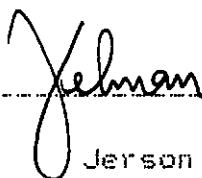


MODELAGEM ESTOCÁSTICA PARA A PRECIPITAÇÃO DIÁRIA

Carlos Eduardo de Siqueira Nascimento

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada por:

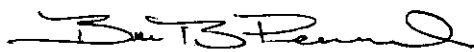


Jerson Kelman, Ph.D.

(Presidente)



Paulo Canedo de Magalhães, Ph.D.



Basilio de Bragança Pereira, Ph.D.



Jorge Machado Damázio, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - BRASIL

SETEMBRO DE 1990

**NASCIMENTO, CARLOS EDUARDO DE SIQUEIRA**

**Modelagem Estocástica para a Precipitação Diária**  
**[Rio de Janeiro] 1990.**

**x, 219 p 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Ci-  
vil, 1990).**

**Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE**

**1.Modelagem Estocástica    2.Precipitações Sintéticas**

**3.Geração de Precipitações    4.Chuvas Diárias**

**I.COPPE/UFRJ**

**II.Título (série)**

Para Eunice, Lilian,  
Leticia e Luiza. Para  
meus pais.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Jerson Kelman, por sua orientação segura e conhecimentos transmitidos e pelas demonstrações de apoio e amizade ao longo da realização deste trabalho.

A Ricardo Kern, amigo e companheiro de profissão e trabalho, pelas inúmeras discussões e sugestões e pelo incentivo constante.

À ELETROSUL - Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A. que me permitiu, no ano de 1986, a realização dos estudos efetuados na COPPE. À Diretoria de Engenharia e Construção, ao Departamento de Engenharia de Hidrelétricas e à Divisão de Engenharia Civil de Hidrelétricas agradeço o apoio recebido para a realização do curso e para a elaboração deste trabalho de tese. Agradeço também à Divisão de Desenvolvimento de Pessoal.

Aos Professores Bela Petry, João Sérgio Fajardo Roldão, Jonatas Costa Moreira, Jorge Machado Damázio, Luiz Carlos Wrobel, Paulo Canedo de Magalhães e Rui Carlos Vieira da Silva pelos ensinamentos adquiridos durante os cursos oferecidos na COPPE/UFRJ.

Aos meus colegas da COPPE, Evandro Leite Vasconcelos, Luis Rafael Palmier, Lina Chitayat, Alba Valéria Bodart Brandão, Letícia Costa Manna e Ricardo Filgueiras Jorge, pela amizade e convivência num ambiente de cooperação e ajuda mútua. Ao Rafael, um agradecimento especial pela colaboração e pelas providências administrativas tomadas junto à COPPE.

No Setor de Hidrologia da ELETROSUL agradeço o apoio recebido dos colegas e amigos e faço menção a Vera Maria de Mendonça Barros e a Paulo Renécio Nascimento. A Márcio Locks Henrique, Edgar de Amorim, Aidê Carvalho de Quadros e Anísio Raimundo da Silva pela execução eficiente dos desenhos e tabelas. Registro também a colaboração dos colegas do Departamento de Informática da ELETROSUL.

No ano de 1987, requisitado pela ELETROBRÁS, desempenhei minhas funções na Divisão de Recursos Hídricos do Departamento de Recursos Energéticos. Agradeço o apoio recebido para a realização desta tese, registrando que tive, neste ano, a oportunidade de conhecer melhor o Setor Elétrico, ampliar amizades e conviver com colegas e amigos de longa data.

Aos Professores Canedo, Basílio e Damázio que, convidados pelo Prof. Kelman, presidente da banca examinadora, aceitaram fazer parte da sua composição.

A Eunice, minha mulher e companheira, também engenheira, e que, ao lado de suas atividades profissionais e ocupações familiares, muito me auxiliou na elaboração e revisão do texto final. A ela e às minhas filhas Lilian, Letícia e Luiza o reconhecimento pelo estímulo e compreensão das horas tomadas ao carinho e ao lazer.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

## MODELAGEM ESTOCÁSTICA PARA A PRECIPITAÇÃO DIÁRIA

Carlos Eduardo de Siqueira Nascimento

Setembro/1990

Orientador: Prof. Jerson Kelman

Programa: Engenharia Civil

A modelagem estocástica da precipitação diária é o principal objetivo desta tese. Foram estudadas duas estruturas para modelar a ocorrência do processo. Cadeias de Markov de dois estados (dia seco ou chuvoso) não mantiveram a maior persistência observada na chuva diária. Mostrou-se adequada, no entanto, a abordagem das seqüências alternadas de dias secos e chuvosos. Nos dias chuvosos, as precipitações foram quantificadas sob duas hipóteses: 1) as chuvas são independentes, como na maioria dos modelos pesquisados e 2) as precipitações ocorridas em dias chuvosos consecutivos são dependentes e, neste caso, as chuvas foram geradas com um modelo auto-regressivo de ordem 1-AR(1). Exceto para um dia de duração, as distribuições de probabilidades das chuvas máximas anuais, observadas e geradas, somente se tornaram estatisticamente indistingüíveis quando as alturas de chuvas diárias foram geradas sob a hipótese de dependência. Este fato mostra a importância da análise dos eventos extremos e provoca uma reflexão sobre a correlação serial das precipitações diárias.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.).

## STOCHASTIC MODELING OF THE DAILY RAINFALL PROCESS

Carlos Eduardo de Siqueira Nascimento

September, 1990

Thesis Supervisor: Prof. Jerson Kelman

Department: Civil Engineering

The stochastic daily precipitation modeling is the main objective of this dissertation. The occurrence of the process was modeled by a two-state (dry or rainy day) Markov chain and by the "wet-dry spell" approach. This second approach was considered appropriate, while the Markov chains could not describe the long droughts or the long wet spells. In the rainy days, two assumptions were made: 1) the rainfall amounts are independents and 2) the rainfall amounts, in consecutive rainy days, are dependents and were generated by a first-order autoregressive model-AR(1). The analysis of the generated and the historical data, indicated that only under the assumption of dependence, the annual series of maximum daily precipitations, for specified durations in days, had the same probabilities distributions. This fact shows the importance of analyzing extreme events and the need for some reflection on the serial correlation of the precipitation data.

