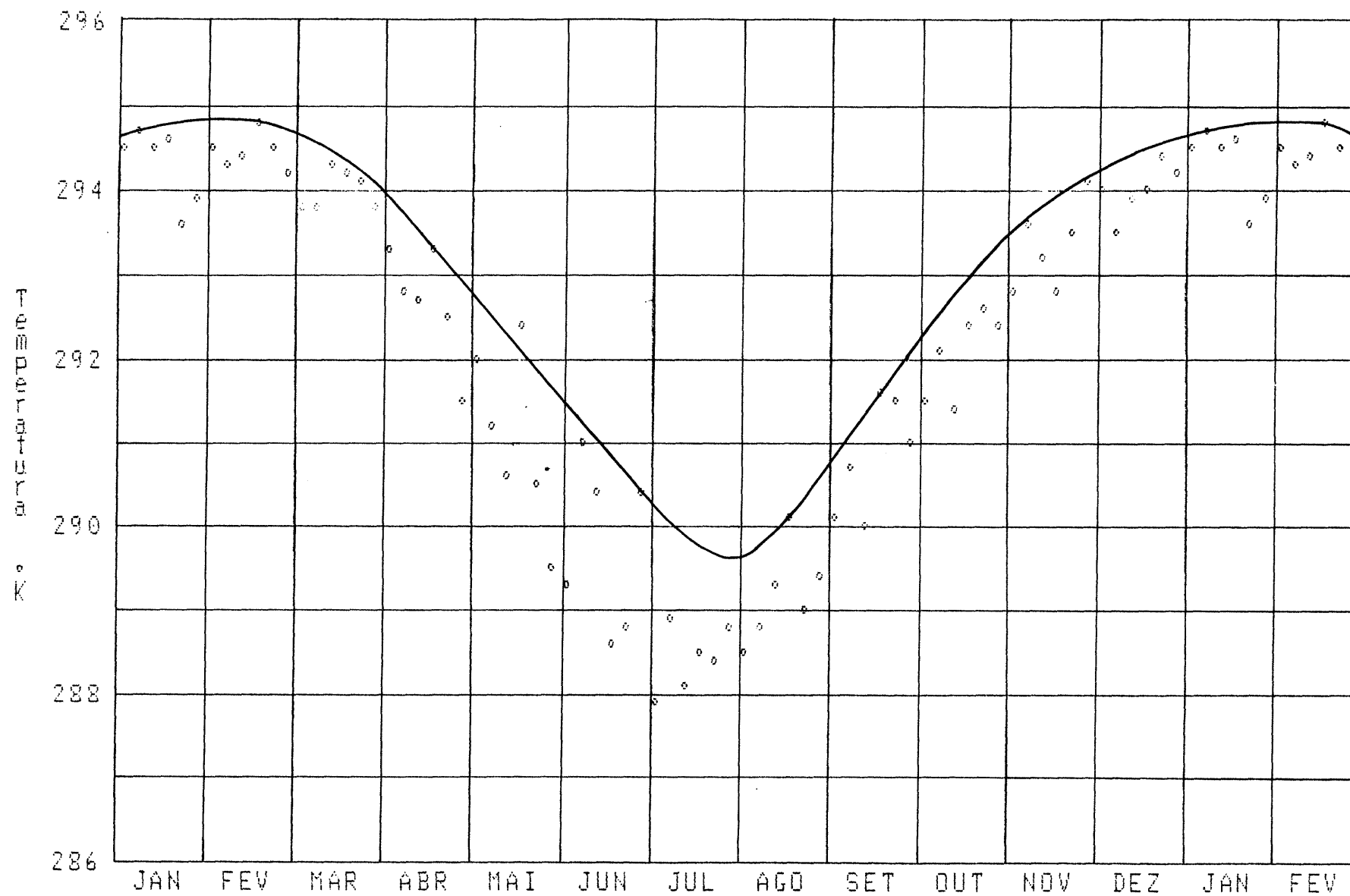


FIGURA 12 - ENVOLTORIA AOS PONTOS DE ORVALHO AJUSTADOS
ESTACAO DE CURITIBA

época do ano em consequência da proximidade das grandes áreas de água do rio Paraná nesses locais.

A capacidade de grandes áreas alagadas de invalidar o ponto de orvalho na superfície como indicador do estado de saturação da atmosfera já foi mencionado pela WMO (1973). Devido a essa possível distorção eliminaram-se naquelas estações todos os valores calculados para o ponto de orvalho superiores a 300°K , que foram observados somente com os pontos de orvalho ajustados, e/ou que pareciam suspeitos pela sua posição em relação aos demais pontos.

Uma vez definidas as envoltórias, foram escolhidas as chuvas para fins de maximização para durações de 1 e 2 dias. Nessa seleção foram escolhidas não somente as máximas chuvas anuais, mas também outras de magnitude similar às das cinco maiores chuvas anuais para aquelas durações no período comum entre o posto pluviométrico e a estação meteorológica.

Para cada um dos eventos escolhidos foram determinados o ponto de orvalho persistente por 12 horas por ocasião do evento e os correspondentes pontos de orvalho máximo histórico e ajustado.

A determinação do ponto de orvalho máximo histórico e o ajustado foi feita selecionando-se ao longo da correspondente envoltória o máximo valor dentro de mais ou menos 15 dias em relação ao evento.

O cálculo da água precipitável durante as chuvas consideradas e para as situações extremas representadas pelo ponto de orvalho máximo histórico ou ajustado, foi efetuado integrando numericamente a equação (3.24), utilizando como lei de variação da pressão e da temperatura com a altitude a

expressão (3.38). Para essa finalidade desenvolveu-se um programa de computador em linguagem FORTRAN (IBM FORTRAN 77), denominado CHEPMPEL, e apresentado no Anexo II.

A pressão na superfície - po em cada posto, quando não conhecida, foi calculada com a equação (3.23), que fornece a variação da pressão com a altitude numa atmosfera padrão (Raudkivi, 1979).

Para verificar a aplicabilidade da equação (3.23) nos postos pluviométricos da região Sul do Brasil foi efetuada uma comparação entre os valores calculados e os medidos nos locais onde se dispunha de ambas as informações, observando-se diferenças de no máximo 1 kPa (10 mb).

Para pressão na tropopausa - pt foi adotado 10 kPa. Os intervalos de discretização da pressão utilizados no cálculo foram de 1 kPa.

Na presente dissertação optou-se pelo cálculo da altura de água precipitável com a equação (3.24) ao invés de determinar diretamente em tabelas ou ábacos. No caso da equação, além de não haver necessidade de redução dos pontos de orvalho para o nível de 100 kPa (1.000 mb), consegue-se determinar a altura de água precipitável com maior precisão. A maioria das tabelas fornece os valores da altura de água precipitável somente em valores inteiros de mm o que pode levar a erros consideráveis na estimativa do tempo de retorno da PMP. Isso ocorre em função da propagação dos erros através de expressões não lineares como as equações (2.14) e (2.15).

Alguns cálculos foram feitos para comparar os resultados obtidos com a equação (3.24) e os valores tabelados apresentados pela World Meteorological Organization (1973).

Salvo raras exceções, os valores calculados com a equação (3.24) arredondados para números inteiros coincidiram com os valores tabelados, não atingindo em nenhum dos casos analisados diferenças superiores a 1 mm na altura de água precipitável. Entretanto, através do coeficiente de maximização, essas pequenas diferenças conduzem a diferenças bem maiores nas chuvas maximizadas.

A massa de água efetivamente precipitável é determinada no programa para cada um dos três modelos de tempestades apresentados pela ELETROBRÁS (1987) através da equação (3.41).

Além das massas de vapor de água, também foram calculados pelo programa os correspondentes coeficientes de maximização. Os coeficientes de maximização foram calculados utilizando o método de maximização local (site specific), não sendo efetuada transposição de chuva de um local para outro.

Os postos, cujos dados foram maximizados neste trabalho, podem ser considerados como localizados em região não orográfica. Em consequência, para a maximização das chuvas, foram calculados somente os fatores de maximização da umidade. Nas proximidades dos postos estudados também não há nenhuma barreira orográfica, portanto para p_0 pode ser adotada a própria pressão na superfície no posto.

O cálculo dos fatores de maximização foi efetuado com a equação (3.42) utilizando tanto a massa total de vapor de água como a massa efetivamente precipitável quando possível, isto é, quando a pressão na superfície - p_0 era superior à pressão no limite superior do nível de entrada de ar úmido convergente - p_2 (ver figura 4).

Esses fatores de maximização foram calculados utilizando os dois critérios: pontos de orvalho máximos históricos e pontos de orvalho ajustados.

Em consequência das maiores ou menores diferenças observadas nas envoltórias definidas pelos dois critérios anteriormente mencionados, maior ou menor era a diferença entre os correspondentes coeficientes de maximização. Em vários casos esses coeficientes coincidiram.

Na determinação dos fatores de maximização calculados a partir da massa total de água precipitável observou-se que estes praticamente não variam para pressões na superfície entre 90 e 100 kPa.

Quanto aos fatores de maximização calculados pelos modelos também observou-se que não há diferenças sensíveis entre os resultados obtidos com os três modelos. Entre os fatores de maximização calculados com modelos ou com a massa total de água precipitável, as diferenças variaram, na maioria dos casos, entre 10 e 25%.

As precipitações maximizadas foram calculadas pelo produto das chuvas pelos seus correspondentes fatores de maximização determinados utilizando os dois critérios (sem ajuste e com ajuste) a partir da massa total de água precipitável.

Adotou-se para a PMP correspondente a cada duração o maior valor entre as chuvas maximizadas desta duração, no respectivo posto pluviométrico. Nas tabelas 4 e 5 (páginas 69 e 70) são apresentados esses valores da PMP para durações de 1 e 2 dias, respectivamente.

Uma das maneiras de avaliar a precisão da estimativa da PMP é comparar a PMP calculada com os valores observados no local (WMO, 1973). No caso do posto de São Luiz Gonzaga a PMP obtida pelo método hidrometeorológico é inferior à máxima chuva observada tanto para 1 dia como para 2 dias. Essas máximas históricas não puderam ser maximizadas porque não se conseguiram os dados de temperatura correspondentes. Por outro lado essas máximas históricas podem estar incorretas.

4.2.2 Método estatístico

Hershfield (1965), com base em dados de 2.600 estações nos Estados Unidos da América, recomenda um fator de recorrência em torno de 15 para a faixa de precipitações médias das máximas dos postos considerados nesta dissertação. Esse fator leva a resultados valores bastante superiores à PMP calculada pelo método hidrometeorológico. Por essa razão, decidiu-se fazer uma investigação sobre o valor de K mais adequado para a região Sul do Brasil, usando apenas dados de postos nesta região.

Repetindo o procedimento de Hershfield, foram avaliados os valores K para um total de 130 postos compreendendo um total de 4.510 anos de observação, não se verificando em nenhum caso um coeficiente próximo ao valor recomendado por Hershfield.

Nas figuras 13 e 14 são apresentados graficamente os valores de K para durações de 1 e de 2 dias, respectivamente. A partir desses gráficos foi definida uma envoltória superior constante e igual a 9, em ambos os casos, na faixa das precipitações médias máximas analisadas.

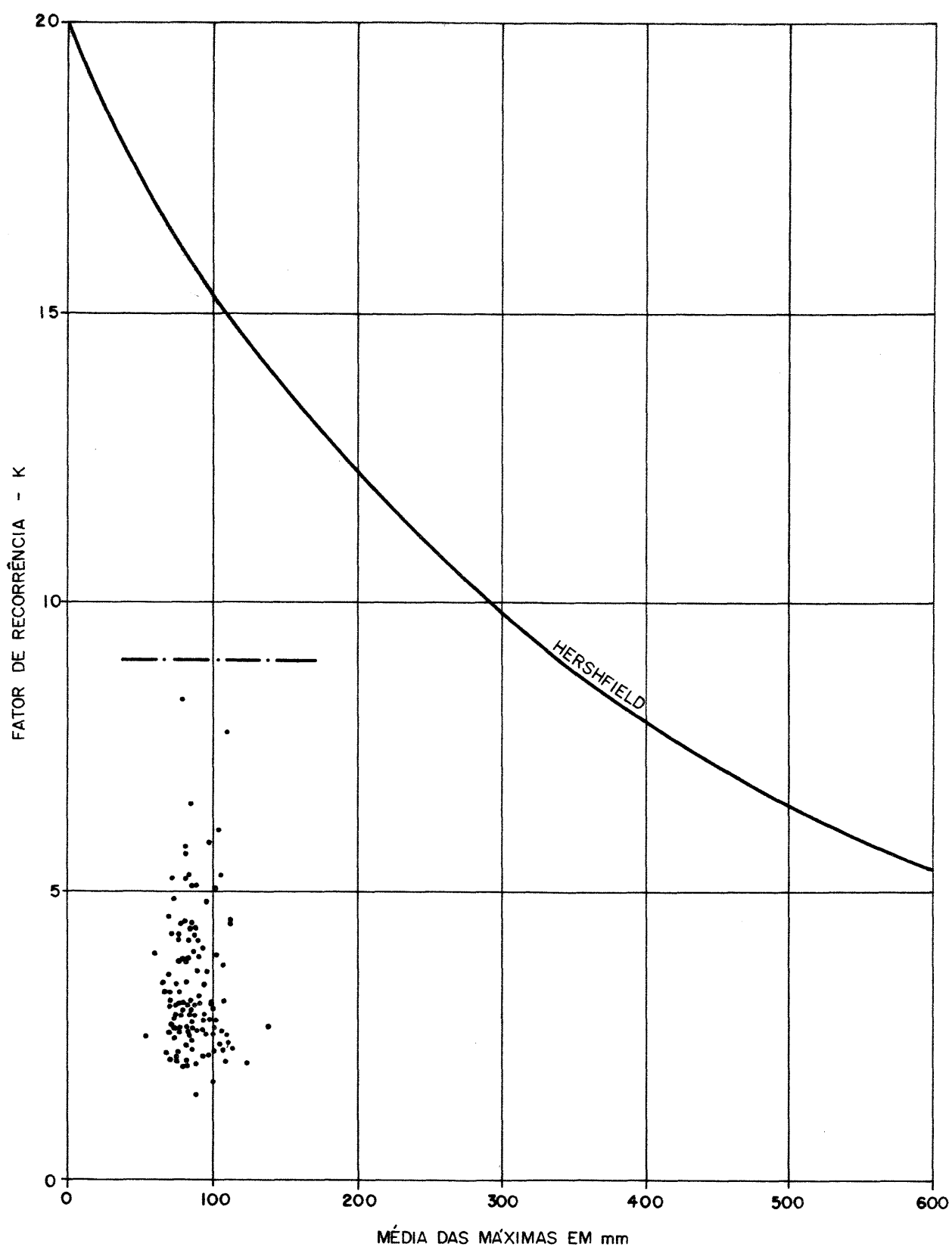


FIGURA 13 - FATOR DE RECORRÊNCIA PARA 1 DIA EM FUNÇÃO DA MÉDIA DAS SÉRIES ANUAIS PARA A REGIÃO SUL DO BRASIL

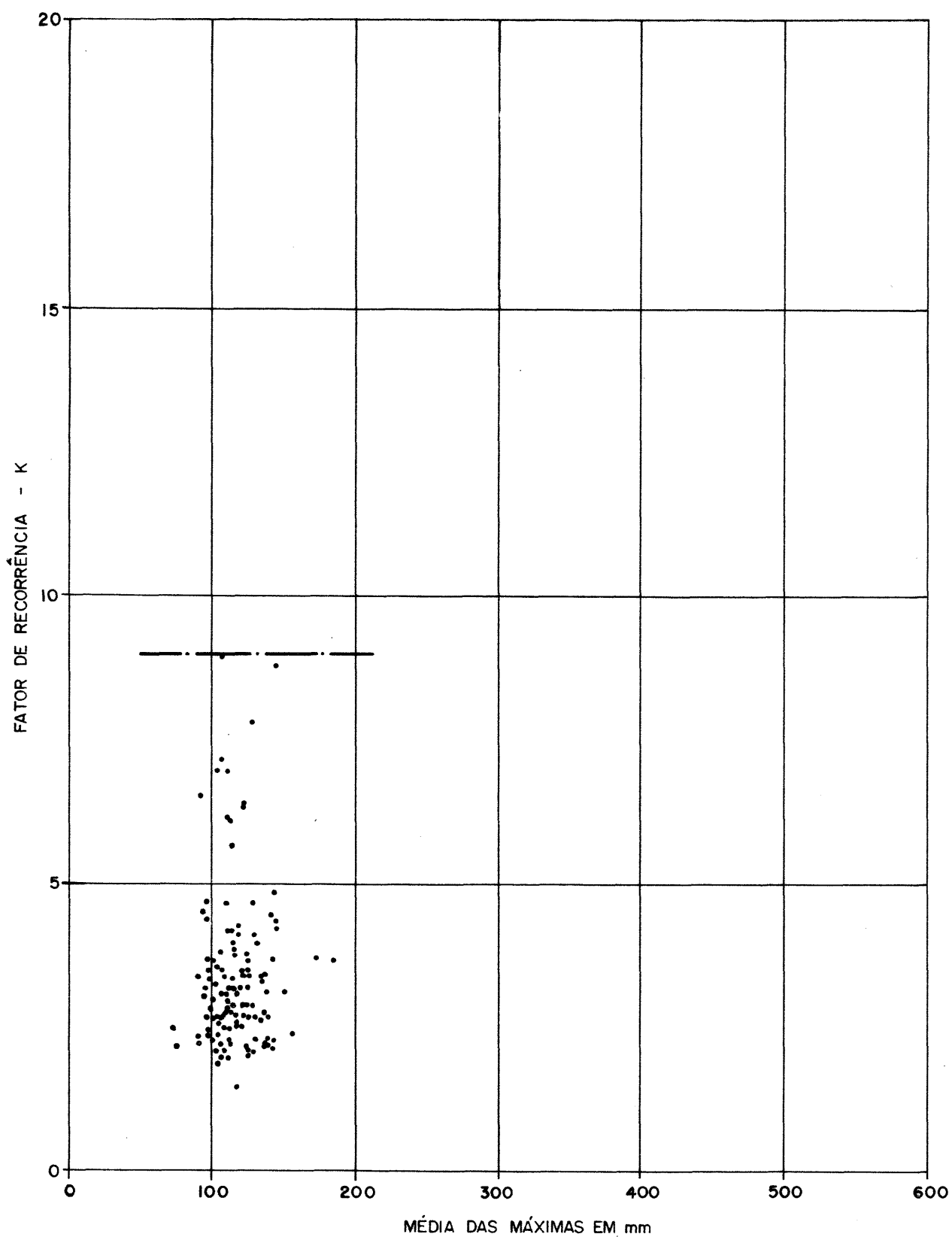


FIGURA 14 - FATOR DE RECORRÊNCIA PARA 2 DIAS EM FUNÇÃO DA MÉDIA DAS SÉRIES ANUAIS PARA A REGIÃO SUL DO BRASIL

Na figura 13, além dos resultados obtidos desta pesquisa na região Sul do Brasil, também é mostrada a envoltória definida por Hershfield (1965).

Nesta pesquisa também foram observadas que as variações do fator de recorrência K são aleatórias, não se verificando nenhuma tendência geográfica.

Os passos seguidos para o cálculo da PMP pelo método Hershfield foram basicamente os apresentados na seção 3.2, utilizando as figuras 7 e 8 para corrigir a média e o desvio padrão devido à presença eventual de um valor atípico. Isso é medido pela relação do parâmetro calculado com todos os n elementos e com os $n-1$ elementos, excluindo o valor máximo. Além dessas correções ainda foi considerado o tamanho da série através do fator de ajuste da figura 9. Para o fator de recorrência, entretanto foi utilizado o valor 9.

Nas tabelas 4 e 5 (páginas 69 e 70) são apresentados os valores da PMP pelo método estatístico para 1 e 2 dias de duração respectivamente, seguindo a metodologia aqui exposta.

4.3 DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RECORRÊNCIA ASSOCIADO À PMP

O tempo de recorrência associado à PMP foi calculado nesta dissertação utilizando a equação geral de frequência (2.16).

Para cada uma das precipitações máximas prováveis de 1 e de 2 dias em cada posto foram calculados os correspondentes fatores de recorrência - K_T , e, a partir destes, os tempos de recorrência associados.

Como já foi mostrado no capítulo 2, a relação entre os fatores de recorrência e os tempos de retorno varia de

distribuição para distribuição, no caso da distribuição exponencial é dada por:

$$K_T = \ln T - 1 \quad (4.1)$$

e para a distribuição de Gumbel e períodos de recorrência elevados vale:

$$K_T = 0,7797 \ln T - 0,45 \quad (4.2)$$

Nas tabelas 4 e 5 (páginas 69 e 70) são apresentados alguns parâmetros das séries (média e desvio padrão), a máxima chuva histórica, o coeficiente de assimetria das séries, a chuva dacamilenar, as precipitações máximas prováveis e os tempos de recorrência associados.

A determinação do tempo de recorrência associado à PMP, em cada posto, foi feita a partir do fator de recorrência calculado com a equação (4.1) ou a equação (4.2), respectivamente nos casos em que na análise de frequência foi utilizada a distribuição de Gumbel (coeficiente de assimetria menor que 1,5) ou a distribuição exponencial (coeficiente de assimetria maior ou igual a 1,5).

Como se pode observar nas tabelas 4 e 5 há uma grande variação nos tempos de recorrência associados às precipitações máximas prováveis, inclusive em um mesmo posto, devido ao uso de métodos e critérios diferentes.