## SUMÁRIO

<b>CAPITULO I - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
I.1 - Aspectos Gerais.....	1
I.2 - Objetivos do Trabalho.....	5
I.3 - Conteúdo dos Capítulos.....	8
<b>CAPITULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>10</b>
II.1 - O Processo Precipitação.....	10
II.2 - Metodologias e Modelos Estocásticos de Precipitação.....	18
II.2.1 - Modelos de Ocorrência da Precipitação.	19
II.2.1.1 - Seqüências Alternadas de Dias Secos e Chuvosos.....	19
II.2.1.2 - Séries Binárias Discretas.....	23
II.2.1.3 - Processos Pontuais.....	49
II.2.2 - Modelos de Geração das Alturas Precipitadas (Distribuições de Probabilidades).....	56
II.3 - Testes de Validação dos Modelos.....	61
<b>CAPITULO III - OS DADOS UTILIZADOS.....</b>	<b>70</b>
III.1 - A Bacia do Rio Uruguai e as Sub-Bacias Escolhidas.....	70
III.2 - As Chuvas Diárias.....	71
III.2.1 - Bacia do Rio Canoas até Colônia Santana.....	76



III.2.2 - Bacia do Rio Pelotas até Passo dos Nandes.....	81
III.2.3 - Bacia do Rio Passo Fundo até Barragem Passo Fundo.....	86
III.2.4 - Bacia do Rio Uruguai até Itá.....	91
 CAPITULO IV - O MODELO PROPOSTO PARA A GERAÇÃO ESTO-CÁSTICA DE CHUVAS DIÁRIAS.....	 96
IV.1 - A Estrutura do Modelo Proposto.....	96
IV.2 - A Estimativa do Coeficiente de Auto-Correlação de Ordem 1.....	104
IV.3 - A Aplicação do Modelo Proposto.....	106
IV.3.1 - Bacia do Rio Canoas - Períodos Sazonais e Coeficientes de Auto-Correlação de Ordem 1.....	108
IV.3.2 - Bacia do Rio Pelotas - Períodos Sazonais e Coeficientes de Auto-Correlação de Ordem 1.....	109
IV.3.3 - Bacia do Rio Passo Fundo - Períodos Sazonais e Coeficientes de Auto-Correlação de Ordem 1.....	110
IV.3.4 - Bacia do Rio Uruguai - Períodos Sazonais e Coeficientes de Auto-Correlação de Ordem 1.....	111
IV.4 - Descrição das Análises Efetuadas com os Dados Gerados pelo Modelo Proposto.....	112
IV.5 - Análise dos Resultados Obtidos com o Modelo Proposto.....	116

CAPITULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	128
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
APÊNDICE A - Resultados dos Modelos Markovianos.....	140
APÊNDICE B - Curvas Empíricas das Frequências Relativas Acumuladas dos Comprimentos dos Períodos Secos e Chuvosos.....	146
APÊNDICE C - Curvas Empíricas e Teóricas das Frequências Relativas Acumuladas das Precipitações Diárias.....	160
APÊNDICE D - Resumo Comparativo dos Resultados dos Casos Processados com o Modelo Proposto.	177
APÊNDICE E - Resultados do Modelo Proposto - Casos Escolhidos.....	200
APÊNDICE F - Curvas Empíricas de Frequências Relativas Acumuladas das Precipitações Máximas Anuais Observadas e Geradas.....	211

## CAPITULO I

### INTRODUÇÃO

#### I.1 - ASPECTOS GERAIS

O dimensionamento e a operação adequada de sistemas de recursos hídricos requerem o uso de técnicas de planejamento que necessitam de estimativas de probabilidades para certos eventos hidrológicos. Entretanto, os registros históricos das variáveis hidrológicas, como precipitações e vazões, são geralmente curtos, impossibilitando, assim, inferências estatísticas seguras e confiáveis de eventos extremos, como secas e cheias de grande recorrência.

As soluções analíticas, geralmente complexas, raramente são possíveis. Assim, uma tentativa para se resolver o problema tem sido a geração de seqüências sintéticas. Esta técnica é conhecida como método de "Monte Carlo". Embora não acrescentando novas informações estatísticas aos eventos registrados, esta metodologia experimental permite criar situações críticas não observadas, mas que poderiam, com base em hipóteses estatísticas (a distribuição de probabilidades, por exemplo), fazer parte de um registro mais longo de observações.

As principais variáveis hidrológicas no dimensionamento e na operação de um aproveitamento de recursos hídricos são, sem dúvida, a precipitação e a vazão. Quando a variável requerida para geração estocástica é a vazão, esta pode ser obtida diretamente, ou sintetizada a partir da precipitação, através de um modelo determinístico de transformação chuva-vazão previamente calibrado. Há, entretanto, várias razões para se gerar a precipitação e depois, então, transformá-la em vazão. FRANZ (1970), KELMAN (1977) e CONEJO (1980), entre outros, discutem o assunto. Embora o processo de transformação seja determinístico, esses autores chamam a atenção para o fato de que a natureza estocástica das vazões fica garantida principalmente pelo caráter aleatório das precipitações, tendo em vista a pouca variabilidade anual da evapotranspiração potencial, que é a outra variável de entrada dos modelos de transformação chuva-vazão. Portanto, a possibilidade de transformar chuva em vazão é uma das razões para gerar precipitações.

Uma segunda razão é que os registros históricos das precipitações geralmente são mais extensos que os das vazões e mesmo, em algumas bacias hidrográficas, só há registros de precipitações. Nestas situações, uma campanha de campo razoavelmente curta, envolvendo medições de descarga e observações limnimétricas, pode permitir a calibragem de um modelo de transformação chuva-vazão e, deste modo, um longo registro de precipitações pode ser transformado num longo registro de vazões (atualizadas em relação ao estado

da bacia, conforme se verá adiante). Outrossim, para um determinado comprimento de um registro histórico de vazões e precipitações, as características estatísticas desta última variável podem ser melhor definidas, tendo em vista os seguintes fatores:

\* As vazões apresentam uma correlação serial maior que a encontrada nas precipitações. Como resultado, cada observação adicional da precipitação acrescenta mais informação ao conhecimento do processo do que o fazem novas informações da vazão. Em outras palavras, para um registro de igual comprimento, o número efetivo de observações da precipitação é maior do que o da vazão;

\* A variabilidade da vazão é maior do que a da precipitação, ou seja, o coeficiente de variação das vazões é, em geral, superior ao das precipitações (FRANZ, 1970). Os dados utilizados neste trabalho, a nível mensal e anual, confirmaram esta afirmação;

\* Exceto em alguns casos, como em pequenas bacias hidrográficas, a geração de um evento extremo de precipitação, num intervalo de tempo isolado, não é tão importante para a formação de uma cheia de grande recorrência. Cheias de grande recorrência, em pico e volume, podem ser formadas pela persistência de precipitações razoavelmente intensas, sem que as mesmas tenham, necessariamente, intensidades extremas.

Estes fatos são de grande importância, pois como os registros históricos são geralmente curtos, principalmente os de vazões, as estimativas dos parâmetros dos modelos estocásticos podem carecer de uma certa confiabilidade, colocando incertezas na geração de eventos extremos.

Uma terceira razão para se gerar chuvas é que em bacias hidrográficas sujeitas a atividades antrópicas, o regime de vazões naturais pode ser modificado sensivelmente, enquanto a chuva sofre pouca ou nenhuma influência. Também a formação de um reservatório, a construção de um sistema de irrigação e o desmatamento e a urbanização de bacias hidrográficas, por exemplo, introduzem modificações nas séries de vazões, dificultando, ou mesmo impedindo que as mesmas sejam utilizadas para geração estocástica. Como o regime de chuvas geralmente independe das modificações introduzidas pelo homem na bacia, calibrando-se um modelo de transformação chuva-vazão com os dados do período mais recente, garante-se que o modelo está fornecendo uma resposta às precipitações conforme o estado atual da bacia. As precipitações podem também ser utilizadas para prever as vazões que resultarão de modificações futuras na bacia hidrográfica, bastando que se incorpore ao modelo de transformação chuva-vazão as modificações projetadas.

Embora se tenha enfatizado a possibilidade da transformação chuva-vazão, há situações em que a geração estocástica das precipitações se torna necessária por si só. É

o caso, por exemplo, de sistemas de irrigação ou de drenagem urbana. A decisão de irrigar pode ser tomada em função de uma determinada seqüência de dias secos consecutivos ter uma alta probabilidade de ocorrer, ou então em função de também ser alta a probabilidade de déficit de chuva em um determinado período de tempo. Os sistemas de drenagem urbana são projetados a partir de estudos de intensidade-duração-freqüência das chuvas.

A importância do assunto, portanto, justifica a pesquisa e o esforço desenvolvido nas duas últimas décadas na modelagem estocástica das precipitações.

## I.2 - OBJETIVOS DO TRABALHO

Tendo em vista a importância da modelagem estocástica das precipitações no desenvolvimento de projetos ou sistemas de recursos hídricos, o objetivo principal deste trabalho é propor um modelo de geração de chuvas diárias.

O modelo proposto é do tipo univariado, alternando obrigatoriamente seqüências de dias secos e chuvosos, cujos comprimentos são sorteados aleatoriamente. Para as seqüências de dias chuvosos, os montantes precipitados em cada dia podem ser gerados independentemente ou através de um modelo auto-regressivo de ordem 1-AR(1). Em ambos os casos,

a distribuição marginal de probabilidades adotada para o processo precipitação pode ser empírica, ou exponencial 2 parâmetros ou uma combinação de ambas, utilizando-se, neste caso, esta última distribuição apenas para extrapolar eventos extremos, de modo a não limitar os valores gerados ao valor máximo observado na série histórica.

A escala diária foi escolhida por razões de ordem prática. No desenvolvimento do modelo foram utilizados dados pluviométricos da Bacia do Rio Uruguai, situada na Região Sul do Brasil. Nesta bacia são poucos os pluviógrafos instalados e suas séries são extremamente curtas, existindo também muitos períodos com falhas nas observações, o que dificultaria a utilização de registros inferiores a um dia.

Até a fronteira com a República da Argentina, o Rio Uruguai drena uma área superior a 70.000 Km<sup>2</sup>. Neste trecho nacional da bacia existe apenas um aproveitamento hidroelétrico de médio porte. Trata-se da Usina de Passo Fundo, no Rio Passo Fundo, em operação pela ELETROSUL, controlando uma área de drenagem de aproximadamente 2.200 Km<sup>2</sup>. Ainda neste trecho, um estudo de inventário hidroenergético (ELETROSUL/CNEC, 1979) selecionou uma série de 22 aproveitamentos, de pequeno, médio e grande portes, situados no próprio Rio Uruguai e em seus afluentes principais. Visando-se estudos futuros de eventos hidrológicos extremos, trabalhou-se com a chuva média diária da área drenada por quatro desses locais selecionados. Essas áreas variaram de



2.200 Km<sup>2</sup> a 45.000 Km<sup>2</sup> e, portanto, nesses casos, bem como nos outros locais selecionados, a escala diária é adequada.

Reconhece-se, entretanto, a importância de modelos que utilizem um intervalo de tempo menor, necessários aos estudos de drenagem urbana, dimensionamento de pequenas pontes e bueiros, além de outras obras de arte. Porém, há o consenso entre os hidrólogos de que o grau de dificuldade aumenta quando se tenta modelar eventos de menor duração.

O modelo foi concebido a partir do levantamento do estado da arte, que abrangeu os tipos de modelagem estocástica das precipitações e os diversos modelos empregados na geração de dados pluviométricos sintéticos. É também um dos objetivos do trabalho apresentar uma síntese deste levantamento bibliográfico efetuado.

Finalmente, um outro objetivo do trabalho é apresentar e destacar a importância dos testes de validação do modelo, os quais são gerais para qualquer tipo de modelagem estocástica das precipitações. Esses testes devem validar o modelo não apenas para as condições médias, mas também para as condições extremas de secas e enchentes, tanto em relação à magnitude quanto aos padrões de duração e frequência do processo (KELMAN, 1977). Na revisão bibliográfica efetuada, constatou-se que estes últimos aspectos são bastante negligenciados pelos mais diversos autores.

### I.3 - CONTEÚDO DOS CAPÍTULOS

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos descritivos, cujos conteúdos resumidos são apresentados a seguir.

No CAPÍTULO I, no qual este item está inserido, são colocados os aspectos gerais da modelagem estocástica das variáveis hidrológicas, realçando-se a importância da modelagem das precipitações. Ainda neste capítulo são apresentados os objetivos do trabalho, destacando-se a proposição de um modelo para a geração de chuvas diárias.

No CAPÍTULO II, referente à revisão bibliográfica, faz-se inicialmente uma breve descrição física do processo precipitação, para, logo em seguida, abordá-lo do ponto de vista estocástico. Sob este aspecto, descreve-se as abordagens mais usuais de modelação da ocorrência do processo e da atribuição do montante precipitado nos dias chuvosos. Apresenta-se também alguns modelos e os resultados obtidos por vários autores. O CAPÍTULO II é encerrado com a apresentação e uma discussão geral dos testes de validação dos modelos estocásticos.

No CAPÍTULO III são apresentados os dados utilizados, de modo a se ter uma idéia da quantidade e da qualidade dos mesmos.

No CAPITULO IV descreve-se a estrutura e as particularidades do modelo proposto neste trabalho, os dados necessários à sua aplicação e a análise dos resultados obtidos na geração de chuvas diárias em quatro bacias hidrográficas.

As principais conclusões e recomendações, resultado de toda a experiência adquirida na realização deste estudo, estão apresentadas no CAPITULO V.

Compõem ainda este relatório uma lista das referências bibliográficas utilizadas e seis apêndices, contendo dados e resultados, os quais estão apresentados em tabelas e figuras.

## CAPITULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### II.1 - O PROCESSO PRECIPITAÇÃO

Entende-se por precipitação a água proveniente do vapor d'água da atmosfera depositada na superfície terrestre como chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada. Neste trabalho só se considerará a precipitação sob a forma de chuva e os dois termos serão usados indistintamente.

A precipitação é, portanto, o resultado de um complexo processo atmosférico, intimamente ligado à ascensão das massas de ar. Conforme o motivo que causa a ascensão das massas de ar, as chuvas se classificam em:

- a) Frontais
- b) Orográficas
- c) Convectivas

As chuvas frontais e orográficas cobrem grandes áreas, tem intensidade de baixa a moderada, longa duração e são relativamente homogêneas. As chuvas provocadas por convecção térmica, por sua vez, são de grande intensidade e curta duração e distribuem-se sobre áreas mais restritas, podendo

causar inundações em pequenas bacias hidrográficas. As chuvas frontais e orográficas são, em geral, as responsáveis pelas enchentes em bacias de médio e grande portes, embora também possam causar inundações em pequenas bacias.

A ocorrência de um tipo de chuva não exclui o outro. O efeito orográfico pode se fazer sentir tanto para as perturbações dos sistemas frontais quanto para as trovoadas de convecção térmica. Na Região Sul é comum, nos meses mais quentes, as frentes frias virem acompanhadas de trovoadas ao longo da linha frontal, observando-se pancadas de chuvas fortes seguidas de chuvas de menor intensidade e maior duração. As chuvas mais intensas e persistentes tendem a ocorrer quando a atividade convectiva é associada à frente fria. Nessas situações ocorrem as chuvas pré-frontais, em que elevados volumes são precipitados em curtos intervalos de tempo, funcionando a convecção térmica como um gatilho de detonação da instabilidade.