Nas figuras 15 a 18 é mostrada graficamente a variação do tempo de recorrência com a latitude no caso das precipitações máximas prováveis obtidas pelo método

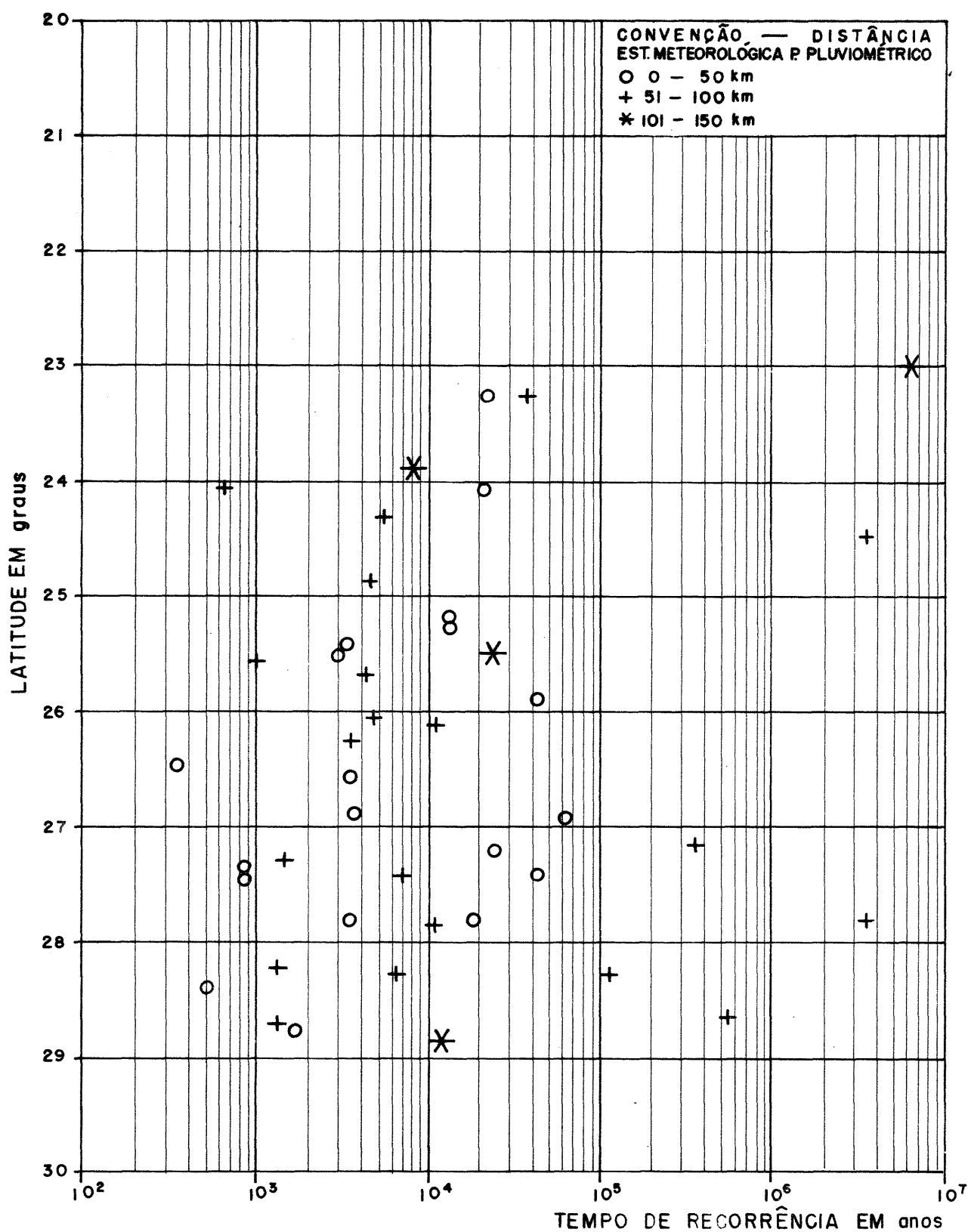


FIGURA 15 - VARIAÇÃO DO TEMPO DE RECORRÊNCIA COM A LATITUDE PARA PMP DE 1 DIA - PONTOS DE ORVALHO MÁXIMOS HISTÓRICOS.

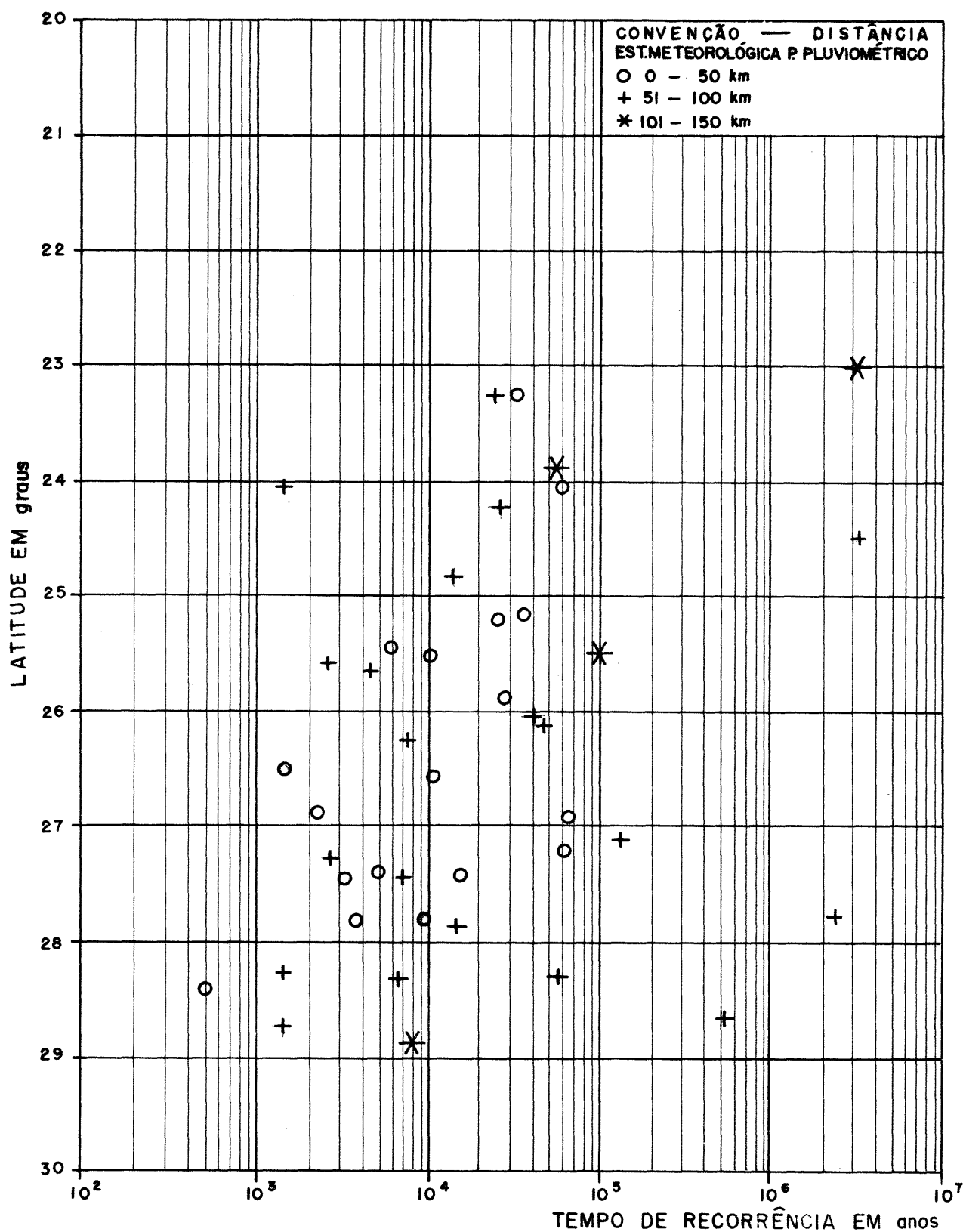


FIGURA 16 - VARIAÇÃO DO TEMPO DE RECORRÊNCIA COM A LATITUDE PARA PMP DE 1 DIA - PONTOS DE ORVALHO AJUSTADOS.

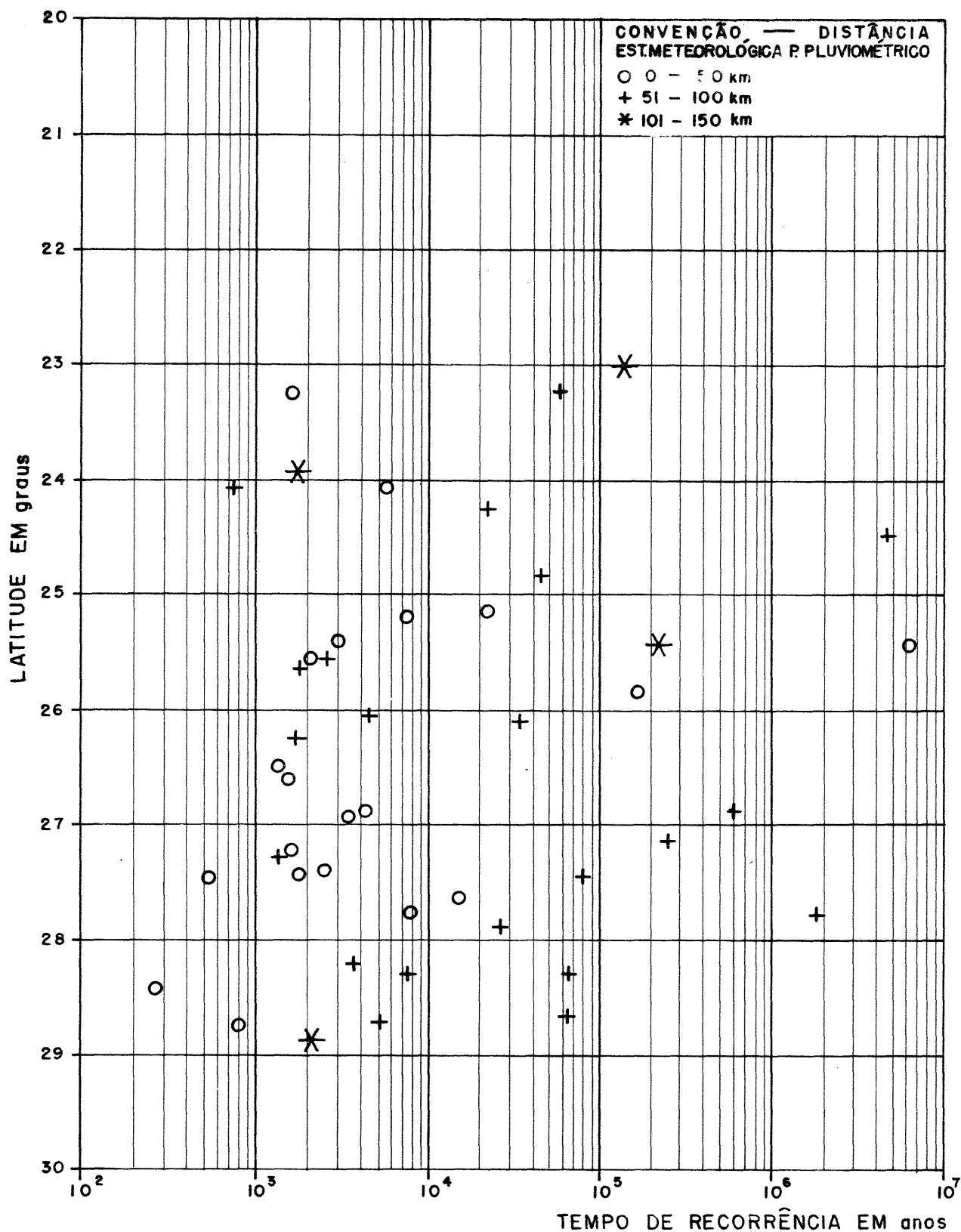


FIGURA 17 - VARIAÇÃO DO TEMPO DE RECORRÊNCIA COM A LATITUDE PARA PMP DE 2 DIAS - PONTOS DE ORVALHO MÁXIMOS HISTÓRICOS.

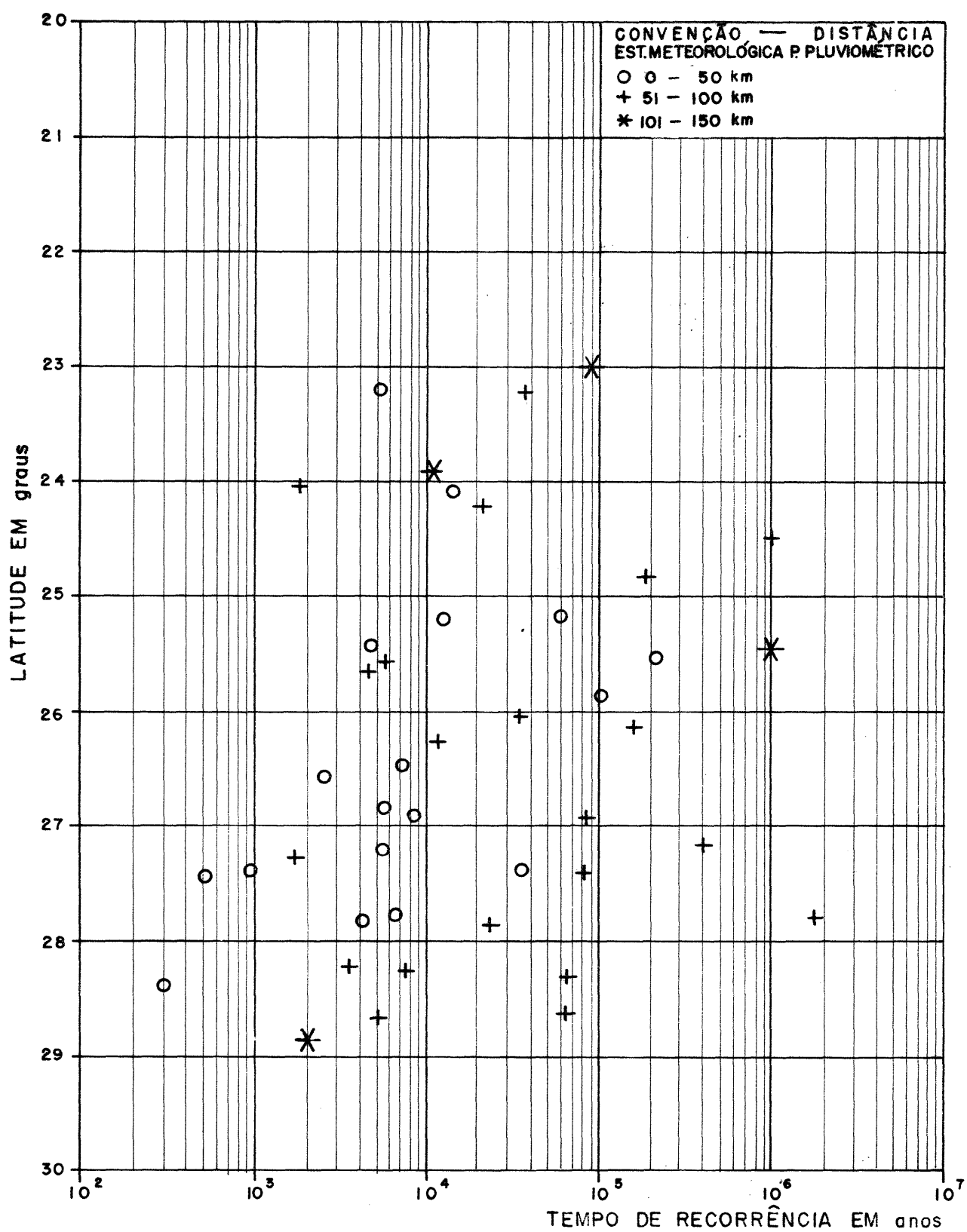


FIGURA 18 - VARIAÇÃO DO TEMPO DE RECORRÊNCIA COM A LATITUDE PARA PMP DE 2 DIAS - PONTOS DE ORVALHO AJUSTADOS.

hidrometeorológico utilizando os dois critérios de maximização. Nessas figuras está sendo utilizada uma convenção gráfica para distinguir postos pluviométricos a diferentes distâncias da estação meteorológica associada.

Analisando-se aquelas figuras verifica-se que aparentemente não há uma influência da latitude ao menos na faixa dos 23°S a 29°S nos tempos de recorrência associados à PMP, e portanto no risco associado. Observa-se isso sim, uma grande concentração entre os tempos de recorrências de 1.000 e 100.000, onde se situam entre 71% e 82% do total de postos.

Observa-se ainda que a distância entre posto pluviométrico e estação meteorológica não influi no tempo de recorrência da PMP pelo menos dentro dos limites utilizados no presente estudo (até 150 km).

Também nos tempos de recorrência calculados para as precipitações máximas prováveis obtidas pelo método estatístico não se observou nenhuma evidência de influência da latitude (ver tabelas 4 e 5).

Além da latitude não se pôde detectar nenhuma tendência geográfica definida para a variação do tempo de recorrência associado à PMP, o que foi verificado plotando-se no mapa da região os tempos de recorrência agrupados em classes por meio de símbolos apropriados. A figura 19 mostra o resultado para chuvas de 1 dia e pontos de orvalho ajustados.

Caracterizado o caráter aleatório das variações do tempo de recorrência, plotaram-se as frequências relativas acumuladas do tempo de recorrência em papel log-probabilístico sendo o resultado mostrado nas figuras 20 e 21.

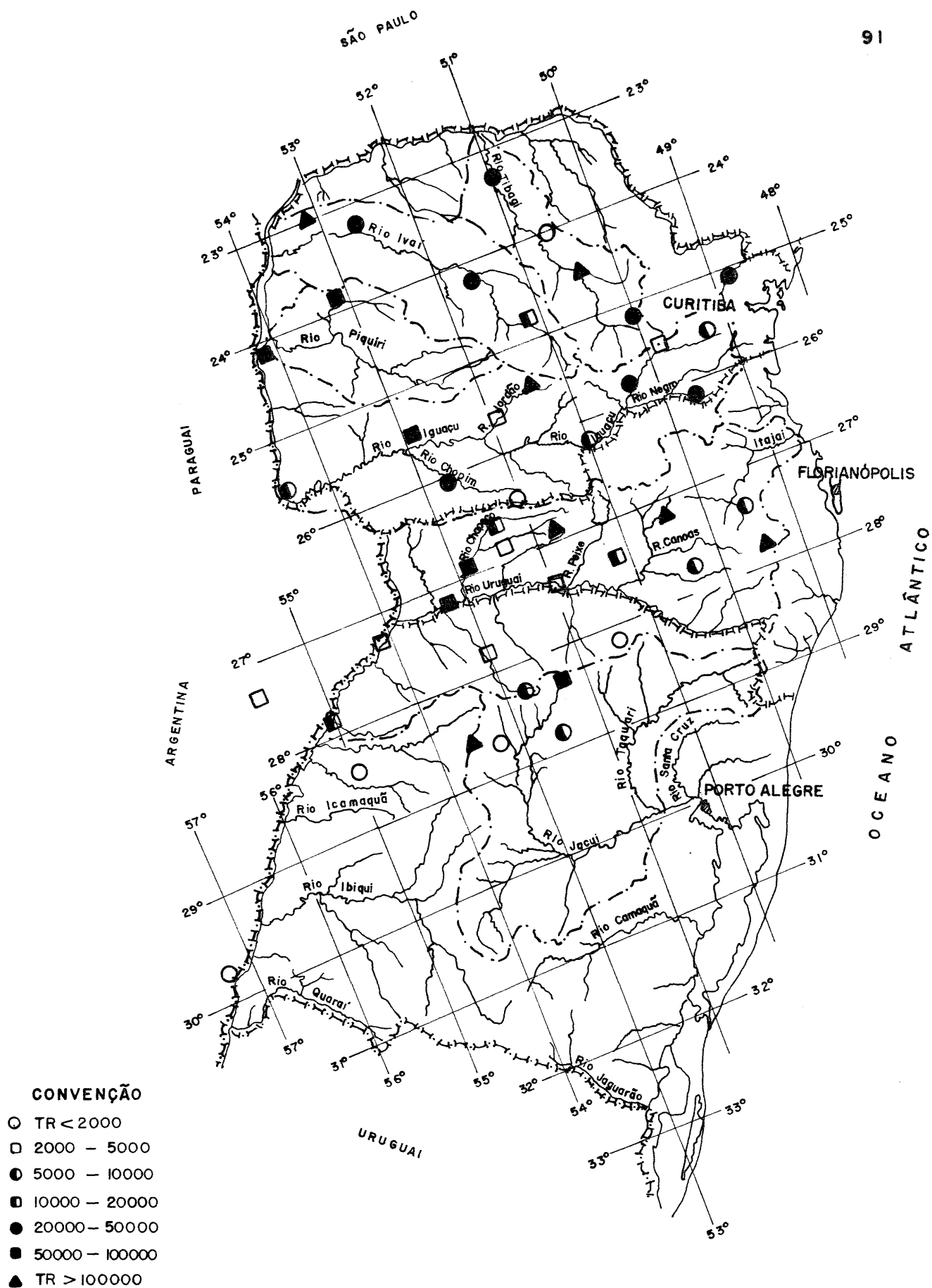


FIGURA 19 - DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS TEMPOS DE RECORRÊNCIA ASSOCIADOS À PMP NA REGIÃO SUL DO BRASIL PARA 1 DIA
PONTOS DE ORVALHO AJUSTADOS

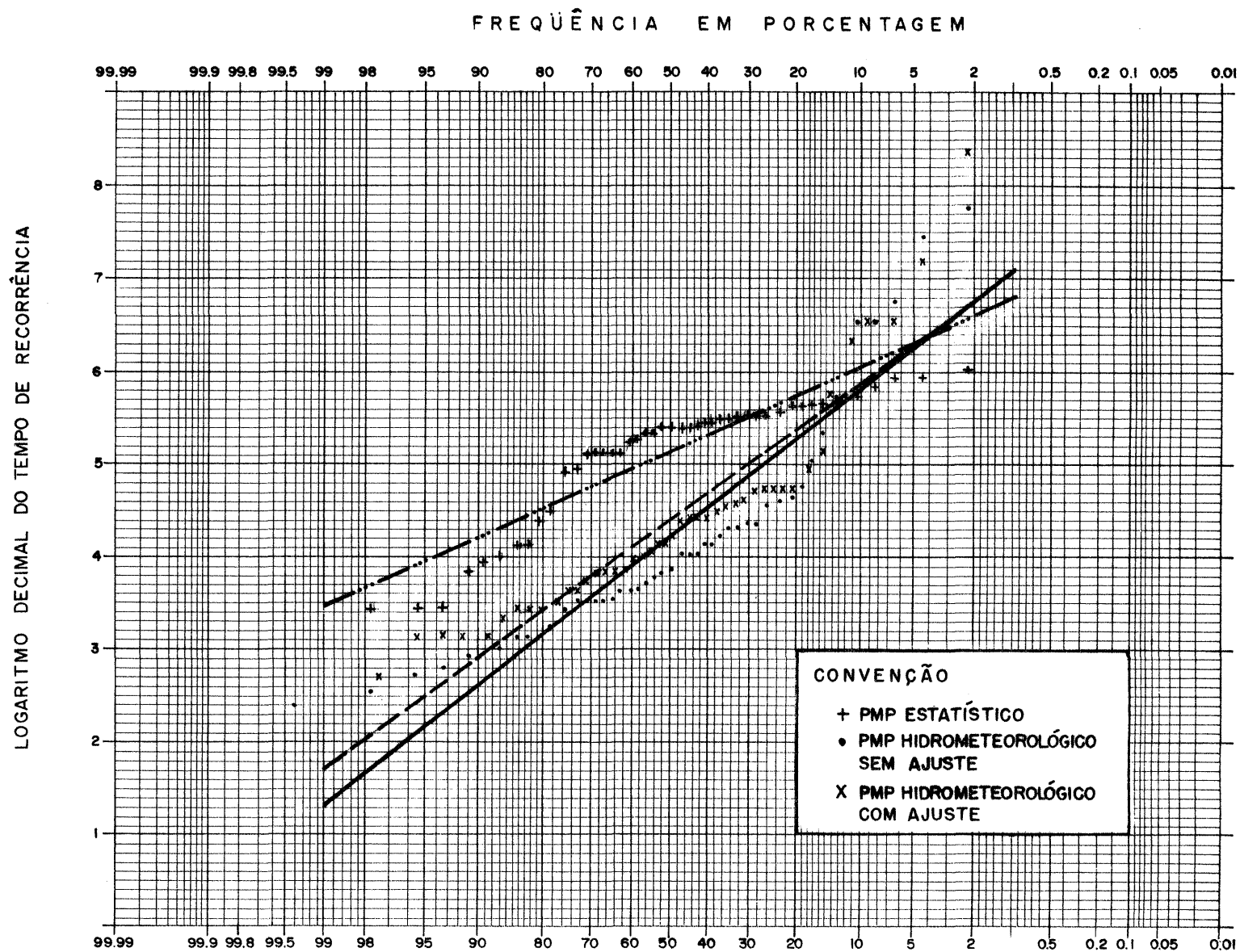


FIGURA 20 - VARIAÇÃO DAS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DOS LOGARITMOS DOS TEMPOS DE RECORRÊNCIA COM AJUSTE DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL - 1 DIA

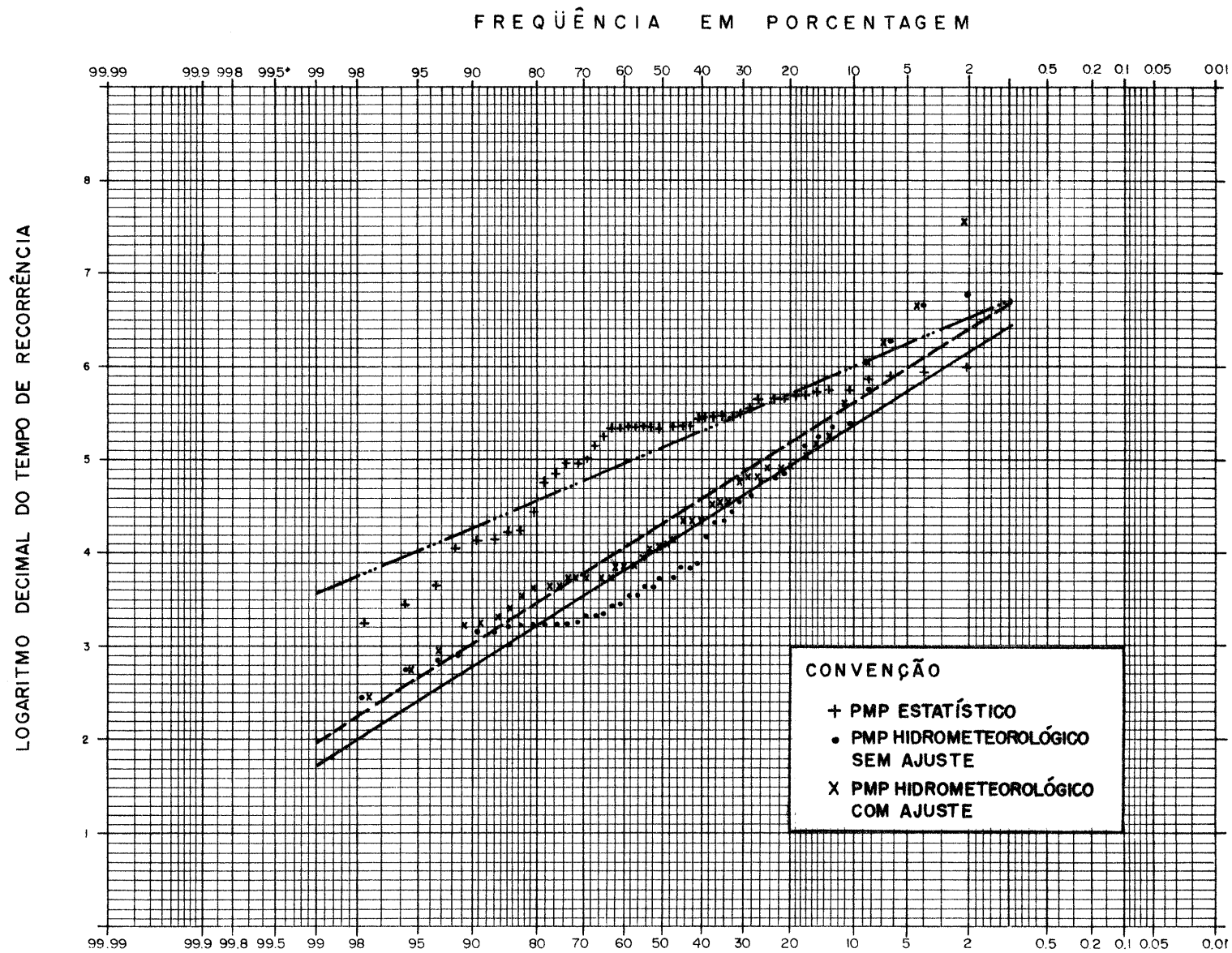


FIGURA 21 - VARIAÇÃO DAS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DOS LOGARITMOS DOS TEMPOS DE RECORRÊNCIA COM AJUSTE DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL - 2 DIAS

Optou-se pela utilização da escala logarítmica para o tempo de recorrência por duas razões básicas:

(i) o fator de recorrência é função linear do logarítmo do tempo de recorrência;

(ii) essa escala diminui a influência de extremos isolados.

Como se pode verificar naquelas figuras os pontos se distribuem de forma bastante razoável em torno da reta que corresponde à hipótese da distribuição gaussiana dos logarítmos dos períodos de retorno.

O valor esperado do tempo de recorrência associados às precipitações máximas prováveis em cada método é mostrado na tabela 6.

TABELA 6. VALOR ESPERADO DOS TEMPOS DE RECORRÊNCIA

MÉTODO	CRITÉRIO	1 DIA	2 DIAS
HIDROMETEOROLÓGICO	SEM AJUSTE	16.000	11.000
HIDROMETEOROLÓGICO	COM AJUSTE	26.000	21.000
ESTATÍSTICO	-	140.000	140.000

Entretanto vários autores (Prado Benavente, 1971; Snedecor & Cochran, 1980; Moreira, 1982), devido à acentuada influência de valores extremos sobre a média, recomendam usar como medida de tendência central a mediana, representada pelo ponto onde a função de distribuição de frequência assume o valor 1/2. A tabela 7 mostra a mediana dos tempos de recorrência para os vários métodos e critérios.

TABELA 7. MEDIANA DOS TEMPOS DE RECORRÊNCIA

MÉTODO	CRITÉRIO	1 DIA	2 DIAS
HIDROMETEOROLÓGICO	SEM AJUSTE	8.000	5.200
HIDROMETEOROLÓGICO	COM AJUSTE	15.000	13.000
ESTATÍSTICO	-	270.000	230.000

Verifica-se que a mediana dos tempos de recorrência no caso do método hidrometeorológico, varia de 5.200 a 15.000 anos e se fosse necessário reduzir os quatro casos a um único número o valor de 10.000 anos seria bastante razoável.

Por outro lado ainda vale a pena frisar que, como consequência das distribuições de cauda exponencial, no caso de eventos muito raros, pequenas diferenças na precipitação (mm de chuva) correspondem a grandes variações no tempo de retorno. Tipicamente um aumento de 200 mm para 210 mm na precipitação acarreta uma passagem de 3.400 anos para 12.000 anos no tempo de retorno (valores correspondente à estação de Curitiba-Pl3).

Nas figuras 22 a 25 são mostrados gráficos onde as precipitações máximas prováveis (método hidrometeorológico) estão plotadas contra as correspondentes precipitações decamilenares. Como se pode observar nessas figuras, 90% dos pontos estão dentro de uma faixa de $\pm 31\%$, $\pm 30\%$, $\pm 24\%$ e $\pm 27\%$ em relação à chuva decamilenar, amplitudes que podem ser consideradas bastante satisfatórias para análise de eventos tão raros.

As figuras 22 a 25, além de mostrarem que a dispersão em termos de altura de chuva é bem menor do que em termos de tempo

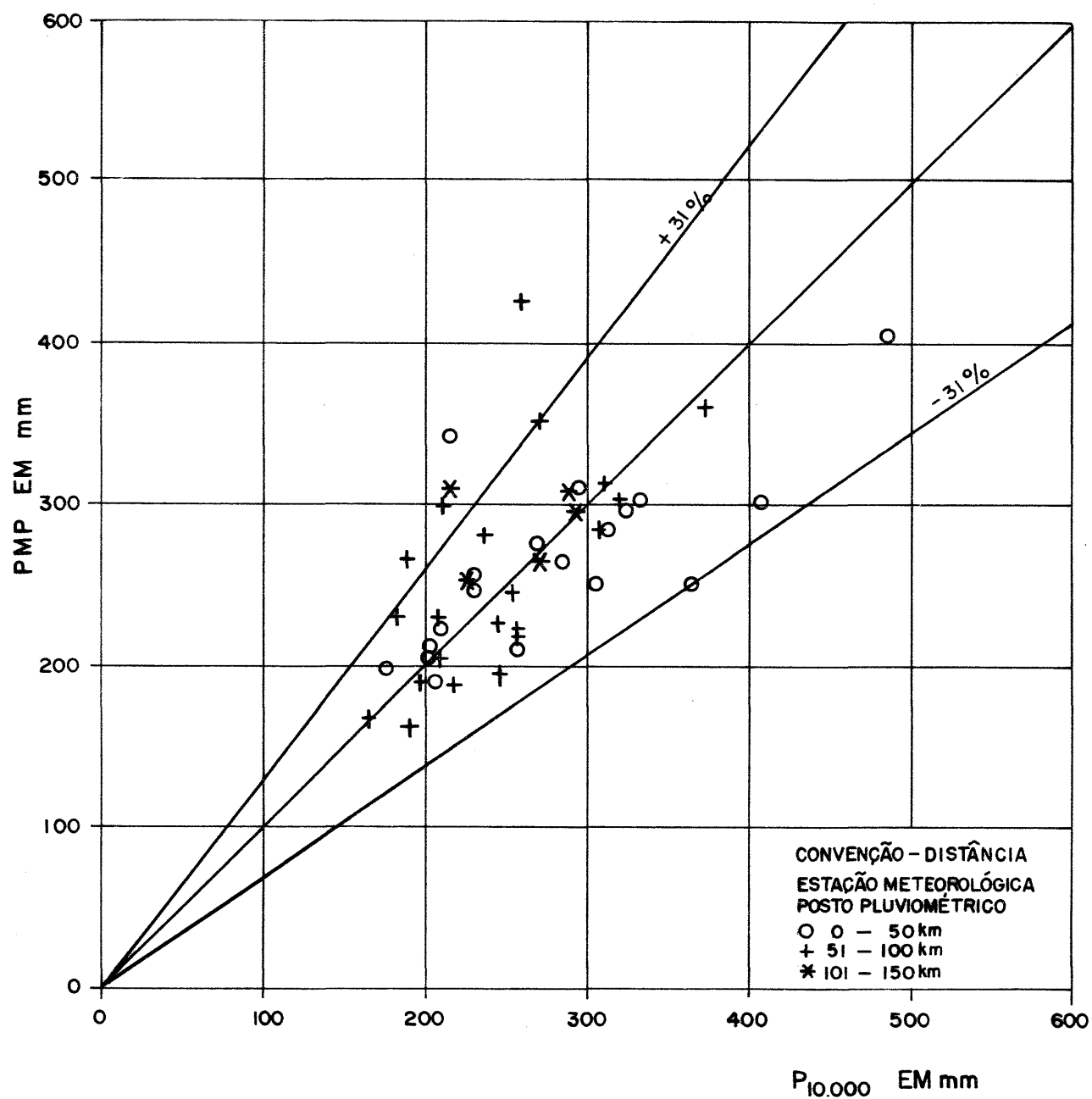


FIGURA 22 - PMP DE 1 DIA EM FUNÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DECAMILENAR
 - PONTOS DE ORVALHO MÁXIMOS HISTÓRICOS

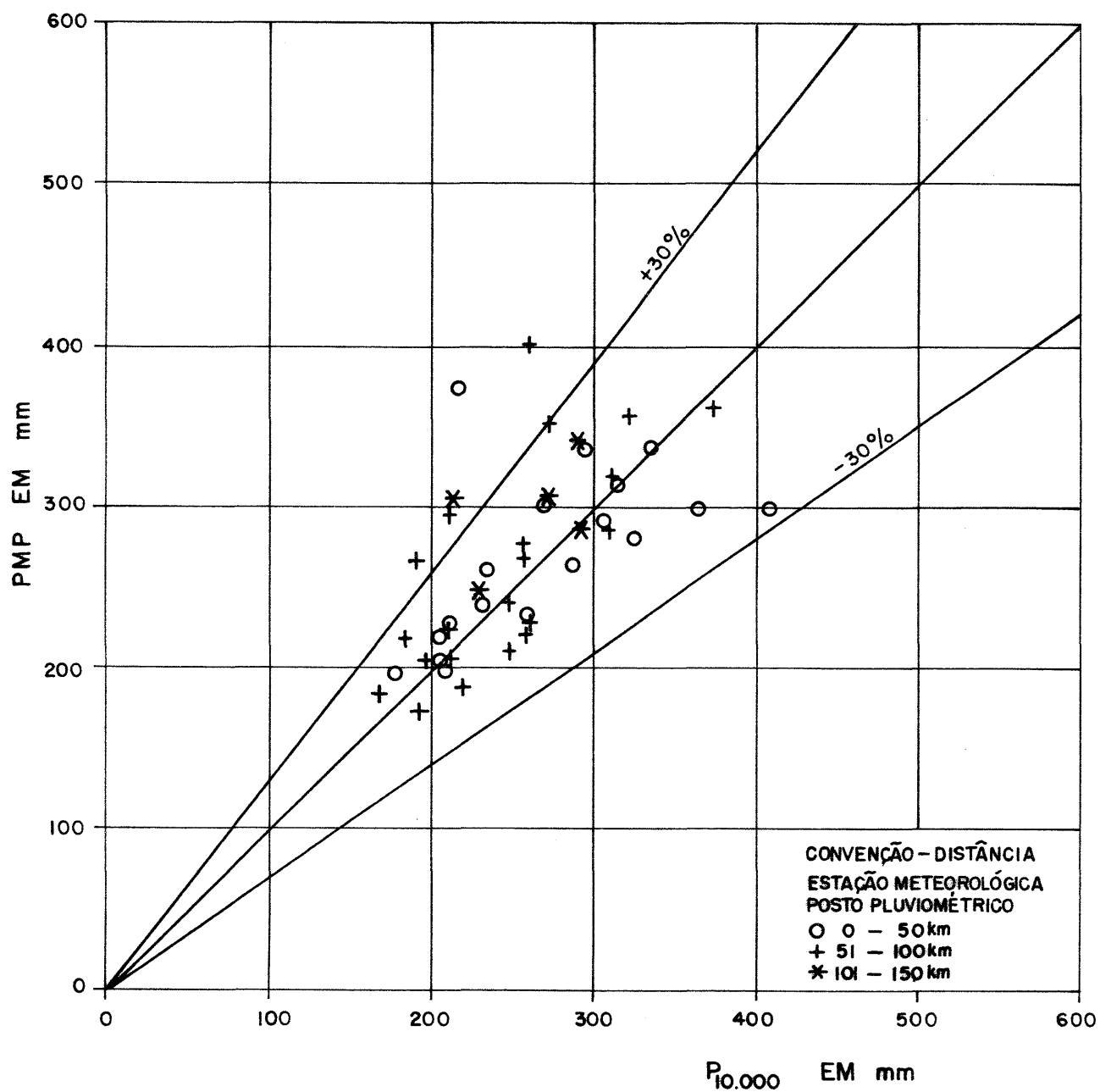


FIGURA 23 - PMP DE 1 DIA EM FUNÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DECAMILENAR
 - PONTOS DE ORVALHO AJUSTADOS

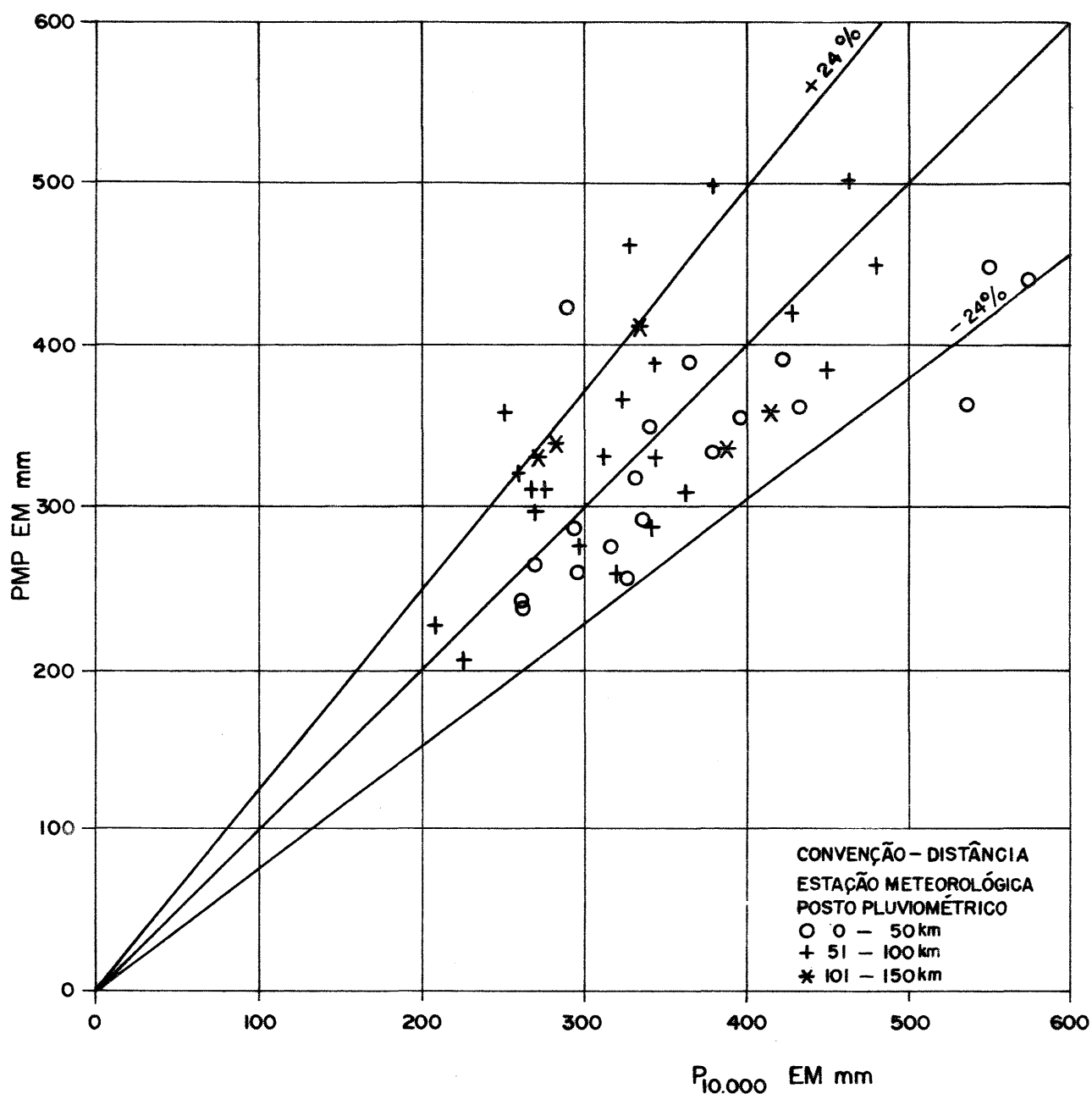


FIGURA 24 - PMP DE 2 DIAS EM FUNÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DECAMILENAR - PONTOS DE ORVALHO MÁXIMOS HISTÓRICOS

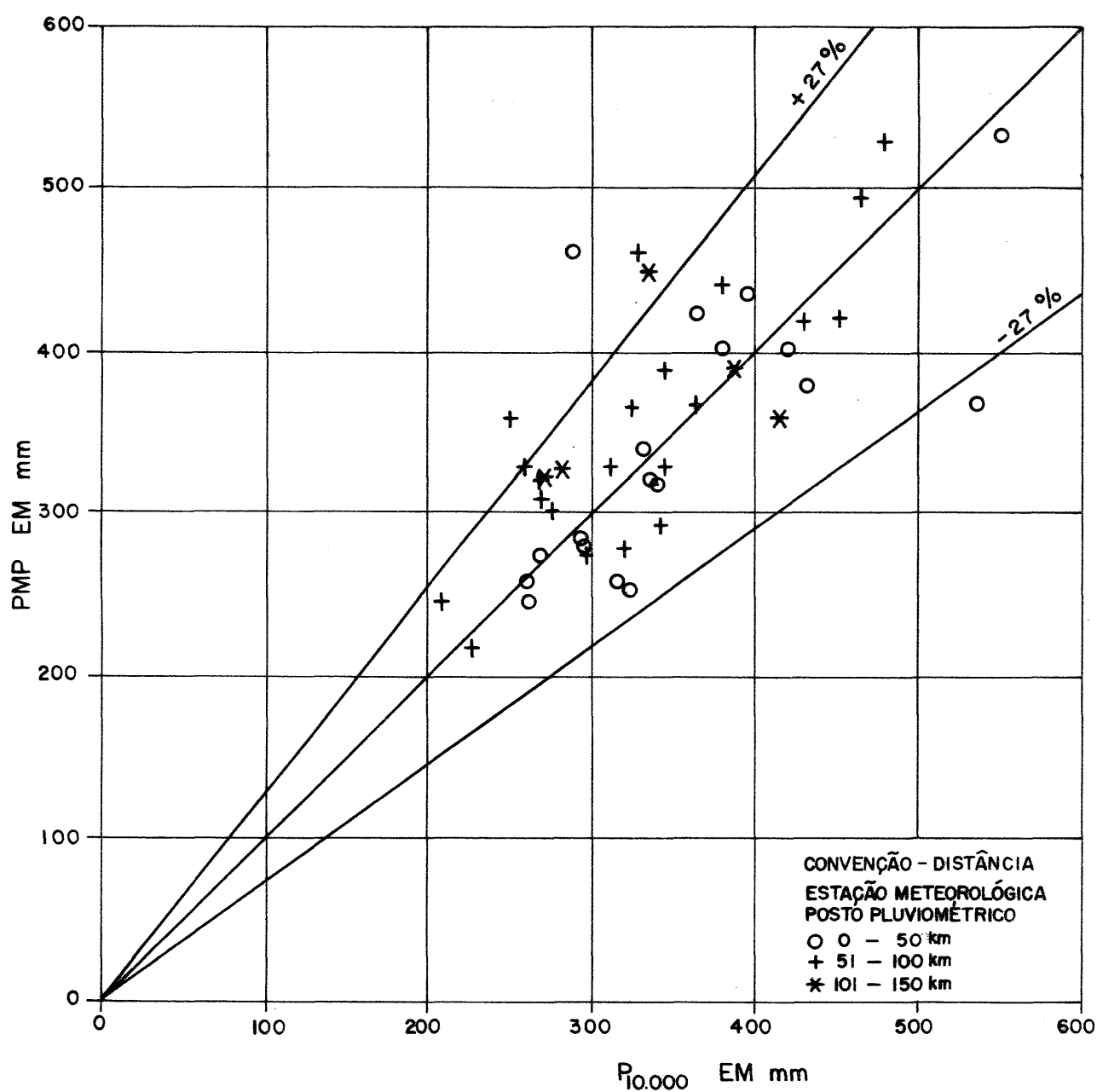


FIGURA 25 - PMP DE 2 DIAS EM FUNÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DECAMILENAR - PONTOS DE ORVALHO AJUSTADOS

de recorrência, dão uma idéia da variação do valor da PMP na região Sul do Brasil.