Existem muitas publicações sobre os processos atmosféricos e os mecanismos físicos geradores das precipitações, entre êles o trabalho de OCCHIPINTI (1989), publicado pela ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

A movimentação contínua, a ascensão e a dissipação das massas de ar determinam a variação temporal e espacial das precipitações. Modelar matematicamente as precipitações, como um fenômeno contínuo-intermitente no tempo e no espaço, é uma tarefa difícil, talvez até impossível. Uma outra

abordagem é modelar a chuva a partir das suas observações pontuais efetuadas em pluviômetros e pluviógrafos. Assim, a modelagem matemática iniciou-se a partir dos modelos ditos univariados, que apenas consideram a variação temporal do fenômeno.

Num ponto, a precipitação pode ser vista como um processo estocástico não negativo com intensidade  $E(t)$ . TODOROVIC e YEVIJEVICH (1969) e FOUFOULA-GEORGIU (1985) discutem a função  $E(t)$ . Num intervalo de tempo  $(t_1, t_2)$ , a precipitação  $X(t)$ , que é também uma variável estocástica, é dada por:

$$X(t) = \int_{t_1}^{t_2} E(t).dt \quad (\text{II.1})$$

O processo  $E(t)$  é fortemente intermitente porque, para qualquer ponto do intervalo  $(t_1, t_2)$ , a probabilidade de que  $E(t) = 0$ , para qualquer  $t$ , é positiva, ou seja:

$$P ( E(t) = 0, \forall t \in (t_1, t_2) ) > 0 \quad (\text{II.2})$$

No caso do intervalo  $(t_1, t_2)$  tender para infinito, ou seja,  $(t_2 - t_1) \rightarrow \infty$ , tem-se:

$$P ( E(t) = 0, \forall t \in (t_1, t_2) ) \rightarrow 0 \quad (\text{II.3})$$

$$P ( E(t) > 0, \forall t \in (t_1, t_2) ) \rightarrow 0 \quad (\text{II.4})$$

As expressões (II.3) e (II.4) indicam, respectivamente, que são nulas as probabilidades de não chover ou chover ininterruptamente num intervalo infinito.

O processo básico  $E(t)$  não é medido. As medições das precipitações são registradas e publicadas cumulativamente como observações discretas. Correspondem à integração da Equação (II.1) em intervalos de tempo discretos e não superpostos, obtendo-se a seqüência das precipitações diárias se o intervalo de integração for diário.

Os modelos univariados, de um modo geral, foram formulados a partir das observações discretas das precipitações  $X(t)$  em um ponto. Entretanto, RODRIGUEZ-ITURBE, GUPTA e WAYMIRE (1984) consideraram o processo  $E(t)$  como um processo estocástico generalizado, representando a intensidade instantânea da chuva e formularam três modelos teóricos para representar o fenômeno. Estes modelos diferem entre si na estrutura de dependência temporal, variando desde a completa independência das precipitações (modelo de Poisson), à dependência Markoviana (modelo de pulsos retangulares) e finalmente a uma estrutura de dependência não-Markoviana (modelo de Neyman-Scott). A partir destes modelos formulados para  $E(t)$ , êles derivaram as propriedades probabilísticas da variável discreta  $X(t)$ , ou seja, dos valores da precipitação acumulada num intervalo de tempo discreto e arbitrário. DIGGLE (1984) e FOUFOULA-GEORGIU (1985) questionaram esta abordagem: Qual é, especificamente, um modelo ade-

quando para  $E(t)$  e como inferências sobre  $E(t)$  podem ser feitas, dado que as precipitações são observadas como valores acumulados em intervalos horários ou diários? Os autores questionados asseveram, no seu trabalho, a validade de possíveis modelos para  $E(t)$ , comparando os parâmetros estimados de dados horários e diários com os valores teóricos dos parâmetros de  $X(t)$ , derivados dos diversos candidatos a modelos de  $E(t)$ . FOUFOULA-GEORGIU (1985) questiona ainda esta abordagem, porque ela não propõe um modelo para as seqüências discretas das precipitações observadas, mas sim para o processo contínuo  $E(t)$  não observado, e as propriedades estatísticas derivadas para  $X(t)$  não levam a uma representação parcimoniosa do processo discreto.

O passo seguinte na modelagem estocástica das precipitações foi considerar o fenômeno simultaneamente em vários postos pluviométricos. Nesta abordagem, dita multivariada, os modelos são formulados de modo a preservar a estrutura de covariância (correlação espacial) entre as precipitações dos postos pluviométricos considerados. Embora mais complexos e exigindo um maior esforço computacional, os modelos multivariados representam uma importante contribuição na modelagem estocástica das chuvas, visto que, para se caracterizar a chuva numa área muito grande, há necessidade da sua medição em vários pontos.

Uma outra abordagem, quando se deseja modelar a chuva numa determinada área, é a multidimensional. Nesta abordagem procura-se modelar a variação temporal da chuva em cada



ponto da área de interesse. BRAS e RODRIGUEZ-ITURBE (1976) apresentaram um modelo multidimensional. WAYMIRE, GUPTA e RODRIGUEZ-ITURBE (1984) apresentaram sugestões a este tipo de abordagem. Na abordagem multidimensional são levados em conta aspectos e variáveis meteorológicas, tais como o tipo e campo de ação das diversas perturbações e a velocidade e a direção de propagação das tormentas, por exemplo. Evidentemente que essas considerações complicam a modelagem matemática da precipitação, porém a sua representação física é mais real. Uma das maiores dificuldades é a observação e a obtenção dos dados dos fenômenos que se processam na atmosfera. Todavia, o desenvolvimento e a disseminação dos radares e satélites meteorológicos deverão diminuir e talvez até superar essas dificuldades de observação.

Os modelos multivariados, entretanto, conforme ressalta o Guia para Cálculo da Cheia de Projeto de Vertedores (ELETROBRÁS-CEPEL 1987), tem aplicação mais imediata que os modelos multidimensionais. É o caso, por exemplo, quando se deseja transformar chuva em vazão. Como os modelos de transformação chuva-vazão geralmente fazem uso da chuva média sobre a bacia, estimada a partir de observações em postos pluviométricos, fica perdido o grau de detalhamento alcançado quando se usa uma descrição de campo contínuo espaço-temporal da precipitação.

Uma característica importante do processo precipitação, que deve ser considerada e analisada, é a sazonalidade. Considera-se que o processo precipitação não é estacio-

nário, ou, em outras palavras, que os parâmetros estatísticos da precipitação variam ao longo do tempo. Há duas abordagens para o problema. A primeira é dividir o ano em estações e supor que, dentro de uma mesma estação, o processo é estacionário, ou seja, os parâmetros são constantes. No estabelecimento das estações prevalece um forte fator subjetivo, mas a comparação de determinadas variáveis e parâmetros, como número de dias chuvosos, precipitação média, variância e coeficientes de variação e assimetria das precipitações, por exemplo, aliada a um entendimento das características climatológicas da região em estudo, podem contribuir significativamente para uma correta divisão. Um problema que surge nesta abordagem é a transição abrupta entre as estações e, em que pese este fato, tem sido bastante utilizada pelos mais diversos autores, alguns procurando suavizar esta transição e outros simplesmente ignorando-a.