As PMP obtidas pelo método estatístico resultam bastante mais conservadoras com períodos de retorno superiores a 100.000 anos. Neste caso a dispersão dos resultados individuais nos vários postos é muito menor do que para o método hidrometeorológico.

Devido a isso as diferenças entre as alturas de PMP e uma precipitação da ordem de 200.000 anos certamente se apresentariam ainda menores que no caso hidrometeorológico.

Entretanto o fator preocupante em relação à PMP de um modo geral, que se tornou evidente na presente pesquisa, é a possibilidade de se obter uma PMP excessivamente baixa, principalmente quando apenas 1 ou 2 estações são usadas no estudo. Isso poderia ser evitado pelo emprego de uma rede extensa de estações associada a técnicas de regionalização ou pela transposição de tempestades a partir de um número grande de outras estações.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos nesta dissertação pode-se apresentar algumas conclusões importantes no que tange à probabilidade associada à precipitação máxima provável:

(i) Na região Sul do Brasil, entre os paralelos 23°S e 29°S o tempo de recorrência da PMP apresenta-se bastante variado, tanto entre as estações analisadas como também em função do método usado (hidrometeorológico com ponto de orvalho máximo histórico; hidrometeorológico com ajuste do ponto de orvalho e estatístico). No caso do método hidrometeorológico, as recorrências de chuvas de 1 ou 2 dias de duração são diferentes, apresentando em geral a chuva de 1 dia uma recorrência maior.

(ii) A variação espacial dos tempos de recorrência entre estações não obedece aparentemente a nenhum padrão pré-estabelecido, seja em função da latitude, longitude ou altitude, seja em função de bacias hidrográficas ou certos acidentes geográficos, concluindo-se que essa variação é de caráter essencialmente aleatório.

(iii) O tempo de recorrência da PMP calculada pelo processo hidrometeorológico com ponto de orvalho máximo histórico resulta em média igual a 16.000 e 11.000 anos para 1 dia e 2 dias, respectivamente.

(iv) Usando-se um ajuste com a distribuição de Gauss aos pontos de orvalho e extrapolando-se os valores históricos para uma probabilidade acumulada de 98%, obtem-se em média um período de retorno de 26.000 e 21.000 anos para um e dois dias, respectivamente. Para uma probabilidade de 99%, certamente a recorrência será ainda maior. Porém é de se considerar que, sendo a distribuição normal ilimitada e a variação do ponto de orvalho tipicamente limitada, resta indefinida a questão sobre a probabilidade limite para a extrapolação dos valores históricos.

(v) A dispersão dos valores do tempo de recorrência obtidos individualmente nas estações é bastante grande, de modo que tanto valores inferiores a 1.000 anos como superiores a 100.000 anos são comuns. Essa dispersão, entretanto pode também ser fruto de erros amostrais na estimativa estatística do tempo de retorno. Fill et alli (1987), ao analisar o comportamento de estimativas de vazões extremas, verificaram diferenças da ordem de 50% para a vazão de 10.000 anos no rio Iguaçu, para a distribuição log-normal de 2 parâmetros, devido à eventual não representatividade da amostra disponível.

(vi) Para as PMP calculadas segundo o método estatístico de Hershfield obtém-se tempos de retorno médios substancialmente mais altos, cerca de 140.000 anos, e uma dispersão consideravelmente menor. O fator de recorrência para a região Sul do Brasil resultou em 9 tanto para chuvas de 1 dias como de 2 dias.

(vii) Se for adotado como valor representativo da recorrência da PMP a mediana dos valores obtidos nas várias

estações, o que tem a vantagem de reduzir a influência dos pontos extremos, observam-se para o método hidrometeorológico valores bastante próximos de 10.000 anos. O critério ajustado fornece, como era de se esperar, recorrências um pouco maiores. Para o método de Hershfield resulta uma mediana da ordem de 250.000 anos.

(viii) Para a PMP calculada por processo hidrometeorológico, os afastamentos do valor da PMP (altura de chuva) em relação à chuva decamilenar situam-se, para 90% das estações analisadas, entre ± 24 e $\pm 31\%$, que pode ser considerada uma diferença bastante razoável para estimativas de eventos tão raros.

A partir dessas conclusões pode-se ainda apresentar algumas recomendações, seja para estudos futuros, seja para aplicações práticas imediatas.

Para estudos futuros ressalta-se:

(i) Estender a presente avaliação para outras regiões do Brasil, mormente mais próximas ao equador e onde os mecanismos de formação de chuvas intensas são distintos.

(ii) Realizar pesquisa sobre a sensibilidade da PMP com a amostra de dados disponíveis.

(iii) Efetuar uma investigação sobre a distribuição mais adequada para ajustar aos pontos de orvalho máximos.

(iv) Desenvolver uma análise da abordagem alternativa proposta por Molion, maximizando a eficiência da chuva, a convergência do ar úmido e o teor de umidade.

Entre as recomendações para a estimativa prática da PMP com a finalidade de dimensionar órgãos de descarga de obras hidráulicas cabe sugerir:

(i) Utilizar a PMP sempre em conjunto com uma análise de frequência de chuvas intensas para verificação, pois nem sempre a PMP resulta no critério de projeto mais conservador.

(ii) Usar preferencialmente as PMP obtidas em uma rede grande de estações, extrapolando a área de estudo e estimando-se a PMP sobre a área de interesse mediante técnicas de regionalização.

(iii) Usar em quantidade maior do que tem sido usada classicamente a transposição de tempestades originárias de estações diferentes.

Finalmente, cabem algumas palavras sobre as dificuldades operacionais do cálculo da PMP, principalmente no que tange à coleta de dados.

Poucas entidades que operam estações meteorológicas ou mesmo empresas ou centros de pesquisa que utilizam essas informações possuem um banco de dados meteorológicos, para facilitar a sua coleta e utilização. Normalmente os dados estão guardados em alguns centros ou distritos das entidades operadoras que apresentam uma série de restrições para seu fornecimento aos usuários. Essas restrições, ora visam arrecadar recursos (venda de informações), ora baseiam-se em conceitos duvidosos de confidencialidade, ou decorrem das dificuldades da não disponibilidade de um banco de dados e da falta de mão de obra para a busca em arquivos antigos e obtenção de cópias.

Apesar dessas dificuldades já surge uma tendência no sentido de melhorar o fornecimento dos dados através da troca de serviços entre as entidades operadoras e as empresas

usuárias, o que está possibilitando a formação conjunta de um banco de dados regional nas áreas de interesse em comum. Essa tendência foi bastante significativa no Estado do Paraná nos últimos 5 anos.

Em função de problemas orçamentários crônicos algumas entidades vem encontrando também dificuldades em operar as suas estações meteorológicas, deixando as estações sem manutenção. Muitas vezes ocorrem sequências de anos inteiros sem o registro de alguns aparelhos e às vezes com ausência do próprio observador.

Investir na formação e atualização de bancos de dados observados, facilitar o acesso aos usuários, e garantir a obtenção de dados confiáveis é de fundamental importância, pois por mais que se invista no desenvolvimento de novas metodologias, a qualidade de um estudo nunca será superior à dos dados básicos utilizados: "É preciso medir o presente para poder prever para o futuro".

ANEXO 1: PROGRAMA CHEORVAL

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

C-----
C*****     ESTE PROGRAMA TEM POR FIM CALCULAR OS PONTOS DE ORVALHO      *
C*****     EM UMA BACIA, A PARTIR DAS TEMPERATURAS DOS TERMOMETROS      *
C*****     DE BULBO SECO E UMIDO OU UMIDADES RELATIVAS DE (NP) POS      *
C*****     TOS METEOROLOGICOS COM (NVD) VALORES DIARIOS                 *
C*****                                           *
C*****     OBS-DE ACORDO COM O VALOR DE NP E NVD,TROCAR OS CARTOES      *
C*****           - DIMENSION I(...)                                     *
C*****           - MEMO = ...                                           *
C*****           ONDE ... MAIOR OU IGUAL A 2X31X12XNPXNVD + 11X6X12XNP  *
C*****                                           *
C-----
C
C      DIMENSION I(11000),SUM1(6,12,3),SUM2(6,12,3),SUM3(6,12,3),
1MED(6,12,3),DP(6,12,3),VAR(6,12,3),ASS(6,12,3),N(6,12,3),
2T50(6,12,3)
C      REAL*8 MED,DP,ASS,VAR
C      MEMO = 11000
C
C      CALL COMECO (I,MEMO,SUM1,SUM2,SUM3,MED,DP,VAR,ASS,N,T50)
C      NS = 1
C
C      STOP
C      END
C-----
C****      SUB-PROGRAMA PARA INICIALIZAR OS MESES E BRANCOS      *****
C-----
C      BLOCK DATA
C
C      COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK
C      DATA MES /'JAN','FEV','MAR','ABR','MAI','JUN',
1      'JUL','AGO','SET','OUT','NOV','DEZ'/,BLANK /'  '/
C
C      END
C-----
C*****     ESTA SUB-ROTINA TEM POR FIM GERENCIAR A EXECUCAO DO      *****
C*****     PROGRAMA                                           *****
C-----
C
C      SUBROUTINE COMECO (I,MEMO,SUM1,SUM2,SUM3,MED,DP,VAR,ASS,N,T50)
C      NS = 1
C
C      IMPLICIT INTEGER (A - Z)
C      DIMENSION I(MEMO),SUM1(6,12,3),SUM2(6,12,3),SUM3(6,12,3),
1MED(6,12,3),DP(6,12,3),VAR(6,12,3),ASS(6,12,3),N(6,12,3),
2T50(6,12,3)
C      COMMON /GER/ TAB(400),NPC(9),NPOSTO(9),IANO(9),FANO(9),NPI(9),MPIS
1(9),MPFS(9),MPIU(9),MPFU(9),MPIO(9),MPFO(9)
C      COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK
C      COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
1MB,ANC,NPOC,NPOI,BIS,IK
C      REAL*8 MED,DP,ASS,VAR
C
C
C-----LEITURA DA TABELA TENSÃO DE SAT X TEMP E DADOS GERAIS-----
C

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

      CALL LEIT1
C      NS = 2
C
C-----ENDERECAMENTOS-----
C
C...TEMPERATURA DO BULBO SECO
      AD1 = 1
C...TEMPERATURA DO BULBO UMIDO/PONTOS DE ORVALHO EM CELSIUS POSTO/BACIA
      AD2 = AD1 + 31*12*NP*NVD
C...PONTOS DE ORVALHO MAXIMOS EM CELSIUS EM CADA ANO POSTO/BACIA
      AD3 = AD2 + 31*12*NP*NVD
C...PONTOS DE ORVALHO MAXIMOS NO PERIODO EM CELSIUS NO POSTO
      AD4 = AD3 + 6*12*NP
C...PONTOS DE ORVALHO MAXIMOS NO PERIODO EM CELSIUS NA BACIA
      AD5 = AD4 + 6*12*NP
C...PONTOS DE ORVALHO MAXIMOS EM CADA ANO/PERIODO EM KELVIN POSTO/BACIA
      AD6 = AD5 + 6*12*NP
C...PONTOS DE ORVALHO EM KELVIN POSTO/BACIA
      AD7 = AD6 + 6*12*NP
      AD8 = AD7 + 31*12*NP*NVD - 1
      WRITE (5,100) AD8
100 FORMAT (1H1,///,10X,'REQUISITO DE MEMORIA MINIMO E IGUAL A ',I6)
C
C
      IF(AD8.GT.MEMO) STOP
C
C-----DEMAIS SUB-ROTINAS, PROCESSANDO 1 ANO CADA VEZ-----
C
      DO 10 IPC = 1,NCOME
C
      G1 = IANO(IPC)
      G2 = FANO(IPC)
      NPIS = MPIS(IPC)
      NPFS = MPFS(IPC)
      NPIU = MPIU(IPC)
      NPFU = MPFU(IPC)
      NPIO = MPIO(IPC)
      NPFO = MPFO(IPC)
      NPOI = NPI(IPC)
      NPOC = NPC(IPC)
C
      IF(NPIS.GT.9) CALL ERRO (3)
      IF(NPFS.GT.9) CALL ERRO (4)
      IF(NPIU.GT.9) CALL ERRO (5)
      IF(NPFU.GT.9) CALL ERRO (6)
      IF(NPIO.GT.9) CALL ERRO (7)
      IF(NPFO.GT.9) CALL ERRO (8)
      IF(NPIS.GT.NPFS) CALL ERRO (9)
      IF(NPIU.GT.NPFU) CALL ERRO (10)
      IF(NPIO.GT.NPFO) CALL ERRO (11)
C
      DO 10 ANO = G1,G2
C
      CALL LEIT2 (I(AD1),I(AD2))
C      NS = 3

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```
C
  IF(IS.NE.0.OR.IU.NE.0) CALL IMPR1 (I(AD1),I(AD2))
C
  NS = 4
C
  IF(IO.EQ.0.AND.IOB.EQ.0) GO TO 10
C
  CALL ORVAL1 (I(AD1),I(AD2))
C
  NS = 5
C
  IF(IO.NE.0.AND.IK.EQ.0) CALL IMPR2 (I(AD2))
C
  NS = 6
C
  IF(IO.NE.0.AND.IK.NE.0) CALL IMPR2K (I(AD2),I(AD7))
C
  NS = 7
C
  CALL ORVMA1 (I(AD2),I(AD3))
C
  NS = 8
C
  IF(IK.EQ.0) CALL IMPR4 (I(AD3))
C
  NS = 9
C
  IF(IK.NE.0) CALL ORVM1K (I(AD3),I(AD6))
C
  NS = 10
C
  CALL ORVMP1 (I(AD3),I(AD4),SUM1,SUM2,SUM3,N)
C
  NS = 11
C
  IF(ANO.EQ.G2.AND.IK.EQ.0) CALL IMPR6 (I(AD4),G1,G2,SUM1,SUM2,
1SUM3,MED,DP,VAR,ASS,N)
C
  NS = 12
C
  IF(ANO.EQ.G2.AND.IK.NE.0) CALL ORV1PK (I(AD4),G1,G2,I(AD6),SUM1,
1SUM2,SUM3,MED,DP,VAR,ASS,N,T50)
C
  NS = 13
C
  IF(IOB.NE.0) CALL ORVAL2 (I(AD2))
C
  NS = 14
C
  IF(IOB.NE.0.AND.IK.EQ.0) CALL IMPR3 (I(AD2))
C
  NS = 15
C
  IF(IOB.NE.0.AND.IK.NE.0) CALL IMPR3K (I(AD2),I(AD7))
C
  NS = 16
C
  IF(IOB.NE.0) CALL ORVMA2 (I(AD2),I(AD3))
C
  NS = 17
C
  IF(IOB.NE.0.AND.IK.EQ.0) CALL IMPR5 (I(AD3))
C
  NS = 18
C
  IF(IOB.NE.0.AND.IK.NE.0) CALL ORVM2K (I(AD3),I(AD6))
C
  NS = 19
C
  IF(IOB.NE.0) CALL ORVMP2 (I(AD3),I(AD5))
C
  NS = 20
```


FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

C      IF(IOB.EQ.0.OR.ANO.NE.G2) GO TO 10
      IF(IK.EQ.0) CALL IMPR7 (I(AD5),G1,G2)
C      NS = 21
C
      IF(IOB.EQ.0.OR.ANO.NE.G2) GO TO 10
      IF(IK.NE.0) CALL ORV2PK (I(AD5),G1,G2,I(AD6))
C      NS = 22
C
      10 CONTINUE
C
      RETURN
      END
C-----
C****      SUB-ROTINA PARA LEITURA DA TABELA - TENSÃO DE SATURACAO      *
C****      VERSUS TEMPERATURA E DADOS GERAIS                          *
C-----
C
      SUBROUTINE LEIT1
C      NS = 2
C
      IMPLICIT INTEGER (A - Z)
      COMMON /GER/ TAB(400),NPC(9),NPOSTO(9),IANO(9),FANO(9),NPI(9),MPIS
1(9),MPFS(9),MPIU(9),MPFU(9),MPIO(9),MPFO(9)
      COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK
      COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
1MB,ANC,NPOC,NPOI,BIS,IK
C
C-----LEITURA DE DADOS GERAIS-----
C
      READ(3,200) NP,NVD,NCOMB,IS,IU,IO,IOB,IK
      200 FORMAT (3I2,5I1)
C
      IF(IS.NE.0) READ(3,700) (MPIS(I),MPFS(I),I=1,NCOMB)
      IF(IU.NE.0) READ(3,700) (MPIU(I),MPFU(I),I=1,NCOMB)
      IF(IO.NE.0) READ(3,700) (MPIO(I),MPFO(I),I=1,NCOMB)
      700 FORMAT (40I2)
C
      READ (3,400) (IANO(I),FANO(I),I=1,NCOMB)
      400 FORMAT (20I4)
C
      READ (3,500) (NPC(I),I=1,NCOMB)
      500 FORMAT (80I1)
C
      READ (3,600) (NPI(I),I=1,NCOMB)
      600 FORMAT (80I1)
C
      DO 10 KP = 1,NP
C
      READ (3,300) NPOSTO(KP),(NOME(KP,J),J=1,4)
      300 FORMAT (1I,4A4)
C
      10 CONTINUE
C
C-----LEITURA DA TABELA TENSÃO DE SATURACAO VERSUS TEMPERATURA-----

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

C      READ (3,100) (TAB(TEMP),TEMP=1,400)
      100 FORMAT (20I4)
C
C-----TESTES DE INCOMPATIBILIDADE-----
C
      IF(NP.GT.9.OR.NP.LT.1) CALL ERRO (1)
      IF(NCOMB.GT.9) CALL ERRO (2)
C
      TOTAL = 0
C
      DO 20 ITE = 1,NCOMB
C
      IF(NPC(ITE).GT.NP) CALL ERRO (12)
      IF(FANO(ITE).LT.IANO(ITE)) CALL ERRO (13)
      TOTAL = TOTAL + FANO(ITE) - IANO(ITE)
      IF(ITE.EQ.NCOMB) GO TO 20
      IF(IANO(ITE + 1).NE.(FANO(ITE) + 1)) CALL ERRO (14)
      IF(IANO(ITE + 1).LT.IANO(ITE)) CALL ERRO (15)
      IF(FANO(ITE + 1).LT.FANO(ITE)) CALL ERRO (16)
C
      20 CONTINUE
C
      IF((TOTAL + NCOMB - 1 + IANO(1)).NE.FANO(NCOMB)) CALL ERRO (17)
C
      RETURN
      END
C-----
C****      SUB-ROTINA PARA LEITURA DAS TEMPERATURAS DOS TERMOMETROS      *
C****      DE BULBO SECO E UMIDO OU UMIDADES RELATIVAS                    *
C-----
C
      SUBROUTINE LEIT2 (CONJ1,CONJ2)
C      NS = 3
C
      IMPLICIT INTEGER (A - Z)
      DIMENSION CONJ1(NVD,31,12,NP),CONJ2(NVD,31,12,NP)
      COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS
      COMMON /TES/ KNUM,KMES,KANO,KPOS
C
      BIS = 0
C
      DO 10 M = NPOI,NPOC
      DO 10 K = 1,12
C
      LNUM = 1
      FIM = 31
C
C-----TESTE DOS ANOS BISSEXTOS E MESES COM 28,29 E 30 DIAS-----
C
      IF(K.EQ.2) FIM=28
C
      AUX1 = 10*(ANO/4)
      AUX2 = ANO*10/4

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

C
  IF(AUX1.EQ.AUX2) BIS=1
  IF(BIS.EQ.1.AND.K.EQ.2) FIM=29
  IF(K.EQ.4.OR.K.EQ.6.OR.K.EQ.9.OR.K.EQ.11) FIM=30
C
  J1 = 1
  J2 = 3
C
  20 CONTINUE
C
C-----LEITURA DAS TEMPERATURAS SECAS E UMIDAS OU UMIDADES RELATIVAS-----
C
  IF(J2.LT.FIM.OR.J2.EQ.30) READ(2,100) ((CONJ1(I1,J,K,M),I1=1,NVD),
1(CONJ2(I2,J,K,M),I2=1,NVD),J=J1,J2),KNUM,KMES,KANO,KPOS
  IF(J2.EQ.FIM.AND.FIM.EQ.28) READ(2,200) ((CONJ1(I1,J,K,M),I1=1,NVD
1),(CONJ2(I2,J,K,M),I2=1,NVD),J=J1,J2),KNUM,KMES,KANO,KPOS
  IF(J2.EQ.FIM.AND.FIM.EQ.29) READ(2,300) ((CONJ1(I1,J,K,M),I1=1,NVD
1),(CONJ2(I2,J,K,M),I2=1,NVD),J=J1,J2),KNUM,KMES,KANO,KPOS
  IF(J2.EQ.FIM.AND.FIM.EQ.31) READ(2,400) ((CONJ1(I1,J,K,M),I1=1,NVD
1),(CONJ2(I2,J,K,M),I2=1,NVD),J=J1,J2),KNUM,KMES,KANO,KPOS
C
  100 FORMAT (18I4,4I2)
  200 FORMAT(6I4,48X,4I2)
  300 FORMAT(12I4,24X,4I2)
  400 FORMAT(6I4,48X,4I2)
C
C-----VERIFICACAO DE INCOMPATIBILIDADE-----
C
  IF(KNUM.NE.LNUM) CALL ERRO (18)
  IF(KMES.NE.K) CALL ERRO (19)
  IF((KANO + 1900).NE.ANO) CALL ERRO (20)
  IF(KPOS.NE.M) CALL ERRO (21)
C
  LNUM = LNUM + 1
C
  DO 30 I1 = 1,NVD
  DO 30 J = J1,J2
C
  IF(CONJ2(I1,J,K,M).GT.400.AND.CONJ2(I1,J,K,M).LT.1000) CALL ERRO (
122)
  IF(CONJ2(I1,J,K,M).GT.1100) CALL ERRO (23)
C
  IF(CONJ1(I1,J,K,M).NE.0.AND.CONJ2(I1,J,K,M).NE.0) GO TO 30
C
  CONJ1(I1,J,K,M) = 888888
  CONJ2(I1,J,K,M) = 888888
C
  30 CONTINUE
C
C-----
C
  IF(FIM.EQ.J2) GO TO 10
C
  J1 = J2 + 1
  J2 = J2 + 3
C

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

      IF(FIM.LE.J2) J2=FIM
C
      GO TO 20
10 CONTINUE
C
      RETURN
      END
C-----
C****      SUB-ROTINA PARA IMPRIMIR AS TEMPERATURAS DOS TERMOMETROS      *
C****      DE BULBO SECO E UMIDO OU UMIDADES RELATIVAS                    *
C-----
C
      SUBROUTINE IMPR1 (CONJ1,CONJ2)
C      NS = 4
C
      IMPLICIT INTEGER (A - Z)
      DIMENSION CONJ1(NVD,31,12,NP),CONJ2(NVD,31,12,NP)
      COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK
      COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOE,NCO
      LMB,ANO,NPOC,NPOI,BIS
C
C-----IMPRESSAO DAS TEMPERATURAS DO TERMOMETRO DE BULBO SECO SE IS # 0--
C
      IF(IS.EQ.0) GO TO 80
C
      INICIO = 29
C
      IF(BIS.EQ.1) INICIO=30
C
      DO 60 LI = INICIO,31
      DO 60 KI = 1,NVD
      DO 60 MI = NPIS,NPFS
C
      CONJ1(KI,LI,2,MI) = BLANK
C
60 CONTINUE
C
      DO 70 NI = 1,NVD
      DO 70 JI = NPIS,NPFS
C
      CONJ1(NI,31,4,JI) = BLANK
      CONJ1(NI,31,6,JI) = BLANK
      CONJ1(NI,31,9,JI) = BLANK
      CONJ1(NI,31,11,JI) = BLANK
C
70 CONTINUE
C
      DO 10 IVS = NPIS,NPFS
C
      INIC = 1
      FIM = 6
C
      DO 10 KS = 1,2
C
      WRITE (5,100) (NOME(IVS,J),J=1,4),IVS,ANO,(MES(I),I=INIC,FIM)

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```
100 FORMAT (1H1,6(/),35X,'TEMPERATURAS DO TERMOMETRO DE BULBO SECO (GR
1AUS CENTIGRADOS X 10)',///,46X,'POSTO - ',4A4,10X,'NUMERO - ',11,/
2//,46X,'ANO - ',14,4(/),3X,'DIA',13X,5(A3,17X),A3,/,7X,6('
3 09 15 21H'),/)
```