A segunda abordagem para o problema da sazonalidade é considerar os parâmetros estatísticos como uma função do tempo. Em geral, séries de Fourier são ajustadas a esses parâmetros. Embora mais complicada e exigindo maior esforço computacional, esta abordagem também tem sido bastante empregada na modelagem dos processos estocásticos e nela a transição abrupta é eliminada.

Um último aspecto a ser considerado no processo precipitação é a persistência ou dependência temporal. A persistência pode ser medida pelos coeficientes de auto-correla-

ção, os quais são determinados pelas correlações entre observações separadas no tempo da mesma variável. É praticamente consenso, entre os pesquisadores, que a dependência temporal da precipitação é um fenômeno geral, sendo o grau de dependência menor quanto maior o intervalo de tempo considerado. Assim, as precipitações mensais exibem menor dependência do que as precipitações diárias. Outrossim ela é menor nos períodos chuvosos do que nos secos [(WISER, 1964), ao estudar as precipitações no estado da Carolina do Norte - EUA]. A "memória" do processo, porém, é curta. Em muitos locais, apenas a informação do que aconteceu num determinado dia é relevante para se fazer previsões para o dia seguinte.

Testes para verificar as hipóteses de estacionariedade e persistência foram desenvolvidos por KELMAN (1977). Com relação à persistência, êle realizou 96 testes (8 estações pluviométricas x 12 períodos sazonais de dados diários) e, em apenas dois casos, a hipótese nula ( $H_0: r = 0$ , onde "r" é o coeficiente de auto-correlação serial de ordem 1) não foi rejeitada, fazendo com que o autor citado propusesse reflexões sobre a representatividade dos modelos que negligenciam a dependência serial das precipitações diárias.

No trabalho que ora se apresenta, pretende-se mostrar que a dependência das precipitações diárias, no tempo, é um aspecto importante na modelagem estocástica do fenômeno.

Em relação aos testes de estacionariedade efetuados por KELMAN (1977), o pequeno número de rejeições da hipótese nula ( $H_0$  : o processo é estacionário) não invalida a abordagem da divisão do ano em estações homogêneas.

## II.2 - METODOLOGIAS E MODELOS ESTOCÁSTICOS DE PRECIPITAÇÃO

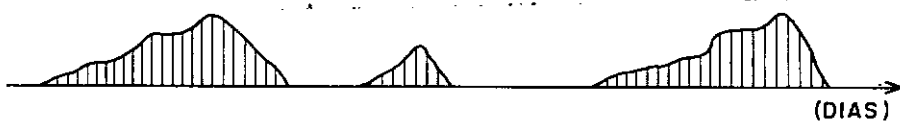
Neste item pretende-se mostrar sucintamente as estruturas básicas da modelagem estocástica das precipitações diárias, bem como alguns modelos de maior relevância para o desenvolvimento deste trabalho. Sugere-se aos interessados no assunto as revisões bibliográficas efetuadas por KELMAN (1977), WAYMIRE e GUPTA (1981a,b,c) e FOUFOULA-GEORGIU (1985).

Embora sendo uma série temporal e exibindo uma certa dependência entre suas observações sucessivas, os modelos da família ARMA(p,q) têm sido pouco utilizados para modelar as precipitações diárias, devido à intermitência do processo precipitação. A abordagem mais comum é modelar separadamente a ocorrência da precipitação e o montante precipitado nos dias chuvosos. Deste modo utiliza-se um modelo para verificar se há a ocorrência do fenômeno e, em caso positivo, aplica-se um outro modelo para quantificar a precipitação ocorrida no intervalo de tempo considerado, geralmente supondo-se a independência entre os montantes precipitados em intervalos de tempo sucessivos.

## II.2.1 - MODELOS DE OCORRÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO

Ainda que de um modo muito geral, são três as estruturas básicas para modelar a ocorrência da chuva. A Figura (II.1) ilustra essas estruturas.

(A) SEQUÊNCIAS ALTERNADAS DE DIAS SECOS E CHUVOSOS



(B) SÉRIES DISCRETAS BINÁRIAS

0 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0

(C) PROCESSOS PONTUAIS

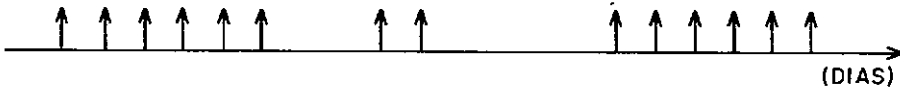


Figura II.1 - Estruturas de Modelagem da Ocorrência da Chuva Diária

### II.2.1.1 - SEQUÊNCIAS ALTERNADAS DE DIAS SECOS E CHUVOSOS

Nesta estrutura, seqüências ininterruptas e independentes de dias secos e chuvosos alternam-se obrigatoriamente. Em outras palavras, um período seco (chuvoso) é sempre seguido de um período chuvoso (seco), ou seja, transições para um mesmo estado não são possíveis.

Esta estrutura de ocorrência fica completamente caracterizada pelas distribuições de probabilidades dos comprimentos dos períodos secos e chuvosos.

THOM (1958), GREEN (1964, 1965), entre outros, utilizaram este tipo de modelo com distribuições exponenciais para os comprimentos das seqüências de dias secos e chuvosos (FOUFOULA-GEORGIU, 1985). Chama-se a atenção que a distribuição exponencial é contínua, enquanto que o evento modelado é discreto.

GALOY, BRETON e MARTIN (1981) também utilizaram esta abordagem e ajustaram distribuições do tipo binomial negativa discreta, tanto aos comprimentos das seqüências de dias secos quanto aos comprimentos das seqüências de dias chuvosos. Outrossim, esses autores, segundo reportado por FOUFOULA-GEORGIU (1985), implementaram a teoria dos processos pontuais para derivar as propriedades estatísticas dos intervalos (tempos entre eventos) e do número de eventos em um dado intervalo de tempo.

GRACE e EAGLEASON (1966) asseveraram existir uma razoável persistência nos valores da chuva com intervalos de tempo iguais ou menores que 1 dia. Ajustando distribuições de probabilidades de Weibull aos comprimentos das seqüências entre eventos e aos comprimentos dos próprios eventos, eles desenvolveram um modelo de chuva para incrementos de tempo de 10 minutos, gerando seqüências alternadas de pe-

ríodos secos e chuvosos. Os períodos chuvosos foram divididos em três classes, conforme a intensidade da precipitação. Para cada classe, êles ajustaram uma regressão linear relacionando o total precipitado à duração do evento. Ajustando distribuições de probabilidades beta aos resíduos das regressões mencionadas, êles puderam gerar seqüências de eventos cujos totais precipitados eram conhecidos. O problema, então, era distribuir o total precipitado num dado intervalo de tempo, mas de modo a preservar a correlação serial observada. Para fazer essa distribuição, êles desenvolveram um modelo empírico de urna, que também permite transformar seqüências diárias em horárias e, por este motivo, é aqui explanado, seguindo FRANZ (1970) e KELMAN (1977): "Suponha que a duração total do evento chuvoso seja dividida em "k" intervalos de 10 minutos, cada um dos "k" intervalos correspondendo a uma determinada caixa. Suponha ainda que o montante precipitado no período chuvoso tenha "n" centésimos de polegada de chuva e que cada centésimo corresponda a uma bola preta. O problema, então, continuando com a analogia, consiste em distribuir "n" bolas pretas, contidas numa urna, em "k" caixas. A dependência serial e a própria forma do evento chuvoso são obtidas introduzindo-se "m" bolas vermelhas na urna e colocando-se as bolas nas caixas de acordo com a seguinte regra: Sorteia-se aleatoriamente uma determinada caixa, a caixa "j", por exemplo. Coloca-se, então, uma bola preta e " $m_0$ " bolas vermelhas na caixa "j". As caixas "j-1" e "j+1" recebem " $m_1$ " bolas vermelhas, as caixas "j-2" e "j+2", por sua vez, recebem " $m_2$ " bolas vermelhas e assim por diante. A próxima bola preta é