C

```
DO 20 J = 1,31
```

C

```
IF(J.LT.29.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,200) J,((CONJ1(I,J,K,IVS),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
```

```
IF(J.EQ.29.AND.BIS.NE.1.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,201) J,((CONJ1(I,J,K,
1IVS),I=1,NVD),K=INIC,FIM)
```

```
IF(J.EQ.30.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,201) J,((CONJ1(I,J,K,IVS),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
```

```
IF(J.EQ.31.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,202) J,((CONJ1(I,J,K,IVS),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
```

```
IF(J.EQ.29.AND.BIS.EQ.1.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,200) J,((CONJ1(I,J,K,
1IVS),I=1,NVD),K=INIC,FIM)
```

```
IF(J.NE.31.AND.KS.EQ.2) WRITE(5,200) J,((CONJ1(I,J,K,IVS),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
```

```
IF(J.EQ.31.AND.KS.EQ.2) WRITE(5,203) J,((CONJ1(I,J,K,IVS),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
```

```
200 FORMAT (3X,12,6X,6(I4,2X,I4,2X,I4,4X),1X)
```

```
201 FORMAT (3X,12,6X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,4(I4,2X,I4,2X
1,I4,4X),1X)
```

```
202 FORMAT (3X,12,6X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,I4,2X,I4,2X,I
14,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,5X)
```

```
203 FORMAT (3X,12,6X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A
14,4X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,I4,2X,I4,2X,I4,5X)
```

C

```
20 CONTINUE
```

C

```
INIC = FIM + 1
```

```
FIM = FIM + 6
```

C

```
10 CONTINUE
```

C

```
80 CONTINUE
```

C

```
C-----IMPRESSAO DAS TEMP TERMOM DE BULBO UMIDO OU UMID RELAT SE IU # 0--
```

C

```
IF(IU.EQ.0) GO TO 30
```

C

```
INICIO = 29
```

C

```
IF(BIS.EQ.1) INICIO = 30
```

C

```
DO 90 LI = INICIO,31
```

```
DO 90 KI = 1,NVD
```

```
DO 90 MI = NPIU,NPFU
```

C

```
CONJ2(KI,LI,2,MI) = BLANK
```

C

```
90 CONTINUE
```

C

```
DO 110 NI = 1,NVD
```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

DO 110 JI = NPIU,NPFU
C
CONJ2(NI,31,4,JI) = BLANK
CONJ2(NI,31,6,JI) = BLANK
CONJ2(NI,31,9,JI) = BLANK
CONJ2(NI,31,11,JI) = BLANK
C
110 CONTINUE
C
DO 40 IVU = NPIU,NPFU
C
INIC = 1
FIM = 6
C
DO 40 KU = 1,2
C
WRITE (5,300) (NOME(IVU,J),J=1,4),IVU,ANO,(MES(1),I=INIC,FIM)
300 FORMAT (1H1,6(/),35X,'TEMPERATURAS DO TERMOMETRO DE BULBO UMIDO (G
1RAUS CENTIGRADOS X 10)',///,46X,'POSTO - ',4A4,10X,'NUMERO - ',11,
2///,46X,'ANO - ',14,4(/),3X,'DIA',13X,5(A3,17X),A3,///,7X,6('
3 09 15 21H'),/)
C
DO 50 J = 1,31
C
IF(J.LT.29.AND.KU.EQ.1) WRITE(5,200) J,((CONJ2(I,J,K,IVU),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
IF(J.EQ.29.AND.BIS.NE.1.AND.KU.EQ.1) WRITE(5,201) J,((CONJ2(I,J,K,
1IVU),I=1,NVD),K=INIC,FIM)
IF(J.EQ.30.AND.KU.EQ.1) WRITE(5,201) J,((CONJ2(I,J,K,IVU),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
IF(J.EQ.31.AND.KU.EQ.1) WRITE(5,202) J,((CONJ2(I,J,K,IVU),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
IF(J.EQ.29.AND.BIS.EQ.1.AND.KU.EQ.1) WRITE(5,200) J,((CONJ2(I,J,K,
1IVU),I=1,NVD),K=INIC,FIM)
IF(J.NE.31.AND.KU.EQ.2) WRITE(5,200) J,((CONJ2(I,J,K,IVU),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
IF(J.EQ.31.AND.KU.EQ.2) WRITE(5,203) J,((CONJ2(I,J,K,IVU),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
C
50 CONTINUE
C
WRITE (5,400)
400 FORMAT(//,3X,' NOTA - CASO NA TABELA ACIMA OCORRAM VALORES MAIORES
1 QUE 1000,ESTES DESIGNAM UMIDADES RELATIVAS SE SUBTRAIRMOS 1000')
C
INIC = FIM + 1
FIM = FIM + 6
C
40 CONTINUE
C
30 CONTINUE
C
RETURN
END
C-----

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

C****      SUB-ROTINA PARA CALCULO DOS PONTOS DE ORVALHO NOS POSTOS      *
C-----
C
C      SUBROUTINE ORVAL1 (CONJ1,CONJ2)
C      NS = 5
C
C      IMPLICIT INTEGER (A - Z)
C      DIMENSION CONJ1(NVD,31,12,NP),CONJ2(NVD,31,12,NP)
C      COMMON /GER/ TAB(400),NPC(9),NPOSTO(9),IANO(9),FANO(9),NPI(9),MPIS
1(9),MPFS(9),MPIU(9),MPFU(9),MPIO(9),MPFO(9)
C      COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
1MB,ANC,NPOC,NPOI,BIS
C
C      DO 10 M = NPOI,NPOC
C      DO 10 K = 1,12
C
C      FIM = 31
C
C-----TESTE DOS ANOS BISSEXTOS E MESES COM 28,29 E 30 DIAS-----
C
C      IF(K.EQ.2) FIM=28
C      IF(BIS.EQ.1.AND.K.EQ.2) FIM=29
C      IF(K.EQ.4.OR.K.EQ.6.OR.K.EQ.9.OR.K.EQ.11) FIM=30
C
C      DO 10 J = 1,FIM
C      DO 10 I = 1,NVD
C
C-----TESTE PARA VERIFICAR SE EM CONJ2 ESTAO TEMP UMIDAS OU UMID RELAT--
C
C      IF(CONJ2(I,J,K,M).GT.1000.AND.CONJ2(I,J,K,M).LE.1100) GO TO 40
C
C-----VERIFICACAO DE INCONSISTENCIA-----
C
C      IF(CONJ2(I,J,K,M).LT.0.OR.CONJ1(I,J,K,M).LT.0) CONJ2(I,J,K,M)=9999
199
C      IF(CONJ2(I,J,K,M).EQ.999999) GO TO 10
C      IF(CONJ2(I,J,K,M).EQ.888888.OR.CONJ1(I,J,K,M).EQ.888888) CONJ2(I,J
1,K,M)=888888
C      IF(CONJ2(I,J,K,M).EQ.888888) GO TO 10
C      IF(CONJ2(I,J,K,M).GT.CONJ1(I,J,K,M).AND.CONJ2(I,J,K,M).LT.1100) CO
1NJ2(I,J,K,M)=777777
C      IF(CONJ2(I,J,K,M).EQ.777777) GO TO 10
C
C-----CALCULO DA TENSÃO DE VAPOR DA AGUA-----
C
C-----COM TEMPERATURA SECA E UMIDA-----
C
C      IF(CONJ2(I,J,K,M).EQ.CONJ1(I,J,K,M)) GO TO 10
C
C      EU = TAB(CONJ2(I,J,K,M))
C      E = EU - (79*(CONJ1(I,J,K,M) - CONJ2(I,J,K,M)))/10
C
C      IF(CONJ2(I,J,K,M).LT.1000) GO TO 50
C
C-----COM TEMPERATURA SECA E UMIDADE RELATIVA-----

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

C
  40 CONTINUE
C
  CONJ2(I,J,K,M) = CONJ2(I,J,K,M) - 1000
C
  IF(CONJ2(I,J,K,M).EQ.100) CONJ2(I,J,K,M) = CONJ1(I,J,K,M)
  IF(CONJ2(I,J,K,M).EQ.CONJ1(I,J,K,M)) GO TO 10
C
  E = CONJ2(I,J,K,M)*TAB(CONJ1(I,J,K,M))/100
C
  50 CONTINUE
C
C-----VERIFICACAO DE INCONSISTENCIA-----
C
  IF(E.LT.615.OR.E.GT.7378) CONJ2(I,J,K,M)=999999
  IF(CONJ2(I,J,K,M).EQ.999999) GO TO 10
C
C-----CALCULO DO PONTO DE ORVALHO-----
C
  DO 20 TEMP = 1,400
C
  IF((E - TAB(TEMP)).LE.0) GO TO 30
C
  20 CONTINUE
  30 CONTINUE
C
  CONJ2(I,J,K,M) = TEMP
C
  10 CONTINUE
C
  RETURN
  END
C-----
C****      SUB-ROTINA PARA IMPRIMIR OS PONTOS DE ORVALHO NOS POSTOS      *
C-----
C
  SUBROUTINE IMPR2 (CONJ2)
C
  NS = 6
C
  IMPLICIT INTEGER (A - Z)
  DIMENSION CONJ2(NVD,31,12,NP)
  COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK
  COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
  1MB,ANC,NPOC,NPOI,BIS
C
C-----IMPRESSAO DOS PONTOS DE ORVALHO-----
C
  INICIO = 29
C
  IF(BIS.EQ.1) INICIO=30
C
  DO 60 LI = INICIO,31
  DO 60 KI = 1,NVD
  DO 60 MI = NPIO,NPFO
C

```


FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

      CONJ2(KI,LI,2,MI) = BLANK
C
60 CONTINUE
C
      DO 70 NI = 1,NVD
      DO 70 JI = NPIO,NPFO
C
      CONJ2(NI,31,4,JI) = BLANK
      CONJ2(NI,31,6,JI) = BLANK
      CONJ2(NI,31,9,JI) = BLANK
      CONJ2(NI,31,11,JI) = BLANK
C
70 CONTINUE
C
      DO 10 NVO = NPIO,NPFO
C
      INIC = 1
      FIM = 6
C
      DO 10 KS = 1,2
C
      WRITE (5,100) (NOME(NVO,J),J=1,4),NVO,ANO,(MES(I),I=INIC,FIM)
100 FORMAT (1H1,6(/),46X,'PONTOS DE ORVALHO (GRAUS CENTIGRADOS X 10)',
1///,46X,'POSTO - ',4A4,10X,'NUMERO - ',11,/
2///,46X,'ANO - ',14,4(/),3X,'DIA',13X,5(A3,17X),A3,/,7X,6('
3 09 15 21H'),/)
C
      DO 20 J = 1,31
C
      IF(J.LT.29.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,200) J,((CONJ2(I,J,K,NVO),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
      IF(J.EQ.29.AND.BIS.NE.1.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,201) J,((CONJ2(I,J,K,
1NVO),I=1,NVD),K=INIC,FIM)
      IF(J.EQ.30.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,201) J,((CONJ2(I,J,K,NVO),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
      IF(J.EQ.31.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,202) J,((CONJ2(I,J,K,NVO),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
      IF(J.EQ.29.AND.BIS.EQ.1.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,200) J,((CONJ2(I,J,K,
1NVO),I=1,NVD),K=INIC,FIM)
      IF(J.NE.31.AND.KS.EQ.2) WRITE(5,200) J,((CONJ2(I,J,K,NVO),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
      IF(J.EQ.31.AND.KS.EQ.2) WRITE(5,203) J,((CONJ2(I,J,K,NVO),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
200 FORMAT (3X,12,6X,6(14,2X,14,2X,14,4X),1X)
201 FORMAT (3X,12,6X,14,2X,14,2X,14,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,4(14,2X,14,2X
1,14,4X),1X)
202 FORMAT (3X,12,6X,14,2X,14,2X,14,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,14,2X,14,2X,I
14,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,14,2X,14,2X,14,4X,A4,2X,A4,2X,A4,5X)
203 FORMAT (3X,12,6X,14,2X,14,2X,14,4X,14,2X,14,2X,14,4X,A4,2X,A4,2X,A
14,4X,14,2X,14,2X,14,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,14,2X,14,2X,14,5X)
C
20 CONTINUE
C
      INIC = FIM + 1
      FIM = FIM + 6

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

C
  10 CONTINUE
C
  RETURN
  END
C-----
C****      SUB-ROTINA PARA IMPRIMIR OS PONTOS DE ORVALHO NOS POSTOS      *
C****      EM KELVIN                                                    *
C-----
C
  SUBROUTINE IMPR2K (CONJ2,CONJ3)
C  NS = 7
C
  IMPLICIT INTEGER (A - Z)
  DIMENSION CONJ2(NVD,31,12,NP),CONJ3(NVD,31,12,NP)
  COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK
  COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
  1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS
C
C-----CALCULO DOS PONTOS DE ORVALHO EM KELVIN-----
C
  DO 12 M = NPOI,NPOC
    DO 12 K = 1,12
      DO 12 J = 1,31
        DO 12 I = 1,NVD
          CONJ3(I,J,K,M) = CONJ2(I,J,K,M) + 2732
12  CONTINUE
C
C-----IMPRESSAO DOS PONTOS DE ORVALHO-----
C
  INICIO = 29
C
  IF(BIS.EQ.1) INICIO=30
C
  DO 60 LI = INICIO,31
    DO 60 KI = 1,NVD
      DO 60 MI = NPIO,NPFO
C
        CONJ3(KI,LI,2,MI) = BLANK
C
60  CONTINUE
C
  DO 70 NI = 1,NVD
    DO 70 JI = NPIO,NPFO
C
      CONJ3(NI,31,4,JI) = BLANK
      CONJ3(NI,31,6,JI) = BLANK
      CONJ3(NI,31,9,JI) = BLANK
      CONJ3(NI,31,11,JI) = BLANK
C
70  CONTINUE
C
  DO 10 NVO = NPIO,NPFO
C
  INIC = 1

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SF RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

FIM = 6

C

DO 10 KS = 1,2

C

```
WRITE (5,100) (NOME(NVO,J),J=1,4),NVO,ANO,(MES(I),I=INIC,FIM)
100 FORMAT (1H1,6(/),46X,'PONTOS DE ORVALHO (      KELVIN   X 10      )',
1///,46X,'POSTO - ',4A4,10X,'NUMERO - ',I1,/
2///,46X,'ANO   - ',I4,4(/),3X,'DIA',13X,5(A3,17X),A3,/,7X,6('
3   09   15   21H'),/)
```

C

DO 20 J = 1,31

C

```
IF(J.LT.29.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,200) J,((CONJ3(I,J,K,NVO),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
IF(J.EQ.29.AND.BIS.NE.1.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,201) J,((CONJ3(I,J,K,
1NVO),I=1,NVD),K=INIC,FIM)
IF(J.EQ.30.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,201) J,((CONJ3(I,J,K,NVO),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
IF(J.EQ.31.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,202) J,((CONJ3(I,J,K,NVO),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
IF(J.EQ.29.AND.BIS.EQ.1.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,200) J,((CONJ3(I,J,K,
1NVO),I=1,NVD),K=INIC,FIM)
IF(J.NE.31.AND.KS.EQ.2) WRITE(5,200) J,((CONJ3(I,J,K,NVO),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
IF(J.EQ.31.AND.KS.EQ.2) WRITE(5,203) J,((CONJ3(I,J,K,NVO),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
200 FORMAT (3X,I2,6X,6(I4,2X,I4,2X,I4,4X),1X)
201 FORMAT (3X,I2,6X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,4(I4,2X,I4,2X
1,I4,4X),1X)
202 FORMAT (3X,I2,6X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,I4,2X,I4,2X,I
14,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,5X)
203 FORMAT (3X,I2,6X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A
14,4X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,I4,2X,I4,2X,I4,5X)
```

C

20 CONTINUE

C

```
INIC = FIM + 1
FIM = FIM + 6
```

C

10 CONTINUE

C

```
RETURN
END
```

C

```
C****      SUB-ROTINA PARA CALCULO DOS PONTOS DE ORVALHO      *
C****      MAXIMOS NOS POSTOS
```

C

C

SUBROUTINE ORVMA1 (CONJ2,IORVM)

C

NS = 8

C

```
IMPLICIT INTEGER (A - Z)
DIMENSION CONJ2(NVD,31,12,NP),IORVM(6,12,NP)
COMMON /GER/ TAB(400),NPC(9),NPOSTO(9),IANO(9),FANO(9),NPI(9),MPIS
1(9),MPFS(9),MPIU(9),MPFU(9),MPIO(9),MPFO(9)
```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
1MB,ANC,NPOC,NPOI,BIS

```

C
  DO 10 M = NPOI,NPOC
  DO 10 K = 1,12
C
  FIM = 31
C
C-----TESTE DOS ANOS BISSEXTOS E MESES COM 28,29 E 30 DIAS-----
C
  IF(K.EQ.2) FIM=28
  IF(BIS.EQ.1.AND.K.EQ.2) FIM=29
  IF(K.EQ.4.OR.K.EQ.6.OR.K.EQ.9.OR.K.EQ.11) FIM=30
C
C-----VERIFICACAO SE E FALHA MENSAL
C
  DO 11 JJ = 1,FIM
  DO 11 II = 1,3
    IF(CONJ2(II,JJ,K,M).LT.777777) GO TO 12
    IF(JJ.LT.FIM.AND.II.LT.3) GO TO 11
    DO 13 L = 1,6
      IORVM(L,K,M) = 777777
13    CONTINUE
    GO TO 10
11    CONTINUE
C
C-----OBTENCAO DOS MAXIMOS
C
12    DO 30 L = 1,6
      IF(L.GT.5) GO TO 140
      IDI = ( L-1)*5 + 1
      IDF = IDI + 4
      GO TO 150
140    IDI = 26
      IDF = FIM
150    IAUX = 0
      DO 20 J = IDI,IDF
C
C-----COMPARACAO DOS PONTOS DE ORVALHO
C
C
  I = 1
  IF(CONJ2(1,J,K,M).GE.777777.OR.CONJ2(2,J,K,M).GE.777777) GO TO 130
  IF(CONJ2(1,J,K,M).GT.CONJ2(2,J,K,M)) GO TO 110
  IAUX1 = CONJ2(1,J,K,M)
  GO TO 120
110  IAUX1 = CONJ2(2,J,K,M)
120  IF(CONJ2(3,J,K,M).GE.777777) GO TO 20
  IF(CONJ2(3,J,K,M).GT.IAUX1) GO TO 180
  IAUX1 = CONJ2(3,J,K,M)
180  IF(IAUX1.LT.IAUX) GO TO 130
  IF(IAUX1.GE.777777) GO TO 20
  IAUX = IAUX1
C
C
  I = 3
130  IF(J.EQ.FIM) GO TO 160

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

J1 = J + 1
IF(CONJ2(3,J,K,M).GE.777777.OR.CONJ2(1,J1,K,M).GE.777777) GO TO 20
IF(CONJ2(3,J,K,M).GT.CONJ2(1,J1,K,M)) GO TO 111
    IAUX1 = CONJ2(3,J,K,M)
    GO TO 181
111    IAUX1 = CONJ2(1,J1,K,M)
181    IF(IAUX1.LT.IAUX) GO TO 20
        IF(IAUX1.GE.777777) GO TO 20
            IAUX = IAUX1
            GO TO 20
160    IF(K.EQ.12) GO TO 170
        K1 = K + 1
        IF(CONJ2(3,J,K,M).GE.777777.OR.CONJ2(1,1,K1,M).GE.777777) GO TO 20
        IF(CONJ2(3,J,K,M).GT.CONJ2(1,1,K1,M)) GO TO 112
            IAUX1 = CONJ2(3,J,K,M)
            GO TO 182
112    IAUX1 = CONJ2(1,1,K1,M)
182    IF(IAUX1.LT.IAUX) GO TO 20
        IF(IAUX1.GE.777777) GO TO 20
            IAUX = IAUX1
20    CONTINUE
170    IORVM(L,K,M) = IAUX
30    CONTINUE
10    CONTINUE
C
    RETURN
    END

```

```

C-----
C****      SUB-ROTINA PARA IMPRIMIR OS MAXIMOS PONTOS      *
C****      DE ORVALHO NOS POSTOS                          *
C-----

```

```

C
C      SUBROUTINE IMPR4 (IORVM)
C      NS = 9
C
C      IMPLICIT INTEGER (A - Z)
C      DIMENSION IORVM(6,12,NP)
C      COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK
C      COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
C      1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS
C
C-----IMPRESSAO DOS PONTOS DE ORVALHO-----
C
C      DO 10 NVO = NPIO,NPFO
C
C          WRITE (5,100) (NOME(NVO,J),J=1,4),NVO,ANO,(MES(I),I=1,12)
100    FORMAT (1H1,6(/),34X,'MAXIMOS PONTOS DE ORVALHO PERSISTENTES POR',
1' 12 HORAS (GRAUS CENTIGRADOS X 10)',///,46X,
2'POSTO - ',4A4,'    NUMERO - ',11,5(/),56X,'ANO - ',14,4(/),
35X,12(7X,A3),//)
C
C      DO 10 L = 1,6
C
C          WRITE(5,200) L,(IORVM(L,K,NVO),K=1,12)
200    FORMAT (2X,12,5X,12(2X,13,5X))

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

10 CONTINUE
RETURN
END

C-----
C**** SUB-ROTINA PARA CALCULAR E IMPRIMIR OS MAXIMOS *
C**** PONTOS DE ORVALHO NOS POSTOS EM KELVIN *
C-----

C
C SUBROUTINE ORVM1K (IORVM,IORVK)
C NS = 10
C
C IMPLICIT INTEGER (A - Z)
C DIMENSION IORVM(6,12,NP),IORVK(6,12,NP)
C COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK
C COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
C 1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS

C
C-----CALCULO DOS PONTOS DE ORVALHO EM KELVIN-----
C

C DO 12 NVO = NPIO,NPFO
C
C DO 12 L = 1,6
C
C DO 12 K = 1,12
C IORVK(L,K,NVO) = IORVM(L,K,NVO) + 2732
12 CONTINUE
C

C-----IMPRESSAO DOS PONTOS DE ORVALHO-----
C

C DO 10 NVO = NPIO,NPFO
C
C WRITE (5,100) (NOME(NVO,J),J=1,4),NVO,ANO,(MES(I),I=1,12)
100 FORMAT (1H1,6(/),34X,'MAXIMOS PONTOS DE ORVALHO PERSISTENTES POR',
1' 12 HORAS (KELVIN X 10)',///,46X,
2'POSTO - ',4A4,' NUMERO - ',11,5(/),56X,'ANO - ',14,4(/),
35X,12(7X,A3),//)
C
C DO 10 L = 1,6
C WRITE(5,200) L,(IORVK(L,K,NVO),K=1,12)
200 FORMAT (2X,12,5X,12(2X,14,4X))
10 CONTINUE
C RETURN
C END

C-----
C**** SUB-ROTINA PARA CALCULO DOS PONTOS DE ORVALHO *
C**** MAXIMOS NOS POSTOS NO PERIODO *
C-----

C
C SUBROUTINE ORVMP1 (IORVM,IORVP,SUM1,SUM2,SUM3,N)
C NS = 11
C
C IMPLICIT INTEGER (A - Z)
C DIMENSION IORVM(6,12,NP),IORVP(6,12,NP),SUM1(6,12,NP),
C 1SUM2(6,12,NP),SUM3(6,12,NP),N(6,12,NP)
C COMMON /GER/ TAB(400),NPC(9),NPOSTO(9),IANO(9),FANO(9),NPI(9),MPIS

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

1(9),MPFS(9),MPIU(9),MPFU(9),MPIO(9),MPFO(9)
COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOE,NCO
1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS

C

C-----VERIFICACAO SE E ANO INICAL

C

IF(ANO.GT.IANO(I)) GO TO 20
DO 10 M = NPOI,NPOC
DO 10 K = 1,12
DO 10 L = 1,6
SUM1(L,K,M) = 0
SUM2(L,K,M) = 0
SUM3(L,K,M) = 0
IORVP(L,K,M) = IORVM(L,K,M)
IF(IORVP(L,K,M).GE.777777) GO TO 10
N(L,K,M) = 1
SUM1(L,K,M) = IORVP(L,K,M)
SUM2(L,K,M) = (IORVP(L,K,M))*2
SUM3(L,K,M) = (IORVP(L,K,M))*3

C

10 CONTINUE

C

C-----NO OUTROS ANOS

C

20 DO 30 M = NPOI,NPOC
DO 30 K = 1,12
DO 30 L = 1,6
IF(IORVP(L,K,M).GE.777777) IORVP(L,K,M) = IORVM(L,K,M)
IF(IORVM(L,K,M).GE.777777) GO TO 30
N(L,K,M) = N(L,K,M) + 1
SUM1(L,K,M) = SUM1(L,K,M) + IORVM(L,K,M)
SUM2(L,K,M) = SUM2(L,K,M) + (IORVM(L,K,M))*2
SUM3(L,K,M) = SUM3(L,K,M) + (IORVM(L,K,M))*3
IF(IORVP(L,K,M).GE.IORVM(L,K,M)) GO TO 30
IORVP(L,K,M) = IORVM(L,K,M)

30 CONTINUE

C

RETURN
END

C

C***** SUB-ROTINA PARA IMPRIMIR OS MAXIMOS PONTOS *
C***** DE ORVALHO NOS POSTOS NO PERIODO *
C***** E CALCULAR E IMPRIMIR OS PARAMETROS ESTATISTICOS DAS SERIES *

C

C

SUBROUTINE IMPR6 (IORVP,G1,G2,SUM1,SUM2,SUM3,MED,DP,VAR,ASS,N)
NS = 12

C

C

IMPLICIT INTEGER (A - Z)
DIMENSION IORVP(6,12,NP),SUM1(6,12,NP),
1SUM2(6,12,NP),SUM3(6,12,NP),
2MED(6,12,NP),DP(6,12,NP),VAR(6,12,NP),ASS(6,12,NP),N(6,12,NP)
COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK
COMMON /GER/ IANO(9),FANO(9)

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
 1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS
 REAL*8 A,MED,DP,VAR,ASS,SOMA1,SOMA2,SOMA3,N1,M3,N11

```

C
C-----IMPRESSAO DOS PONTOS DE ORVALHO-----
C
DO 10 NVO = NPIO,NPFO
C
WRITE (5,100) (NOME(NVO,J),J=1,4),NVO,G1,G2
WRITE (5,101) (MES(I),I=1,12)
100 FORMAT (1H1,6(/),34X,'MAXIMOS PONTOS DE ORVALHO PERSISTENTES POR',
1' 12 HORAS (GRAUS CENTIGRADOS X 10)',///,46X,
2'POSTO - ',4A4,' NUMERO - ',11,5(/),50X,'PERIODO ',14,' - ',14)
101 FORMAT(3(/),5X,12(7X,A3),/)
C
DO 10 L = 1,6
C
WRITE(5,200) L,(IORVP(L,K,NVO),K=1,12)
200 FORMAT (2X,12,5X,12(2X,I3,5X))
10 CONTINUE
C
C-----CALCULO DOS PARAMETROS ESTATISTICOS DOS PONTOS DE ORVALHO-----
C
DO 30 M = NPIO,NPFO
DO 30 K = 1,12
DO 30 L = 1,6
NUM = N(L,K,M)
N1 = FLOAT(NUM)
C-----TRANSFORMACAO DA SOMA1 DE INT-REAL E DIVISAO POR 10 (TO ESTA X 10)
SUMA1 = SUM1(L,K,M)
SOMA1 = FLOAT(SUMA1)
SOMA1 = SOMA1/10
C-----CALCULO DA MEDIA
MED(L,K,M) = (SOMA1)/N1
C-----TRANSFORMACAO DA SOMA2 DE INT-REAL E DIVISAO POR 10 (TO ESTA X 10)
SUMA2 = SUM2(L,K,M)
SOMA2 = FLOAT(SUMA2)
SOMA2 = SOMA2/100
C-----CALCULO DO DESVIO PADRAO
A = SOMA2-N1*(MED(L,K,M))**2
A = A/(N1-1)
DP(L,K,M) = DSQRT(A)
VAR(L,K,M) = (DP(L,K,M))/(MED(L,K,M))
C-----TRANSFORMACAO DA SOMA2 DE INT-REAL E DIVISAO POR 10 (TO ESTA X 10)
SUMA3 = SUM3(L,K,M)
SOMA3 = FLOAT(SUMA3)
SOMA3 = SOMA3/1000
M3 = SOMA3-3*MED(L,K,M)*SOMA2+2*N1*(MED(L,K,M))**3
N11 = (N1-1)*(N1-2)
N11 = N1/N11
ASS(L,K,M) = M3*N11
ASS(L,K,M) = ASS(L,K,M)/((DP(L,K,M))**3)
30 CONTINUE
C
C-----IMPRESSAO DOS PARAMETROS ESTATISTICOS-----

```


FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

C
DO 40 NVO = NPIO,NPFO
C
WRITE (5,400) (NOME(NVO,J),J=1,4),NVO,G1,G2
WRITE (5,401) (MES(I),I=1,12)
400 FORMAT (1H1,6(/),42X,'PARAMETROS ESTATISTICOS DOS PONTOS DE ORVA',
1'LHO',///,46X,
2'POSTO - ',4A4,' NUMERO - ',11,5(/),50X,'PERIODO ',14,' - ',14)
401 FORMAT(3(/),5X,12(7X,A3),/)
C
DO 40 L = 1,6
C
WRITE(5,300) L,(MED(L,K,NVO),K=1,12)
300 FORMAT (3X,12,3X,'X',2X,12(F5.2,5X))
WRITE(5,311) (DP(L,K,NVO),K=1,12)
311 FORMAT (8X,'S',2X,12(F5.2,5X))
WRITE(5,312) (VAR(L,K,NVO),K=1,12)
312 FORMAT (8X,'V',2X,12(F5.2,5X))
WRITE(5,313) (ASS(L,K,NVO),K=1,12)
313 FORMAT (8X,'A',2X,12(F5.2,5X))
40 CONTINUE
RETURN
END
C-----
C**** SUB-ROTINA PARA CALCULAR E IMPRIMIR OS MAXIMOS *
C**** PONTOS DE ORVALHO NOS POSTOS NO PERIODO EM KELVIN *
C**** E CALCULAR E IMPRIMIR OS PARAMETROS ESTATISTICOS DAS SERIES *
C-----
C
SUBROUTINE ORV1PK (IORVP,G1,G2,IORVK,SUM1,SUM2,SUM3,MED,DP,VAR,
1ASS,N,T50)
C
NS = 13
C
IMPLICIT INTEGER (A - Z)
DIMENSION IORVP(6,12,NP),IORVK(6,12,NP),SUM1(6,12,NP),
1SUM2(6,12,NP),SUM3(6,12,NP),T50(6,12,NP),
2MED(6,12,NP),DP(6,12,NP),VAR(6,12,NP),ASS(6,12,NP),N(6,12,NP)
COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK
COMMON /GER/ IANO(9),FANO(9)
COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS
REAL*8 A,MED,DP,VAR,ASS,SOMA1,SOMA2,SOMA3,N1,M3,N11,TA
C
C-----IMPRESSAO DOS PONTOS DE ORVALHO-----
C
DO 10 NVO = NPIO,NPFO
C
WRITE (5,100) (NOME(NVO,J),J=1,4),NVO,G1,G2
WRITE (5,101) (MES(I),I=1,12)
100 FORMAT (1H1,6(/),34X,'MAXIMOS PONTOS DE ORVALHO PERSISTENTES POR',
1' 12 HORAS ( KELVIN X 10 )',///,46X,
2'POSTO - ',4A4,' NUMERO - ',11,5(/),50X,'PERIODO ',14,' - ',14)
101 FORMAT(3(/),5X,12(7X,A3),/)
C
DO 10 L = 1,6

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

C
DO 12 K = 1,12
  IORVK(L,K,NVO) = IORVP(L,K,NVO) + 2732
12 CONTINUE
C
  WRITE(5,200) L,(IORVK(L,K,NVO),K=1,12)
200 FORMAT (2X,I2,5X,12(2X,I4,4X))
10 CONTINUE
C
C-----CALCULO DOS PARAMETROS ESTATISTICOS DOS PONTOS DE ORVALHO-----
C
DO 30 M = NPIO,NPFO
  DO 30 K = 1,12
    DO 30 L = 1,6
      NUM = N(L,K,M)
      N1 = FLOAT(NUM)
C-----TRANSFORMACAO DA SOMA1 DE INT-REAL E DIVISAO POR 10 (TO ESTA X 10)
      SUMA1 = SUM1(L,K,M)
      SOMA1 = FLOAT(SUMA1)
      SOMA1 = SOMA1/10
C-----CALCULO DA MEDIA
      MED(L,K,M) = (SOMA1)/N1
C-----TRANSFORMACAO DA SOMA2 DE INT-REAL E DIVISAO POR 10 (TO ESTA X 10)
      SUMA2 = SUM2(L,K,M)
      SOMA2 = FLOAT(SUMA2)
      SOMA2 = SOMA2/100
C-----CALCULO DO DESVIO PADRAO
      A = SOMA2-N1*(MED(L,K,M))*2
      A = A/(N1-1)
      DP(L,K,M) = DSQRT(A)
C-----TRANSFORMACAO DA SOMA2 DE INT-REAL E DIVISAO POR 10 (TO ESTA X 10)
      SUMA3 = SUM3(L,K,M)
      SOMA3 = FLOAT(SUMA3)
      SOMA3 = SOMA3/1000
      M3 = SOMA3-3*MED(L,K,M)*SOMA2+2*N1*(MED(L,K,M))*3
      N11 = (N1-1)*(N1-2)
      N11 = N1/N11
      ASS(L,K,M) = M3*N11
      ASS(L,K,M) = ASS(L,K,M)/((DP(L,K,M))*3)
30 CONTINUE
C
C-----IMPRESSAO DOS PARAMETROS ESTATISTICOS-----
C
DO 40 NVO = NPIO,NPFO
C
  WRITE (5,400) (NOME(NVO,J),J=1,4),NVO,G1,G2
  WRITE (5,401) (MES(I),I=1,12)
400 FORMAT (1H1,6(/),42X,'PARAMETROS ESTATISTICOS DOS PONTOS DE ORVA',
1'LHO',///,46X,
2'POSTO - ',4A4,' NUMERO - ',11,5(/),50X,'PERIODO ',14,' - ',14)
C
DO 40 L = 1,6
  DO 41 K = 1,12
    MED(L,K,NVO) = MED(L,K,NVO) + 273.2
    VAR(L,K,NVO) = (DP(L,K,NVO))/(MED(L,K,NVO))

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

41 CONTINUE
C
  WRITE(5,300) L,(MED(L,K,NVO),K=1,12)
300 FORMAT (3X,12,3X,'X',1X,12(F6.2,4X))
  WRITE(5,311) (DP(L,K,NVO),K=1,12)
311 FORMAT (8X,'S',2X,12(F5.2,5X))
  WRITE(5,312) (VAR(L,K,NVO),K=1,12)
312 FORMAT (8X,'V',2X,12(F5.2,5X))
  WRITE(5,313) (ASS(L,K,NVO),K=1,12)
313 FORMAT (8X,'A',2X,12(F5.2,5X))
40 CONTINUE
C
C-----AJUSTE DA DISTRIBUICAO NORMAL PARA TR = 50 ANOS E IMPRESSAO
C
  DO 50 NVO = NPIO,NPFO
C
  WRITE (5,410) (NOME(NVO,J),J=1,4),NVO,G1,G2
410 FORMAT (1H1,6(/),42X,'AJUSTE DA DISTRIBUICAO NORMAL TR = 50 ',
1'ANOS',///,46X,
2'POSTC - ',4A4,' NUMERO - ',11,5(/),50X,'PERIODO ',14,' - ',14)
  WRITE (5,401) (MES(I),I=1,12)
401 FORMAT(3(/),5X,12(7X,A3),//)
C
  DO 50 L = 1,6
    DO 51 K = 1,12
      TA = MED(L,K,NVO) + 2.05*DP(L,K,NVO)
      TA = TA * 10
      T50(L,K,NVO) = DINT(TA)
51 CONTINUE
C
  WRITE(5,200) L,(T50(L,K,NVO),K=1,12)
50 CONTINUE
  RETURN
  END
C-----
C****      SUB-ROTINA PARA CALCULO DOS PONTOS DE ORVALHO NA BACIA      *
C****      COMO MEDIA ARITMETICA DOS PONTOS DE ORVALHO NOS POSTOS    *
C-----
C
  SUBROUTINE ORVAL2 (CONJ2)
C
  NS = 14
C
  IMPLICIT INTEGER (A - Z)
  DIMENSION CONJ2(NVD,31,12,NP)
  COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
  1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS
C
C-----TESTE DOS ANOS BISSEXTOS E MESES COM 28,29 E 30 DIAS-----
C
  DO 10 K = 1,12
C
  FIM = 31
C
  IF(K.EQ.2) FIM=28
  IF(BIS.EQ.1.AND.K.EQ.2) FIM=29

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

IF(K.EQ.4.OR.K.EQ.6.OR.K.EQ.9.OR.K.EQ.11) FIM=30

C
C-----CALCULO DOS PONTOS DE ORVALHO NA BACIA-----
C

DO 10 J = 1,FIM
DO 10 I = 1,NVD

C
SOMA = 0
DIV = NPOC - NPOI + 1

C
DO 20 M = NPOI,NPOC

C
C-----TESTE PARA ENCONTRAR VALORES ALTERADOS, QUE NAO ENTRAM NO CALCULO-
C

IF(CONJ2(I,J,K,M).EQ.777777.OR.CONJ2(I,J,K,M).EQ.888888.OR.CONJ2(I
1,J,K,M).EQ.999999) DIV=DIV-1
IF(CONJ2(I,J,K,M).EQ.777777.OR.CONJ2(I,J,K,M).EQ.888888.OR.CONJ2(I
1,J,K,M).EQ.999999) GO TO 20

C
SOMA = SOMA + CONJ2(I,J,K,M)

C
20 CONTINUE

C
C-----CALCULO DA MEDIA ARITMETICA-----
C

IF(DIV.EQ.0) CONJ2(I,J,K,NPOI) = 888888
IF(DIV.EQ.1) CONJ2(I,J,K,NPOI) = SOMA
IF(DIV.GT.1) CONJ2(I,J,K,NPOI) = (SOMA + 1)/DIV

C
10 CONTINUE

C
RETURN
END

C-----
C**** SUB-ROTINA PARA IMPRIMIR OS PONTOS DE ORVALHO NA BACIA *
C-----

C
SUBROUTINE IMPR3 (CONJ2)
C NS = 15
C
IMPLICIT INTEGER (A - Z)
DIMENSION CONJ2(NVD,31,12,NP)
COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK
COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS

C
C
C-----IMPRESSAO DOS PONTOS DE ORVALHO NA BACIA-----
C

C
INICIO = 29
C
IF(BIS.EQ.1) INICIO=30

C
DO 60 LI = INICIO,31
DO 60 KI = 1,NVD

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

C      CONJ2(KI,LI,2,NPOI) = BLANK
C
C      60 CONTINUE
C
C      DO 70 NI = 1,NVD
C
C      CONJ2(NI,31,4,NPOI) = BLANK
C      CONJ2(NI,31,6,NPOI) = BLANK
C      CONJ2(NI,31,9,NPOI) = BLANK
C      CONJ2(NI,31,11,NPOI) = BLANK
C
C      70 CONTINUE
C
C      INIC = 1
C      FIM = 6
C
C      DO 10 KS = 1,2
C
C      WRITE(5,100) ANO,(MES(J),J=INIC,FIM)
100  FORMAT (1H1,6(/),46X,'PONTOS DE ORVALHO NA BACIA (GRAUS CENTIGRADO
      1S X 1C)',///,
      2//,46X,'ANO   -   ',I4,4(/),3X,'DIA',13X,5(A3,17X),A3,/,7X,6('
      3   09   15   21H'),/)
C
C      DO 20 J = 1,31
C
C      IF(J.LT.29.AND.KS.EQ.1)WRITE(5,200) J,((CONJ2(I,J,K,NPOI),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
C      IF(J.EQ.29.AND.BIS.NE.1.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,201) J,((CONJ2(I,J,K,
1NPOI),I=1,NVD),K=INIC,FIM)
C      IF(J.EQ.30.AND.KS.EQ.1)WRITE(5,201) J,((CONJ2(I,J,K,NPOI),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
C      IF(J.EQ.31.AND.KS.EQ.1)WRITE(5,202) J,((CONJ2(I,J,K,NPOI),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
C      IF(J.EQ.29.AND.BIS.EQ.1.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,200) J,((CONJ2(I,J,K,
1NPOI),I=1,NVD),K=INIC,FIM)
C      IF(J.NE.31.AND.KS.EQ.2)WRITE(5,200) J,((CONJ2(I,J,K,NPOI),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
C      IF(J.EQ.31.AND.KS.EQ.2)WRITE(5,203) J,((CONJ2(I,J,K,NPOI),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
200  FORMAT (3X,I2,6X,6(I4,2X,I4,2X,I4,4X),1X)
201  FORMAT (3X,I2,6X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,4(I4,2X,I4,2X
1,I4,4X),1X)
202  FORMAT (3X,I2,6X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,I4,2X,I4,2X,I
14,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,5X)
203  FORMAT (3X,I2,6X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A
14,4X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,I4,2X,I4,2X,I4,5X)
C
C      20 CONTINUE
C
C      INIC = FIM + 1
C      FIM = FIM + 6
C
C      10 CONTINUE

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

C
      RETURN
      END
C-----
C****      SUB-ROTINA PARA IMPRIMIR OS PONTOS DE ORVALHO NA BACIA      *
C****      EM KELVIN                                                  *
C-----
C
      SUBROUTINE IMPR3K (CONJ2,CONJ3)
C      NS = 16
C
      IMPLICIT INTEGER (A - Z)
      DIMENSION CONJ2(NVD,31,12,NP),CONJ3(NVD,31,12,NP)
      COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK
      COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
      1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS
C
C-----CALCULO DOS PONTOS DE ORVALHO EM KELVIN-----
C
      DO 12 M = NPOI,NPOC
        DO 12 K = 1,12
          DO 12 J = 1,31
            DO 12 I = 1,NVD
              CONJ3(I,J,K,M) = CONJ2(I,J,K,M) + 2732
12      CONTINUE
C
C-----IMPRESSAO DOS PONTOS DE ORVALHO NA BACIA-----
C
      INICIO = 29
C
      IF(BIS.EQ.1) INICIO=30
C
      DO 60 LI = INICIO,31
        DO 60 KI = 1,NVD
C
          CONJ3(KI,LI,2,NPOI) = BLANK
C
60      CONTINUE
C
      DO 70 NI = 1,NVD
C
          CONJ3(NI,31,4,NPOI) = BLANK
          CONJ3(NI,31,6,NPOI) = BLANK
          CONJ3(NI,31,9,NPOI) = BLANK
          CONJ3(NI,31,11,NPOI) = BLANK
C
70      CONTINUE
C
      INIC = 1
      FIM = 6
C
      DO 10 KS = 1,2
C
          WRITE(5,100) ANO,(MES(J),J=INIC,FIM)
100      FORMAT (1H1,6(/),46X,'PONTOS DE ORVALHO NA BACIA (      KELVIN

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```
1 X 10 )',///,
2//,46X,'ANO - ',I4,4(/),3X,'DIA',13X,5(A3,17X),A3,///,7X,6('
3 09 15 21H'),/)
```

C

```
DO 20 J = 1,31
```

C

```
IF(J.LT.29.AND.KS.EQ.1)WRITE(5,200) J,((CONJ3(I,J,K,NPOI),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
IF(J.EQ.29.AND.BIS.NE.1.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,201) J,((CONJ3(I,J,K,
1NPOI),I=1,NVD),K=INIC,FIM)
IF(J.EQ.30.AND.KS.EQ.1)WRITE(5,201) J,((CONJ3(I,J,K,NPOI),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
IF(J.EQ.31.AND.KS.EQ.1)WRITE(5,202) J,((CONJ3(I,J,K,NPOI),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
IF(J.EQ.29.AND.BIS.EQ.1.AND.KS.EQ.1) WRITE(5,200) J,((CONJ3(I,J,K,
1NPOI),I=1,NVD),K=INIC,FIM)
IF(J.NE.31.AND.KS.EQ.2)WRITE(5,200) J,((CONJ3(I,J,K,NPOI),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
IF(J.EQ.31.AND.KS.EQ.2)WRITE(5,203) J,((CONJ3(I,J,K,NPOI),I=1,NVD)
1,K=INIC,FIM)
200 FORMAT (3X,I2,6X,6(I4,2X,I4,2X,I4,4X),1X)
201 FORMAT (3X,I2,6X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,4(I4,2X,I4,2X
1,I4,4X),1X)
202 FORMAT (3X,I2,6X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,I4,2X,I4,2X,I
14,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,5X)
203 FORMAT (3X,I2,6X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A
14,4X,I4,2X,I4,2X,I4,4X,A4,2X,A4,2X,A4,4X,I4,2X,I4,2X,I4,5X)
```

C