colocada de tal maneira que a probabilidade dela cair numa determinada caixa é proporcional ao número de bolas vermelhas que ela contém. O processo é novamente repetido. À primeira e à última caixa são dadas pelo menos uma bola preta, de modo a assegurar a duração do evento gerado. Os valores de " $m_0$ ", " $m_1$ ",....., são selecionados por tentativa e erro, comparando-se os coeficientes de correlação e as distribuições de probabilidades entre as seqüências geradas e históricas".

A descrição do modelo de GRACE e EAGLESON (1966) oferece uma boa oportunidade para se apresentar o que os mais diversos autores denominam como modelos exteriores e interiores. Esta classificação tem uma base física interessante, pois um evento chuvoso, proveniente de um mesmo mecanismo gerador ou pela superposição de mecanismos geradores diferentes, pode ser constituído por células chuvosas intermitentes no espaço e no tempo. Os modelos exteriores gerariam, então, as características globais do evento chuvoso, tais como a sua duração e precipitação total e também os tempos ou intervalos entre os próprios eventos chuvosos. Os modelos interiores, por sua vez, distribuiriam a precipitação total do evento chuvoso dentro do seu período de ocorrência, tal como o modelo de urna mencionado no parágrafo anterior.

TODOROVIC e YEVJEVICH (1969) também definiram um evento chuvoso como uma seqüência ininterrupta de 1 ou mais dias chuvosos, precedida e seguida por 1 ou mais dias se-



cos, e estudaram várias propriedades do processo chuvoso. Maiores detalhes desse estudo serão dados no item II.2.1.3.

FOUFOULA-GEORGIU (1985) aponta como principal problema da estrutura de seqüências alternadas a modelagem dos totais precipitados, pois considera que estes totais estão condicionados aos comprimentos dos períodos chuvosos. Deste modo, especialmente nos eventos de extrema duração, onde não são disponíveis muitas observações, a identificação e o ajustamento de uma função de densidade de probabilidade pode ser complicada. No trabalho que ora se apresenta, embora se tenha utilizado a modelagem descrita para determinar a ocorrência da precipitação, não se deparou exatamente com os problemas mencionados, pois não se condicionou o total precipitado em cada período chuvoso ao seu comprimento. Todavia, encontrou-se dificuldades em estabelecer probabilidades para os comprimentos das seqüências muito longas, não somente de dias chuvosos ininterruptos, mas também de dias secos, devido aos poucos dados disponíveis, conforme mencionado.

#### II.2.1.2 - SÉRIES BINÁRIAS DISCRETAS

Nesta metodologia, as séries temporais de chuvas diárias consistem de dias secos e chuvosos e, portanto, podem ser vistas como séries binárias de "0"s e "1"s, com o "0" correspondendo a um dia seco e o "1" correspondendo a um

dia chuvoso.

Uma primeira modelagem do processo seria considerar independentes as suas realizações, dando origem a um processo de Bernouilli. Entretanto, a chuva diária exibe uma certa persistência e o processo de Bernouilli, por este motivo, não é adequado para modelar a sua ocorrência. Assim, a dependência observada nas ocorrências das chuvas diárias tem que ser considerada e o mais simples e talvez mais utilizado modelo de dependência tem sido a cadeia de Markov de 2 estados (dia seco ou chuvoso) de primeira ordem.

Uma cadeia de Markov é uma seqüência de variáveis aleatórias discretas  $(X_n)$  e é dita de ordem "k" se "k" é o menor inteiro positivo que satisfaz, para todo "n", a seguinte equação de probabilidades condicionais:

$$P(X_n/X_{n-1}, X_{n-2}, \dots, X_{n-k}, X_{n-k-1}, \dots) = P(X_n/X_{n-1}, X_{n-2}, \dots, X_{n-k}) \quad (\text{II.5})$$

Formalmente, a cadeia de Markov de primeira ordem de 2 estados, adequada para descrever se o estado do tempo num dia qualquer é seco ou chuvoso, pode ser completamente especificada pela matriz de probabilidades de transição:

$$\begin{array}{c} \nearrow \\ 0 \end{array} \begin{array}{cc} 0 & 1 \\ \left[ \begin{array}{cc} P_{00} & 1-P_{00} \\ 1-P_{11} & P_{11} \end{array} \right] \end{array} \quad (\text{II.6})$$

As probabilidades de transição  $P_{00}$  e  $P_{11}$  podem ser definidas, respectivamente, como as probabilidades de um dia seco ser seguido de um dia seco e de um dia chuvoso ser seguido de um dia chuvoso. Definindo-se a variável aleatória  $S_t$  (estado do tempo num dia qualquer) como:

$$S_t = 0, \text{ dia seco; } S_t = 1, \text{ dia chuvoso,}$$

as probabilidades de transição acima definidas podem ser expressas por:

$$P_{00} = P [ S_{t+1} = 0 / S_t = 0 ] \quad (\text{II.7})$$

$$P_{11} = P [ S_{t+1} = 1 / S_t = 1 ] \quad (\text{II.8})$$

As probabilidades  $P_{00}$  e  $P_{11}$  podem ser estimadas através das chuvas observadas:

$$\hat{P}_{00} = NP_{00} / (NP_{00} + NP_{01}) \quad (\text{II.9})$$

$$\hat{P}_{11} = NP_{11} / (NP_{10} + NP_{11}) \quad (\text{II.10})$$

Onde:

$NP_{00}$  = número de dias secos seguidos por dias secos

$NP_{01}$  = número de dias secos seguidos por dias chuvosos

$NP_{10}$  = número de dias chuvosos seguidos por dias secos

$NP_{11}$  = número de dias chuvosos seguidos por dias chuvosos

O estado do tempo, num dia qualquer, pode ser sorteado a partir da geração de um número aleatório "U", com distribuição uniforme no intervalo [0,1] e da sua comparação com as probabilidades da matriz de transição (II.6):

i) Considerando  $S_t = 0$ , tem-se:

$$S_{t+1} = 0, \text{ se } U \leq P_{00} \quad (\text{II.11})$$

$$S_{t+1} = 1, \text{ se } U > P_{00} \quad (\text{II.12})$$

ii) Considerando  $S_t = 1$ , tem-se:

$$S_{t+1} = 0, \text{ se } U \leq (1-P_{11}) \quad (\text{II.13})$$

$$S_{t+1} = 1, \text{ se } U > (1-P_{11}) \quad (\text{II.14})$$

As cadeias de Markov podem ser homogêneas e não homogêneas. No primeiro caso os parâmetros são constantes no tempo e, no segundo, os mesmos são variáveis. Adotando-se a abordagem sazonal e considerando-se o processo estacionário dentro de cada estação, pode-se adotar uma cadeia de Markov homogênea. No caso contrário, considerando-se o processo não estacionário, adota-se uma cadeia de Markov não homogênea e, neste caso, os parâmetros são variáveis no tempo.

São inúmeros os livros textos que tratam da teoria das cadeias de Markov. As rápidas explicações dadas neste trabalho visam apenas facilitar a apresentação de alguns modelos que utilizam esta abordagem, a qual tem sido exaustivamente empregada na modelagem da ocorrência das chuvas diárias.

SMITH e SCHREIBER (1973) concluíram que uma cadeia de Markov não homogênea de primeira ordem era superior ao modelo independente de Bernouilli para modelar os temporais sazonais no sudoeste dos Estados Unidos (FOUFOULA-GEORGIU, 1985).

TODOROVIC e WOOLHISER (1974) tentaram achar uma expressão explícita para a distribuição de probabilidades da precipitação total em "n" dias. Trabalharam com a hipótese de que o total precipitado em "k" dos "n" dias não dependia dos "k" dias em que realmente choveu e dos "n-k" dias que foram secos. Supuseram ainda que o total precipitado num dia chuvoso tinha distribuição exponencial. Eles ainda assumiram que os totais precipitados em diferentes dias eram independentes, portanto a soma ou total precipitado em "n" dias tinha distribuição gama. A probabilidade do número de dias chuvosos em "n" dias foi estimada a partir de duas hipóteses: (1) não haver dependência serial entre os dias secos e chuvosos e, conseqüentemente, o número de dias chuvosos em "n" dias teria distribuição binomial; (2) as sequências de dias secos e chuvosos seguem uma cadeia de Markov de 2 estados. Eles concluíram que a cadeia de Markov associada à distribuição exponencial representava melhor o fenômeno que as distribuições binomial-exponencial. Estes resultados são uma indicação clara de que o processo de Bernouilli não é adequado para a modelagem das chuvas diárias, não podendo a precipitação ser tratada como uma sucessão de eventos independentes (KELMAN, 1977).

GABRIEL e NEUMANN (1962) estudaram a sucessão de dias secos e chuvosos no período do inverno em Tel-Aviv. Utilizaram uma cadeia de Markov homogênea de primeira ordem de 2 estados (dia seco e dia chuvoso) e concluíram pela boa representatividade do modelo adotado (KELMAN, 1977).

HOPKINS e ROBILLARD (1964) também usaram uma cadeia de Markov de primeira ordem para as ocorrências das chuvas diárias no Canadá, não a achando adequada para descrever os meses com poucos dias de chuva (FOUFOULA-GOERGIU, 1985).

GREEN (1964) concluiu que o processo não-Markoviano de sequências alternadas de dias secos e chuvosos era superior a uma cadeia de Markov de primeira ordem, pois esta não era adequada para descrever longos períodos secos ou chuvosos (KELMAN, 1977).

FEYERHERM e BARK (1967) mostraram que a cadeia de Markov de primeira ordem era inadequada para descrever a dependência de maior ordem nas ocorrências das chuvas diárias em Indiana, Iowa e Kansas e propuseram uma cadeia de Markov de segunda ordem (FOUFOULA-GEORGIU, 1985). Em outras palavras, propuseram que na determinação do estado do tempo, num dia qualquer, fossem considerados os estados do tempo nos dois dias anteriores.

No Brasil, os modelos Markovianos também têm sido exaustivamente empregados na modelagem da ocorrência da chuva diária. RAO e BIAZI (1981) analisaram dez anos de

chuvas diárias em Presidente Prudente - SP e compararam os resultados obtidos utilizando uma cadeia de Markov de primeira ordem e uma distribuição binomial negativa truncada. Utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5%, concluíram que as frequências observadas e esperadas dos períodos secos e úmidos, para os dois modelos, não foram rejeitadas, com o modelo binomial negativo truncado apresentando uma melhor aderência.

O modelo de KRAEGER (1971) também tem sido muito utilizado no Brasil. Este modelo, descrito detalhadamente por CONEJO (1980), é baseado em cadeias de Markov e permite gerar chuvas diárias, simultaneamente, em até três postos pluviométricos, ou então chuvas médias diárias em até três sub-bacias hidrográficas. As probabilidades de transição são calculadas de forma diversa para cada um dos três postos considerados. Denominando os três postos de "A", "B" e "C" e considerando a variável aleatória " $S_t$ " conforme anteriormente definida ( $S_t=0$ , dia seco;  $S_t=1$ , dia chuvoso), o estado do tempo, em cada posto, pode ser determinado através das seguintes relações, as quais definem as probabilidades de transição de estados:

i) Estado do tempo no posto A:  $S_{t+1}(A)$

$$P [S_{t+1}(A)] = f [S_t(A), S_t(B), S_t(C)] \quad (\text{II.15})$$

Ocorrendo simultaneamente  $S_t(A)=0$ ,  $S_t(B)=0$  e  $S_t(C)=0$ , KRAEGER (1971), de modo a manter a persistência observada

nos dados, mudou o procedimento para:

$$P [S_{t+1}(A)] = f [S_t(A), S_{t-1}(A), S_{t-2}(A), S_{t-3}(A)] \quad (\text{II.16})$$

ii) Estado do tempo no posto B:  $S_{t+1}(B)$

$$P [S_{t+1}(B)] = f [S_{t+1}(A), S_t(B), S_t(C)] \quad (\text{II.17})$$

iii) Estado do tempo no posto C:  $S_{t+1}(C)$

$$P [S_{t+1}(C)] = f [S_{t+1}(A), S_{t+1}(B), S_t(C)] \quad (\text{II.18})$$

Na ocorrência de chuva em algum posto, as probabilidades podem, opcionalmente, serem calculadas em função não apenas do estado do tempo, mas também em função dos totais precipitados, pois o autor citado observou que a probabilidade de chover num dia, quando o dia anterior era chuvoso, geralmente aumentava com o aumento desta precipitação. Assim, considerando o nível da altura de chuva precipitada " $H_t$ ", novas relações podem ser determinadas. É importante observar que esta opção é bastante trabalhosa, pois há necessidade de dividir as precipitações observadas em níveis ou classes de precipitação, calculando as probabilidades para todas as classes definidas. Assim, o trabalho fica multiplicado pelo número de classes consideradas, as quais devem ser definidas em cada caso, a critério do usuário do modelo.



A segunda parte do modelo de KREAGER (1971) se refere à determinação dos montantes precipitados nos dias chuvosos. No posto "A" a precipitação é obtida independentemente dos outros postos, a partir da curva cumulativa empírica de distribuição de probabilidade da chuva diária, ou seja, da curva obtida com os dados observados da série histórica. No posto "B", a altura de chuva é determinada em função da precipitação gerada em "A", através de uma regressão, caso tenha chovido em "A", ou a partir de uma curva de distribuição de probabilidades acumuladas da chuva diária em "B", quando não ocorre chuva em "A". Neste caso, na determinação da curva de distribuição de probabilidades, considerou-se apenas os valores da chuva diária em "B" quando "A" era seco. No posto "C", através de regressões, a altura da precipitação é obtida em função da precipitação em "A" e (ou) "B", caso ocorresse chuva em "A" e (ou) "B" no mesmo dia. Estando "A" e "B" secos, traça-se a curva de distribuição de probabilidades acumuladas da chuva diária em "C", utilizando-se apenas os dados históricos do posto sempre que "A" e "B" não acusarem chuva. As regressões mencionadas podem ainda ser calculadas por intervalos de classes de chuva, no caso de se considerar também os montantes precipitados na determinação do estado do tempo.