```
20 CONTINUE
```

C

```
INIC = FIM + 1
FIM = FIM + 6
```

C

```
10 CONTINUE
```

C

```
RETURN
END
```

C

```
C**** SUB-ROTINA PARA CALCULO DOS PONTOS DE ORVALHO *
C**** MAXIMOS NA BACIA
```

C

C

```
SUBROUTINE ORVMA2 (CONJ2,IORVM)
```

C

```
NS = 17
```

C

```
IMPLICIT INTEGER (A - Z)
DIMENSION CONJ2(NVD,31,12,NP),IORVM(6,12,NP)
COMMON /GER/ TAB(400),NPC(9),NPOSTO(9),IANO(9),FANO(9),NPI(9),MPIS
1(9),MPFS(9),MPIU(9),MPFU(9),MPIO(9),MPFO(9)
COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS
```

C

```
M = NPOI
DO 10 K = 1,12
```

C

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

      FIM = 31
C
C-----TESTE DOS ANOS BISSEXTOS E MESES COM 28,29 E 30 DIAS-----
C
      IF(K.EQ.2) FIM=28
      IF(BIS.EQ.1.AND.K.EQ.2) FIM=29
      IF(K.EQ.4.OR.K.EQ.6.OR.K.EQ.9.OR.K.EQ.11) FIM=30
C
C-----VERIFICACAO SE E FALHA MENSAL
C
      DO 11 JJ = 1,FIM
      DO 11 II = 1,3
        IF(CONJ2(II,JJ,K,M).LT.777777) GO TO 12
        IF(JJ.LT.FIM.AND.II.LT.3) GO TO 11
        DO 13 L = 1,6
          IORVM(L,K,M) = 777777
13      CONTINUE
      GO TO 10
11      CONTINUE
C
C-----OBTENCAO DOS MAXIMOS
C
12      DO 10 L = 1,6
        IF(L.GT.5) GO TO 140
        IDI = ( L-1)*5 + 1
        IDF = IDI + 4
      GO TO 150
140      IDI = 26
        IDF = FIM
150      IAUX = 0
        DO 20 J = IDI,IDF
C
C-----COMPARACAO DOS PONTOS DE ORVALHO
C
C      I = 1
      IF(CONJ2(1,J,K,M).GT.CONJ2(2,J,K,M)) GO TO 110
      IAUX1 = CONJ2(1,J,K,M)
      GO TO 120
110      IAUX1 = CONJ2(2,J,K,M)
120      IF(CONJ2(3,J,K,M).GT.IAUX1) GO TO 180
      IAUX1 = CONJ2(3,J,K,M)
180      IF(IAUX1.LT.IAUX) GO TO 130
      IF(IAUX1.GE.777777) GO TO 20
      IAUX = IAUX1
C
C      I = 3
C
130      IF(J.EQ.FIM) GO TO 160
      J1 = J + 1
      IF(CONJ2(3,J,K,M).GT.CONJ2(1,J1,K,M)) GO TO 111
      IAUX1 = CONJ2(3,J,K,M)
      GO TO 181
111      IAUX1 = CONJ2(1,J1,K,M)
181      IF(IAUX1.LT.IAUX) GO TO 20
      IF(IAUX1.GE.777777) GO TO 20

```


FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

      IAUX = IAUX1
      GO TO 20
160  IF(K.EQ.12) GO TO 170
      K1 = K + 1
      IF(CONJ2(3,J,K,M).GT.CONJ2(1,1,K1,M)) GO TO 112
      IAUX1 = CONJ2(3,J,K,M)
      GO TO 182
112  IAUX1 = CONJ2(1,1,K1,M)
182  IF(IAUX1.LT.IAUX) GO TO 20
      IF(IAUX1.GE.777777) GO TO 20
      IAUX = IAUX1
20   CONTINUE
170  IORVM(L,K,M) = IAUX
10   CONTINUE

```

```

C
      RETURN
      END

```

```

C-----
C****      SUB-ROTINA PARA IMPRIMIR OS MAXIMOS PONTOS      *
C****      DE ORVALHO NA BACIA
C-----

```

```

C
      SUBROUTINE IMPR5 (IORVM)
C      NS = 18
C
      IMPLICIT INTEGER (A - Z)
      DIMENSION IORVM(6,12,NP)
      COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK
      COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
      1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS

```

```

C
C-----IMPRESSAO DOS PONTOS DE ORVALHO-----
C

```

```

      NVO = NPOI
C
      WRITE (5,100) ANO,(MES(I),I=1,12)
100  FORMAT (1H1,6(/),25X,'MAXIMOS PONTOS DE ORVALHO PERSISTENTES NA',
1' BACIA POR 12 HORAS (GRAUS CENTIGRADOS X 10)',///,46X,
2'ANO - ',14,5(/),5X,12(7X,A3),//)
C
      DO 10 L = 1,6
C
      WRITE(5,200) L,(IORVM(L,K,NVO),K=1,12)
200  FORMAT (2X,12,5X,12(2X,I3,5X))
10   CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

C-----
C****      SUB-ROTINA PARA CALCULAR E IMPRIMIR OS MAXIMOS      *
C****      PONTOS DE ORVALHO NA BACIA EM KELVIN
C-----

```

```

C
      SUBROUTINE ORVM2K (IORVM,IORVK)
C      NS = 19
C

```

FILE: CHEORVAL FOR

A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

      IMPLICIT INTEGER (A - Z)
      DIMENSION IORVM(6,12,NP),IORVK(6,12,NP)
      COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK
      COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
      1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS
C
C-----IMPRESSAO DOS PONTOS DE ORVALHO-----
C
      NVO = NPOI
C
      WRITE (5,100) ANO,(MES(I),I=1,12)
100  FORMAT (1H1,6(/),25X,'MAXIMOS PONTOS DE ORVALHO PERSISTENTES NA',
      1' BACIA POR 12 HORAS (      KELVIN X 10      )',///,46X,
      2'ANO      -      ',14,5(/),5X,12(7X,A3),//)
C
      DO 10 L = 1,6
C
      DO 12 K = 1,12
          IORVK(L,K,NVO) = IORVM(L,K,NVO) + 2732
12  CONTINUE
C
      WRITE(5,200) L,(IORVK(L,K,NVO),K=1,12)
200  FORMAT (2X,12,5X,12(2X,14,4X))
10  CONTINUE
      RETURN
      END
C-----
C****          SUB-ROTINA PARA CALCULO DOS PONTOS DE ORVALHO          *
C****          MAXIMOS NA BACIA NO PERIODO
C-----
C
      SUBROUTINE ORVMP2 (IORVM,IORVB)
C
      NS = 20
C
      IMPLICIT INTEGER (A - Z)
      DIMENSION IORVM(6,12,NP),IORVB(6,12,NP)
      COMMON /GER/ TAB(400),NPC(9),NPOSTO(9),IANO(9),FANO(9),NPI(9),MPIS
      1(9),MPFS(9),MPIU(9),MPFU(9),MPIO(9),MPFO(9)
      COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
      1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS
C
C-----VERIFICACAO SE E ANO INICAL
C
C
      IF(ANO.GT.IANO(1)) GO TO 20
      M = NPOI
      DO 10 K = 1,12
          DO 10 L = 1,6
              IORVB(L,K,M) = IORVM(L,K,M)
10  CONTINUE
C
C-----NO OUTROS ANOS
C
20  M = NPOI
      DO 30 K = 1,12

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

      DO 30 L = 1,6
      IF(IORVB(L,K,M).GE.777777) IORVB(L,K,M) = IORVM(L,K,M)
      IF(IORVM(L,K,M).GE.777777) GO TO 30
      IF(IORVB(L,K,M).GE.IORVM(L,K,M)) GO TO 30
      IORVB(L,K,M) = IORVM(L,K,M)
30    CONTINUE
C
      RETURN
      END
C
C-----
C****      SUB-ROTINA PARA IMPRIMIR OS MAXIMOS PONTOS      *
C****      DE ORVALHO NA BACIA NO PERIODO                  *
C-----
C
      SUBROUTINE IMPR7 (IORVB,G1,G2)
C      NS = 21
C
      IMPLICIT INTEGER (A - Z)
      DIMENSION IORVB(6,12,NP)
      COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK
      COMMON /GER/ IANO(9),FANO(9)
      COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
      1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS
C
C-----IMPRESSAO DOS PONTOS DE ORVALHO-----
C
      NVO = NPOI
C
      WRITE (5,100) G1,G2
      WRITE (5,101) (MES(I),I=1,12)
100  FORMAT (1H1,6(/),25X,'MAXIMOS PONTOS DE ORVALHO PERSISTENTES NA ',
1'BACIA POR 12 HORAS (GRAUS CENTIGRADOS X 10)',///,46X,
25(/),50X,'PERIODO ',I4,' - ',I4)
101  FORMAT(3(/),5X,12(7X,A3),/)
C
      DO 10 L = 1,6
C
      WRITE(5,200) L,(IORVB(L,K,NVO),K=1,12)
200  FORMAT (2X,12,5X,12(2X,I3,5X))
10   CONTINUE
      RETURN
      END
C
C-----
C****      SUB-ROTINA PARA CALCULAR E IMPRIMIR OS MAXIMOS      *
C****      PONTOS DE ORVALHO NA BACIA NO PERIODO EM KELVIN      *
C-----
C
      SUBROUTINE ORV2PK (IORVB,G1,G2,IORVK)
C      NS = 22
C
      IMPLICIT INTEGER (A - Z)
      DIMENSION IORVB(6,12,NP),IORVK(6,12,NP)
      COMMON /TIT/ NOME(9,4),MES(12),BLANK

```

FILE: CHEORVAL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```
COMMON /GER/ IANO(9),FANO(9)
COMMON /ESC/ NP,NVD,IS,NPIS,NPFS,IU,NPIU,NPFU,IO,NPIO,NPFO,IOB,NCO
1MB,ANO,NPOC,NPOI,BIS
```

```
C
C-----IMPRESSAO DOS PONTOS DE ORVALHO-----
```

```
C
```

```
    NVO = NPOI
```

```
C
```

```
    WRITE (5,100) G1,G2
    WRITE (5,101) (MES(I),I=1,12)
100  FORMAT (1H1,6(/),25X,'MAXIMOS PONTOS DE ORVALHO PERSISTENTES NA ',
1    'BACIA POR 12 HORAS (      KELVIN X 10  )',///,46X,
    25(/),50X,'PERIODO ',14,' - ',14)
101  FORMAT(3(/),5X,12(7X,A3),//)
```

```
C
```

```
    DO 10 L = 1,6
```

```
C
```

```
    DO 12 K = 1,12
        IORVK(L,K,NVO) = IORVB(L,K,NVO) + 2732
```

```
12
```

```
    CONTINUE
```

```
C
```

```
    WRITE(5,200) L,(IORVK(L,K,NVO),K=1,12)
200  FORMAT (2X,12,5X,12(2X,14,4X))
10  CONTINUE
    RETURN
    END
```

```
C-----
```

```
C****      SUB-ROTINA PARA IMPRIMIR CODIGOS DE ERROS      *
C****                                           *
C****      NUMERO          DESCRICAO          *
C****      1 ----- NUMERO DE POSTOS MAIOR QUE 9 OU MENOR QUE 1 *
C****      2 ----- NUMERO DE COMBINACOES MAIOR QUE 9 *
C****      3 ----- NUMERO DE POSTO INICIAL PARA IMPRIMIR TEMPERATURA *
C****                      SECA MAIOR QUE 9 *
C****      4 ----- NUMERO DO POSTO FINAL PARA IMPRIMIR TEMPERATURA *
C****                      SECA MAIOR QUE 9 *
C****      5 ----- NUMERO DO POSTO INICIAL PARA IMPRIMIR TEMPERATURA *
C****                      UMIDA MAIOR QUE 9 *
C****      6 ----- NUMERO DO POSTO FINAL PARA IMPRIMIR TEMPERATURA *
C****                      UMIDA MAIOR QUE 9 *
C****      7 ----- NUMERO DO POSTO INICIAL PARA IMPRIMIR PONTO DE *
C****                      ORVALHO MAIOR QUE 9 *
C****      8 ----- NUMERO DO POSTO FINAL PARA IMPRIMIR PONTO DE *
C****                      ORVALHO MAIOR QUE 9 *
C****      9 ----- NUMERO DO POSTO INICIAL PARA IMPRIMIR TEMPERATURA *
C****                      SECA MAIOR QUE O NUMERO DO POSTO FINAL *
C****      10 ----- NUMERO DO POSTO INICIAL PARA IMPRIMIR TEMPERATURA *
C****                      UMIDA MAIOR QUE O NUMERO DO POSTO FINAL *
C****      11 ----- NUMERO DO POSTO INICIAL PARA IMPRIMIR PONTOS DE *
C****                      ORVALHO MAIOR QUE O NUMERO DO POSTO FINAL *
C****      12 ----- NUMERO DE POSTOS COMBINADOS EM QUALQUER PERIODO *
C****                      MAIOR QUE NP(NUMERO DE POSTOS) *
C****      13 ----- NUMERO DO ANO FINAL EM QUALQUER COMBINACAO MENOR *
C****                      QUE O NUMERO DO POSTO INICIAL *
C****      14 ----- NUMERO DO ANO INICIAL NUMA COMBINACAO NAO E IGUAL *
```

FILE: CHEORVAL FOR

A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

C*****      AO NUMERO DO ANO FINAL NA COMBINACAO ANTERIOR + 1 *
C*****      15 ----- NUMERO DO ANO INICIAL NUMA COMBINACAO MENOR QUE 0 *
C*****      NUMERO DO ANO INICIAL NA COMBINACAO ANTERIOR *
C*****      16 ----- NUMERO DO ANO FINAL NUMA COMBINACAO MENOR QUE 0 *
C*****      NUMERO DO ANO FINAL NA COMBINACAO ANTERIOR *
C*****      17 ----- NUMERO TOTAL DE ANOS NAO E IGUAL A SOMA DOS ANOS *
C*****      PARCIAIS NAS COMBINACOES *
C*****      18 ----- NUMERO DO CARTAO QUE DEVERIA ESTAR SENDO LIDO *
C*****      DIFERE DO NUMERO CONSTANTE NO CARTAO *
C*****      19 ----- NUMERO DO MES QUE DEVERIA ESTAR SENDO LIDO DIFERE *
C*****      DO NUMERO DO MES CONSTANTE NO CARTAO *
C*****      20 ----- NUMERO DO ANO QUE DEVERIA ESTAR SENDO LIDO DIFERE *
C*****      DO NUMERO DO ANO CONSTANTE NO CARTAO *
C*****      21 ----- NUMERO DO POSTO QUE DEVERIA ESTAR SENDO LIDO *
C*****      DIFERE DO NUMERO DO POSTO CONSTANTE NO CARTAO *
C*****      22 ----- HA UM VALOR DA TEMPERATURA UMIDA MAIOR QUE *
C*****      40 GRAUS CENTIGRADOS *
C*****      23 ----- HA UM VALOR DA UMIDADE RELATIVA MAIOR QUE 100 *

```

```

C-----
C
      SUBROUTINE ERRO (L)
C      NS = 23
C
      COMMON /TES/ KNUM,KMES,KANO,KPOS
C
      IF (L .EQ. 0) GOTO 300
      WRITE (5,100) L
100  FORMAT (///,10X,'ERRO NUMERO ',I2)
C
      IF(L.GT.17) WRITE(5,200) KNUM,KMES,KANO,KPOS
200  FORMAT(/,10X,'ERRO NO CARTAO LIDO - IDENTIFICACAO',4I3)
C
      STOP
300  CONTINUE
      RETURN
      END

```

/*

ANEXO 2: PROGRAMA CHEPMPEL

FILE: CHEPMPEL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

C-----
C*****     ESTE PROGRAMA TEM POR FIM CALCULAR AS MASSAS DE VAPOR      *
C*****     DE AGUA EM UMA COLUNA DE AR E OS COEFICIENTES DE MAXI-    *
C*****     MIZACAO DA PMP SEGUNDO A METODOLOGIA DESCRITA NO GUIA      *
C*****     PARA CALCULO DE CHEIA DE PROJETO DE VERTEDORES -EBRAS,    *
C*****     ISTO E ,CONSIDERANDO :                                     *
C*****          A) AGUA TOTAL PRECIPITAVEL                          *
C*****          B) AGUA EFETIVAMENTE PRECIPITAVEL                   *
C*****          B1) MODELO M1                                       *
C*****          B2) MODELO M2                                       *
C*****          B3) MODELO M3                                       *
C*****
C-----
C
C*****     PROGRAMA PRINCIPAL                                         ****
C-----
C      IMPLICIT REAL * 8 (A-H,O-Z)
C      DIMENSION PSATU(100),TSATU(100),RSATU(100),LSATU(100),TITU(10)
C      DIMENSION TSATUO(100),RSATUO(100),TITU1(12)
C      DIMENSION TSATUM(100),RSATUM(100)
C      REAL * 8 L,LA,LB,LSATU,MEL
C
C-----LEITURA DO NUMERO DE CASOS A CALCULAR-----
C
C      READ (5,2000) IC,(TITU1(J),J=1,12)
C
C      DO 77 K = 1,IC
C
C-----LEITURA DO TITULO E DOS DADOS-----
C
C      READ (5,1000) (TITU(J),J=1,10)
C
C      READ(5,100) TO, TM, PO, PT, DELTAP, E
C*
C*      TO = PONTO DE ORVALHO PERSISTENTE, EM KELVIN;
C*      TM = PONTO DE ORVALHO MAXIMO HISTORICO, EM KELVIN;
C*      PO = PRESSAO NA SUPERFICIE, EM KPA;
C*      PT = PRESSAO NA SUPERFICIE SUPERIOR DAS NUVENS, EM KPA;
C*      DELTAP = INTERVALO DE DISCRETIZACAO DA PRESSAO, EM KPA;
C*      E = ERRO ADMISSIVEL NA RESOLUCAO DE TB.
C*
C-----DISCRETIZACAO DO DOMINIO DE PRESSAO -----
C
C      I = 1
C      PSATU(I) = PO
C      5      I = I + 1
C      IF(I.GT.100) STOP
C      I1 = I - 1
C      PSATU(I) = PSATU(I1) - DELTAP
C      IF(PSATU(I).GT.PT) GO TO 5
C
C-----1* DEFINICAO DO PERFIL DE VARIACAO DA TEMPERATURA COM A PRESSAO --
C-----NUMA ATMOSFERA PSEUDO-ADIABATICA SATURADA-----
C-----1.1* NAS CONDICoes REINANTES(PERSISTENTES)-----
C

```

FILE: CHEPMPEL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

      TA = TO
      CALL PERFIL (TA,PO,PT,DELTAP,E,PSATU,TSATU,RSATU)
C
      I = 0
10     I = I + 1
      TSATUO(I) = TSATU(I)
      RSATUO(I) = RSATU(I)
      IF(PSATU(I).GT.PT) GO TO 10
C
C-----1.2* NAS CONDICÕES DE MAXIMO HISTORICO-----
C
      TA = TM
      CALL PERFIL (TA,PO,PT,DELTAP,E,PSATU,TSATU,RSATU)
C
      I = 0
20     I = I + 1
      TSATUM(I) = TSATU(I)
      RSATUM(I) = RSATU(I)
      IF(PSATU(I).GT.PT) GO TO 20
C
C-----IMPRESSAO DO PERFIL
C
      WRITE (6,1102) (TITUL(J),J=1,12)
      WRITE (6,200)
      WRITE (6,300)
      II = (PO - PT)/DELTAP + 1
      DO 30 I = 1,50
      IF(I.GT.II) GO TO 50
      WRITE(6,400) PSATU(I),TSATUO(I),RSATUO(I),TSATUM(I),RSATUM(I)
30    CONTINUE
C
      WRITE (6,1102) (TITUL(J),J=1,12)
      WRITE (6,200)
      WRITE(6,301)
      DO 40 I = 51,II
      WRITE(6,400) PSATU(I),TSATUO(I),RSATUO(I),TSATUM(I),RSATUM(I)
40    CONTINUE
C
C-----2* CALCULO DA AGUA TOTAL PRECIPITAVEL E DO COEFICIENTE DE MAXIMI--
C-----ZACAO-----
C
50     G = 9.81
C-----2.1* NAS CONDICÕES REINANTES(PERSISTENTES)-----
C
      WPO = 0.
      IT = II - 1
C
      DO 60 I = 1,IT
      II = I + 1
      WPO = WPO + (((RSATUO(I) + RSATUO(II))/2) * DELTAP*1000)/G)
60    CONTINUE
C
C-----2.2* NAS CONDICÕES DE MAXIMO HISTORICO-----
C
      WPM = 0.

```


FILE: CHEPMPEL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

DO 70 I = 1,IT
  I1 = I + 1
  WPM = WPM + (((RSATUM(I) + RSATUM(I1))/2) * DELTAP*1000)/G)
70  CONTINUE
C
C-----2.3* CALCULO DO COEFICIENTE DE MAXIMIZACAO-----
C
      FP = WPM/WPO
C
C-----3* CALCULO DA AGUA EFETIVAMENTE PRECIPITAVEL E DO COEFICIENTE DE
C-----MAXIMIZACAO-----
C-----3.1* MODELO M1-----
C
      P1 = PO
      P2 = 70.
      P3 = 40.
      P4 = PT
C
      IF(PO.GT.P2.OR.PT.LT.P4) GO TO 311
      FM1 = 9999999.
      WRITE(6,1100) (TITU(I),I=1,10)
      WRITE(6,1101) PO,P2,PT,P4
      GO TO 32
C
C-----3.1.1* NAS CONDICÕES REINANTES(PERSISTENTES)-----
C
311  CALL EFEPRE (G,IT,RSATUO,PSATU,P1,P2,P3,P4,W12,W34,WE,DELTAP)
      W0112 = W12
      W0134 = W34
      WEO1 = WE
C
C-----3.1.2* NAS CONDICÕES DE MAXIMO HISTORICO-----
C
      CALL EFEPRE (G,IT,RSATUM,PSATU,P1,P2,P3,P4,W12,W34,WE,DELTAP)
      WM112 = W12
      WM134 = W34
      WEM1 = WE
C
C-----3.1.3* CALCULO DO COEFICIENTE DE MAXIMIZACAO-----
C
      FM1 = WEM1/WEO1
C
C-----3.2* MODELO M2-----
C
32   P1 = PO
      P2 = 90.
      P3 = 20.
      P4 = PT
C
      IF(PO.GT.P2.OR.PT.LT.P4) GO TO 321
      FM2 = 9999999.
      WRITE(6,1100) (TITU(I),I=1,10)
      WRITE(6,1101) PO,P2,PT,P4
      GO TO 33
C

```

FILE: CHEPMPEL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

C
C-----3.2.1* NAS CONDICÕES REINANTES(PERSISTENTES)-----
C
321  CALL EFEPRE (G,IT,RSATUO,PSATU,P1,P2,P3,P4,W12,W34,WE,DELTAP)
      WO212 = W12
      WO234 = W34
      WEO2 = WE
C
C-----3.2.2* NAS CONDICÕES MÁXIMAS-----
C
      CALL EFEPRE (G,IT,RSATUM,PSATU,P1,P2,P3,P4,W12,W34,WE,DELTAP)
      WM212 = W12
      WM234 = W34
      WEM2 = WE
C
C-----3.2.3* CÁLCULO DO COEFICIENTE DE MÁXIMIZAÇÃO-----
C
      FM2 = WEM2/WEO2
C
C-----3.3* MODELO M3-----
C
33   P1 = PC
      P2 = 98.
      P3 = 12.
      P4 = PT
C
      IF(PC.GT.P2.OR.PT.LT.P4) GO TO 331
      FM3 = 9999999.
      WRITE(6,1100) (TITU(I),I=1,10)
      WRITE(6,1101) PO,P2,PT,P4
      GO TO 11
C
C
C-----3.3.1* NAS CONDICÕES REINANTES(PERSISTENTES)-----
C
331  CALL EFEPRE (G,IT,RSATUO,PSATU,P1,P2,P3,P4,W12,W34,WE,DELTAP)
      WO312 = W12
      WO334 = W34
      WEO3 = WE
C
C-----3.3.2* NAS CONDICÕES MÁXIMAS-----
C
      CALL EFEPRE (G,IT,RSATUM,PSATU,P1,P2,P3,P4,W12,W34,WE,DELTAP)
      WM312 = W12
      WM334 = W34
      WEM3 = WE
C
C-----3.3.3* CÁLCULO DO COEFICIENTE DE MÁXIMIZAÇÃO-----
C
      FM3 = WEM3/WEO3
C
C-----IMPRESSÃO DOS MODELOS,DAS MASSAS DE VAPOR DE ÁGUA E DOS FATORES
C-----DE MÁXIMIZAÇÃO
C
11   IF(K.GT.1) GO TO 111

```

FILE: CHEPMPEL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```
WRITE (6,1100) (TITU1(J),J=1,12)
WRITE (6,500)
WRITE (6,501) PO,PT,PO,PT,PO,PT
```

C

```
111 WRITE (6,1100) (TITU1(J),J=1,12)
WRITE (6,1111) (TITU(J),J=1,10)
WRITE (6,600)
WRITE (6,601) TO,TM,WPO,WPM
WRITE (6,602) WO112,WO134,WEO1,WM112,WM134,
1WEM1,WO212,WO234,WEO2,WM212,WM234,
2WEM2,WO312,WO334,WEO3,WM312,WM334,WEM3
```

C

```
WRITE (6,700) FM1,FM2,FM3,FP
```

C

C-----FORMATOS DE LEITURA E DE IMPRESSAO-----

C

```
100 FORMAT (6(F6.0))
200 FORMAT (1(/),40X,'TEMPERATURA E RAZAO DE MISTURA EM FUNCAO ',
1'DA PRESSAO ')
300 FORMAT (3(/),46X,'PERSISTENTE',38X,'MAXIMO',/,20X,'PRESSAO(KPA)',
13X,'TEMPERATURA(K)',3X,'RAZAO DE MISTURA',
213X,'TEMPERATURA(K)',3X,'RAZAO DE MISTURA',/)
301 FORMAT (58X,'( CONTINUACAO )',/,46X,'PERSISTENTE',38X,'MAXIMO',
1/,20X,'PRESSAO(KPA)',3X,'TEMPERATURA(K)',3X,'RAZAO DE MISTURA',
213X,'TEMPERATURA(K)',3X,'RAZAO DE MISTURA',/)
400 FORMAT (23X,F6.1,12X,F6.1,10X,F8.6,20X,F6.1,10X,F8.6)
500 FORMAT (6(/),24X,'MODELOS DE TEMPESTADES USADAS NO CALCULO DA ',
1'MASSA DE VAPOR DE AGUA EFETIVAMENTE PRECIPITAVEL')
501 FORMAT (6(/),30X,80('-'),/,45X,'MODELO',
110X,'P1(KPA)',2X,'P2(KPA)',2X,'P3(KPA)',2X,'P4(KPA)',/,30X,
280('-'),/,48X,'M1',12X,F5.0,5X,'70.',5X,'40.',5X,F5.0,
3/,48X,'M2',12X,F5.0,5X,'90.',5X,'20.',5X,F5.0,
4/,48X,'M3',12X,F5.0,5X,'98.',5X,'12.',5X,F5.0,/,30X,80('-'))
```

C

```
600 FORMAT (/ ,26X,'MASSA TOTAL DE VAPOR DE AGUA E MASSA DE VAPOR',
1' DE AGUA EFETIVAMENTE PRECIPITAVEL,EM KG/M2',/,36X,
2'PARA AS TEMPERATURA DE PONTO DE ORVALHO PERSIS',
3'TENTES E MAXIMO HISTORICO')
601 FORMAT (/,30X,80('-'),/,30X,'MODELO',
114X,'W12',6X,'W34',6X,'WE',18X,'W12',6X,'W34',6X,'WE',/,30X,
280('-'),/,54X,'TO = ',F6.1,28X,'TM = ',F6.1,/,54X,'WPO = ',
3F6.2,27X,'WPM = ',F6.2)
602 FORMAT (/,30X,80('-'),/,32X,'M1',10X,3(3X,F6.2),11X,3(3X,F6.2),
1/,32X,'M2',10X,3(3X,F6.2),11X,3(3X,F6.2),
2/,32X,'M3',10X,3(3X,F6.2),11X,3(3X,F6.2),/,30X,80('-'))
```

C

```
700 FORMAT (/,59X,'FATORES DE MAXIMIZACAO ',/,30X,80('-'),/,30X,
1'CRITERIO',12X,'M1',17X,'M2',17X,'M3',17X,'MP',/,30X,80('-'),/,
232X,'F',4(15X,F4.2),/,30X,80('-'))
```

C

```
1000 FORMAT (10A4)
1100 FORMAT (1H1,/,41X,12A4)
1111 FORMAT (/,45X,10A4)
1101 FORMAT (10X,'PO ',F5.0,'P2 ',F5.0,'PT ',F5.0,'P4 ',F5.0)
1102 FORMAT (1H1,/,41X,12A4)
```

FILE: CHEPMPPEL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

2000 FORMAT (I2,I2A4)
C
77    CONTINUE
C
      RETURN
      END
C-----
C****    SUB-ROTINA PARA DEFINICAO DO PERFIL DE VARIACAO DA          *
C****    TEMPERATURA COM A PRESSAO                                *
C-----
C
      SUBROUTINE PERFIL (TA,PO,PT,DELTAP,E,PSATU,TSATU,RSATU)
      IMPLICIT REAL * 8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION PSATU(100),TSATU(100),RSATU(100),LSATU(100)
      REAL * 8 L,LA,LB,LSATU,MEL
C
C
C-----A* CALCULO DAS CONDICAOES NA SUPERFICIE-----
C
      PA = PO
C
      CALL PARAME (PA,TA,RA,LA)
C
      I = 1
      RSATU(I) = RA
      TSATU(I) = TA
      LSATU(I) = LA
C
C-----B* DEFINICAO DO PERFIL
C-----B.1* CALCULO DE PB
C
      40  I = I - 1
          PB = PSATU(I)
C
C-----B.2* DETERMINACAO NUMERICA DE TB POR NEWTON
C
      T1 = TA
C
      10  CALL PARAME (PB,T1,RB,LB)
C
C
      F1= PRESTE(TA,PA,RA,LA,T1,PB,RB,LB)
C
      DEL = T1/10000.
      T2 = T1 + DEL
      CALL PARAME (PB,T2,RB,LB)
C
      F2 = PRESTE(TA,PA,RA,LA,T2,PB,RB,LB)
C
      MEL = DEL/((F2/F1)-1)
      IF(ABS(MEL).LE.E) GO TO 20
      T1 = T1 - MEL
      GO TO 10
C
      20  TB = T1

```

FILE: CHEPMPEL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

```

C
      CALL PARAME (PB,TB,RB,LB)
C
      RSATU(I) = RB
      TSATU(I) = TB
      LSATU(I) = LB
      IF(PSATU(I).EQ.PT) GO TO 30
C
C-----B.3* INVERSAO DOS INDICES E PASSAGEM PARA NOVO TRECHO
C
      PA = PB
      TA = TB
      RA = RB
      LA = LB
      GO TO 40
30    CONTINUE
C
      RETURN
      END
C-----
C****      SUB-ROTINA PARA CALCULO DOS PARAMETROS "R" E "L"      *
C-----
C
      SUBROUTINE PARAME (P,T,R,L)
      IMPLICIT REAL * 8 (A-H,O-Z)
      REAL * 8 L,LA,LB
C
      TR = 1 - (373.15/T)
      A = 101325.
      B = 13.3185
      C = 1.9760
      D = 0.6445
      S = 0.1299
C
      ESATU=A*EXP(B*TR - C*(TR**2) - D*(TR**3) - S*(TR**4))
C
      R = (0.622*ESATU)/(P*1000-ESATU)
C
      L = 3145780.- 2361.*T
C
      RETURN
      END
C-----
C****      FUNCAO PARA O CALCULO DE F      *
C-----
C
      FUNCTION PRESTE (TA,PA,RA,LA,TB,PB,RB,LB)
      IMPLICIT REAL * 8 (A-H,O-Z)
      REAL * 8 L,LA,LB
C
      CPS = 1005.
      RS = 287.
C
      CT = CPS*(DLOG(TB/TA))
      RP = RS*(DLOG(PB/PA))

```

FILE: CHEPMPEL FOR A1 VM/SP RELEASE 4, EXPRESS PUT8701+ SLU415

RLB = (LB*RB)/TB
RLA = (LA*RA)/TA

C
PRESTE = CT - RP + RLB - RLA

C
RETURN
END

C-----
C**** SUB-ROTINA PARA CALCULO DAS MASSAS DE VAPOR DE AGUA *
C**** EFETIVAMENTE PRECIPITAVEL - MODELOS M1, M2 E M3 *
C-----

C
SUBROUTINE EFEPRE (G,IT,RSATU,PSATU,P1,P2,P3,P4,W12,W34,WE,DELTAP)

C
IMPLICIT REAL * 8 (A-H,O-Z)
DIMENSION RSATU(100),PSATU(100)
REAL * 8 L,LA,LB

C
W12 = 0.
W34 = 0.

C
DO 10 I = 1,IT
I1 = I + 1

C
IF(PSATU(I1).GE.P2) GO TO 21
GO TO 20

21 W12 = W12 + (((RSATU(I) + RSATU(I1))/2)*DELTAP*1000)/G
GO TO 10

C
20 IF(PSATU(I).GT.P3) GO TO 10
W34 = W34 + (((RSATU(I) + RSATU(I1))/2)*DELTAP*1000)/G

C
10 CONTINUE

C
WE = W12 - ((P1- P2)/(P3-P4))*W34

C
RETURN
END

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ALCÂNTARA, U.M.A. Vazão máxima do Rio Rainha. Rio de Janeiro, Sursan, 1963.
- 2 ANJOS, N. F. R. dos & ALMEIDA, S. B. Diagnóstico preliminar dos critérios utilizados pelo setor elétrico para o cálculo das vazões de projeto de vertedores. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA, 4. Fortaleza, 1981. Anais., São Paulo, Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1981. v .4, p.452-63.
- 3 AUSTRALIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS. Guidelines on design floods for dams. Australia, 1986. 37 p.
- 4 BLAIR, T.A. & FITE, R. C. Weather Elements. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1965. 364 p.
- 5 BRASIL. Leis, decretos, etc. Decreto nº 81621, de 03 de maio de 1978. Diário Oficial. Brasília, 04 maio 1978. Seção 1, pt. 1, p. 6281. Aprova o quadro geral de unidades de medida, em substituição ao anexo do Decreto nº 63.233, de 12 de set. 1968.
- 6 _____. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Inventário das estações pluviométricas. Brasília, 1987.
- 7 CENTRO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA PROFESSOR PARIGOT DE SOUZA. Frequência de Cheias; estudos hidrológicos na bacia do Rio Iguaçu. Curitiba, 1975. (Comunicação nº 1).

- 8 CHOW, Ven Te. A general formula for hydrologic frequency analysis. Transactions of American Geophysical Union, 32 (2):231-7.
- 9 _____. Statistical and probability analysis of hydrologic data; frequency analysis. In: _____. Handbook of applied hydrology. New York, McGraw-Hill, 1964. Section 8, part I. p.8.1-8.42.
- 10 CLARKE-HAFSTAD, K. A statistical method for estimating the reliability of a station-year rainfall-record. Transactions of the American Geophysical Union. Washington, National Research Council:526-9, Aug. 1938, part. I.
- 11 _____. Reliability of station-year rainfall frequency determinations. Transactions of American Society of Civil Engineers, 107:633-52, 1942.
- 12 CONSÓRCIO HIDROSERVICE - HIDRENED. Determinação da enchente máxima provável afluente ao reservatório de Garabi; relatório sumário. S.l., 1985.
- 13 DAMÁZIO, J. M. & KELMAN, J. Use of historical data in flood-frequency analysis. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FLOOD FREQUENCY AND RISK ANALYSES, Baton Rouge, 1986. Hydrologic frequency modeling. Dordrecht, D. Reidel, 1987. p. 487-97.
- 14 DAMÁZIO, J. M.; MOREIRA, J. C.; COSTA, J. P.; KELMAN, J. Cheia de projetos para vertedor. Rio de Janeiro, Cepel, 1983. (Relatório Técnico CEPEL nº 158/83).
- 15 DAWDY, D. R. & LETTENMAIER, D. P. Initiative for risk-based flood design. J. of Hydraulic Engineering, ASCE, 113(8):1041-51, Aug. 1987.

- 16 ELETROBRÁS. Guia para cálculo de cheia de projeto de vertedores. s. l., 1987.
- 17 EUA. Bureau of Reclamation. Design of small dams. Washington, 1977. p. 37-58.
- 18 FAHLBUSCH, F. E. Optimum designs flood for spillways. Water Power and Dam Construction, 31 (11):79-84, Nov. 1979.
- 19 FILL, H. D. O. A. Determinação de cheias de projeto. Apresentado no Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 4, Fortaleza, 1981.
- 20 _____. Critérios de escolha das melhores distribuições para avaliar a vazão decamilenar. Comunicação Pessoal. 1986.
- 21 _____. Informações hidrológicas. In: MODELOS PARA GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS. São Paulo, Nobel/ABRH, 1987. cap. 2, p.121-31.
- 22 FILL, H. D. O. A.; BORSTEL, M. R. von. Influência de uma cascata de reservatório no fenômeno das cheias; aplicação ao Rio Iguaçu. Revista Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos. São Paulo, DAEE/ABRH (2):34-7, 1979.
- 23 FILL, H. D. O. A.; BORSTEL, M. R. von.; SANTOS, A. F. dos. Análise da distribuição de vazões máximas no Rio Tibagi. In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 4, Fortaleza, 1981. Anais. São Paulo, Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1981. v.1, p.468-503.
- 24 FILL, H. D. O. A.; SUGAI, M. R. von. B.; PINTO, N. L. S. The 1983 Iguaçu River flood; effect of a rare flood on frequency. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FLOOD FREQUENCY AND RISK ANALYSES. 1, Baton Rouge, 1986, Hydrologic

- frequency modeling. Dordrecht, D. Reidel, 1987. p. 499-504.
- 25 FILL, H. D. O. A.; ZSCHOERPER, D. J. Comparação da máxima precipitação provável com o método de Gumbel na bacia do Rio Iguaçu. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 3, Brasília, 1979. Anais. s.l., s. ed., 1979. v. 1, p. 311-23.
- 26 GOMES, A. M.; PALERMO, M. A.; NAKAYAMA, P. T. Concepção de tormentas de projeto; cotejo entre as aplicações dos enfoques hidrometeorológicos e estatísticos para a bacia do Rio Tamanduatei. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 5, Blumenau, 1983. Anais. Florianópolis, ABRH, 1983. v. 2, p. 341-58.
- 27 GOMIDE, F. L. S. & KAVISKI, E. Poder de testes de adequação de ajuste; uma investigação experimental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. 4, Fortaleza, 1981. Anais. São Paulo, Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1981. v.1, p. 551-62.
- 28 HEHL, M. E. FORTTRAN IV. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1985, 232 p.
- 29 HERSHFELD, D. M. Estimating the probable maximum precipitation. J. of the Hydraulic Division. ASCE, 87(HY5):99-116, Sept. 1961.
- 30 _____. Method for estimating probable maximum rainfall. J. of American Water Works Association, 57 (8):965-72, Ag. 1965.
- 31 INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. 16th Congress of ICOLD - IV. Water Power and Dam Construction, 41 (1):37-40, Jan. 1989.

- 32 KAMOGAWA, L. F. Análise crítica dos fatores de frequência tabeladas por Leonardo L. Weiss para lei dos extremos tipo I. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 4, Fortaleza, 1981. Anais. São Paulo, Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1981. V.2, p.569-77.
- 33 KELMAN, J. Cheias e aproveitamentos hidrelétricos. Rio de Janeiro, ABRH/RBE, 1987. 175 p.
- 34 KITE, G. W. Frequency and risk analysis in hydrology. 2.ed. Fort Collins, Water Resources Publ., 1978. 224 p.
- 35 LINSLEY, R. K. Hydrology for engineers. 2. ed. New York, McGraw-Hill, 1975. 482 p.
- 36 LINSLEY R. K.; KOHLER, M. A.; PAULHUS, J. L. H. Aplied hydrology. New York, McGraw-Hill, 1949. 689 p.
- 37 LOUKOLA, E.; KUUSISTO, E.; REITER, P. The finnish approach to dam safety. Water Power Dam Construction. 37(11):22-4, Nov. 1985.
- 38 MOLION, L. C. B. Comentários sobre guia para cálculo de cheia de projeto de vertedores. Seminário realizado pela ELETROBRÁS de 16 a 18 de setembro de 1987 em Itaipava, Rio de Janeiro.
- 39 MOREIRA, J. dos S. Elementos de estatística. 9 ed. São Paulo, Ed. Atlas, 1982. 170 p.
- 40 MUÑOZ-ESPINOSA, H. R. Chuvas de projeto na bacia do Rio Uruguai; comparação de resultados mediante análise de frequência e o método hidrometeorológico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 4, Fortaleza, 1981. Anais. São Paulo, Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1981. v. 2, p. 443-47.

- 41 NEWTON, D. M. Realistic assessment of maximum flood potentials. J. of Hydraulic Engineering. ASCE, 109(6):905-18, June 1983.
- 42 _____. TVA practice in flood frequency and risk analysis. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FLOOD FREQUENCY AND RISK ANALYSES. Baton Rouge, 1986. Application of frequency and risk in water resources. Dordrecht, D. Reidel, 1987. p. 429-38.
- 43 PETTERSEN, S. Meteorology. In: CHOW, Ven Te. Handbook of applied hydrology; a compendium of water-resources technology. New York, McGraw-Hill, 1964. Section 3, p. 3.1-3.3.
- 44 PESSOA, M. de L. The hydrological utilisation of radar derived rainfall data in modelling extreme storm behaviour. Birmingham, University of Birminham, 1988. p. 124-33. (Qualifying thesis, M.Phil.).
- 45 PFAFSTETTER, O. Chuvas Intensas no Brasil. s.l., Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1957. p. 1-15.
- 46 _____. Floods for spillway design. In: CONGRÈS DES GRANDS BARRAGES, 9, Instamboul, 1967. Compte rendu. Instamboul, ICOLD, 1967. Q. 33, R. 12, p. 181-97.
- 47 PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. Hidrologia básica. São Paulo, E. Blucher, 1976. 278 p.
- 48 PRADO BENAVENTE, A. N. de. Estatística básica para planificación. México, D. D., 1971. 234 p.
- 49 PRASAD, T. SUBRAMANYA, K. Designs flood computation with limited data; case study of a reservoir in Subernrekha River basin. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FLOOD FREQUENCY AND RISK ANALYSES, Baton Rouge, 1986. Application of

- frequency and risk in water resources. Dordrecht, D. Reidel, 1987. p. 123-37.
- 50 RAUDKIVI, A. J. Hydrology; an advanced introduction to hydrological processes and modelling. New York, Pergamon, 1979. 479 p.
- 51 REMENIERAS, G. Tratado de hidrologia aplicada. Barcelona, Ed. Técnicos Asociados, 1974. 515 p.
- 52 RIEDEL, J. T. Assessing the probable maximum flood. Water Power & Dam Construction. 29(12):29-34, Dec. 1977.
- 53 RIGGS, H. C. Frequency Curves. In: TECHNIQUES OF WATER-RESOURCES INVESTIGATIONS OF UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Washington, United States Government Print. Off., 1968. Book 4. Chapter A2.
- 54 ROCHE, M. Hydrologie de Surface. Paris, Gautiers-Villars, 1963, 429 p.
- 55 SAELTHUN, N. R. Contribution to chpt 4.3 of the design flood calculation practices and methods (ICOLD). Meeting of July 4, 1989 at Copenhagen.
- 56 SNEDECOR, G. W. & COCHRAN, W. G. Statistical methods. 7. ed. Ames, Iowa State University, 1980.
- 57 SPIEGEL, M. R. Probabilidade e estatística. São Paulo, McGraw-Hill, 1978. 518 p. (Coleção Schaum).
- 58 STROBEL, O. M. Homogeneidade de séries temporais. Revista Brasileira de Engenharia. Rio de Janeiro, 5(1):5-30, 1987.
- 59 _____. Identificação de regiões hidrologicamente homogêneas através de análise fatorial de componentes principais. Revista Brasileira de Engenharia. Rio de Janeiro, 5(1):31-52, 1987a.

- 60 THOMAS, H. H. The engineering of large dams. London, J. Wiley, 1976. Part I, Chapter 3, p. 35.
- 61 VIESSMAN JR, W.; HARBAUGH, T.C.; KNAPP, J.W. Introduction to hydrology. New York, Intext Educational, 1972. 415 p.
- 62 VILLEGAS, F. & CADAVID, J. L. Design flood for Cañafisto dam. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FLOOD FREQUENCY AND RISK ANALYSES, 1, Baton Rouge, 1986. Application of frequency and risk in water resources. Dordrecht, D. Reidel, 1987. p.79-90.
- 63 VISWANADHAN, Y. The relationship between total precipitable water and surface dew point. J. of Applied Meteorology 20(1):3-8, jan. 1981.
- 64 WALLIS, J. R. Risk and uncertainties in the evaluation of flood events for the design of hydrologic structures. In: SEMINAR ON EXTREME HYDROLOGICAL EVENTS; FLOODS AND DROUGHTS, Erice, Italy, 1980. Proceedings. s. n. t. p. 1-42.
- 65 WELLINGTON, N. B. A review of risk analysis procedure for dam safety assessment. Ancold Bulletin (78):45-54, Dec. 1987.
- 66 WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Manual for estimation of probable maximum precipitation. Geneva, 1973. p. XII. (Operational Hydrology Report, 1).
- 67 YEVJEVICH, V. Misconceptions in hydrology and their consequences. Water Resources Research. 4(2):225-32, April 1968.