Como se pode notar, são inúmeras as combinações possíveis, tanto para sortear o estado do tempo quanto para gerar as alturas precipitadas e, portanto, muitos parâmetros devem ser estimados na utilização do modelo. Acrescente-se a divisão do ano em períodos sazonais e o número das esti-

mativas terá ainda que ser multiplicado pelo número desses períodos. Assim, inúmeras modificações e simplificações têm sido propostas em relação ao modelo original de KREAGER (1971).

CONEJO (1980) estudou os modelos de KREAGER (1971) e de MERO (1971) e propôs um terceiro modelo, tomando principalmente por base o modelo de KREAGER (1971). O modelo de MERO (1971), conforme descrito por CONEJO (1980), é univariado e foi desenvolvido com base na hipótese de que a precipitação diária é um processo aleatório independente e, portanto, sem persistência. É composto de duas etapas, sendo que na primeira gera-se inicialmente o número de dias chuvosos no mês com uma distribuição Gumbel para, logo em seguida, distribuir aleatoriamente esses dias ao longo do mês. Como a distribuição Gumbel é contínua e o número mensal de dias chuvosos é uma variável aleatória discreta, MERO (1971) lançou mão do algoritmo "valor inteiro" (subprograma IFIX da IBM) para obter essa variável, fazendo-a nula quando obtinha um valor inferior à unidade e repetindo a geração quando obtinha um valor superior ao número de dias do mês em curso. Para determinar os dias chuvosos, utiliza-se um esquema também simples e igualmente trabalhoso. Multiplica-se o número de dias do mês considerado por um número pseudo-aleatório de distribuição uniforme entre zero e um, obtendo-se, através do algoritmo acima mencionado, o valor inteiro do produto. No caso deste valor inteiro já ter sido sorteado ou não ser adequado (menor ou igual a zero ou maior que o número de dias do mês em curso) faz-se

nova multiplicação, repetindo-se o processo até se ter sorteado todos os dias chuvosos. Na segunda etapa, também utilizando uma distribuição Gumbel, gera-se o total precipitado em cada dia.

Ao propor o seu próprio modelo, CONEJO (1980) observou que, à medida em que a área em estudo aumentava (maior distância entre postos), a correlação entre as alturas de chuvas diárias diminuía sensivelmente. Assim, um esquema de geração como o de KREAGER (1971), que utiliza retas de regressão para calcular a chuva em postos vizinhos, não produz resultados satisfatórios quando as correlações entre postos são baixas. Uma saída para o problema seria a geração independente das alturas de chuva em cada posto. Observando, porém, que esse esquema não preservaria as correlações das chuvas anuais, o autor tentou contornar o problema admitindo existir na bacia um posto pluviométrico imaginário, cujos dados foram obtidos através da média aritmética da chuva diária observada em cada um dos postos considerados. Com este expediente procurou manter uma correlação entre o posto imaginário e os postos da bacia, tendo em vista que o primeiro contém informações dos demais. O esquema de geração consistiu em gerar, com uma distribuição normal, a chuva diária no posto imaginário, quando o estado da bacia era chuvoso (entendia-se por estado chuvoso na bacia quando chovesse pelo menos em um posto). Quando o estado da bacia era chuvoso, verificava-se em quais postos ocorriam chuva, através das probabilidades condicionais de chuva no posto, dado que choveu na bacia. Havendo chuva num determinado

posto, a sua altura era determinada através de uma regressão simples com a chuva na bacia (posto imaginário). CONEJO (1980) imaginou assim preservar as correlações anuais entre os postos, de modo que os anos secos e chuvosos se verificassem em toda uma grande região.

CONEJO (1980) comparou os resultados obtidos com o modelo que propôs e os obtidos com os modelos de KREAGER (1971) e MERO (1971). Na geração dos dados sintéticos o ano foi dividido em quatro períodos sazonais. Para aplicação do seu modelo e o de KREAGER (1971), CONEJO (1980) considerou nove postos pluviométricos divididos em três grupos de três postos. Com o modelo de KREAGER (1971) observou existir uma boa aderência (embora somente em termos médios) entre os parâmetros estatísticos das séries observadas e geradas, no que diz respeito à duração da chuva e do período seco. Quanto à chuva diária, os valores gerados foram sistematicamente inferiores aos observados, o que pode ser facilmente constatado pela comparação dos valores anuais. No primeiro posto talvez não se tenha discretizado convenientemente os pontos da distribuição empírica de probabilidades. Nos outros dois, entretanto, as equações de regressão poderiam explicar o ocorrido, mas a análise fica prejudicada em função dos resultados obtidos no primeiro posto.

Com o modelo MERO (1971) foram gerados dados em quatro postos. A geração foi independente para cada posto, pois o modelo é univariado. Quanto à chuva diária, os resultados, em termos médios, foram considerados satisfatórios. Entre-

tanto, os parâmetros estatísticos dos períodos secos e úmidos não foram preservados, indicando, mais uma vez, que a persistência da chuva diária é um fator importante e que deve ser considerado.

Em relação ao modelo que propôs, CONEJO (1980) considerou serem satisfatórios os resultados obtidos com relação ao processo de ocorrência dos períodos secos e chuvosos. Relativamente à chuva diária, o modelo produziu grandes distorções, observando-se que as chuvas anuais geradas superaram, em muito, as observadas. Estes resultados podem ser explicados como fruto de uma má escolha da distribuição de probabilidades da chuva diária, ou então do esquema de regressão adotado (CONEJO, 1980). A distribuição normal, devido à forte assimetria da chuva diária, geralmente não é um bom modelo para esta variável hidrológica.

LIU, KERN, NASCIMENTO e BARROS (1981) utilizaram o modelo de KREAGER (1971) com algumas modificações, para gerar chuvas diárias simultaneamente em até três sub-bacias do Rio Iguazú. Simplificações foram introduzidas na determinação do estado do tempo em cada sub-bacia, mas a principal modificação foi substituir as distribuições empíricas de probabilidades pela distribuição "gama", de modo a gerar chuvas máximas superiores às observadas nos dados históricos. Em função da destinação que se queria dar às chuvas geradas, os resultados da aplicação do modelo foram considerados satisfatórios. Todavia, como na grande maioria das citações efetuadas neste trabalho, as conclusões com base

na análise das condições médias pode levar a resultados não satisfatórios e até mesmo equivocados (dependendo da utilização que se dará às séries sintéticas), conforme se comentará no decorrer deste trabalho.

PALERMO e LIN (1983) efetuaram um estudo bastante semelhante ao de CONEJO (1980), também em alguns postos do Estado de São Paulo. Utilizaram os mesmos modelos, apenas trocando a distribuição normal pela exponencial no modelo desenvolvido pelo autor citado. Obtiveram, em relação à ocorrência do processo, resultados praticamente semelhantes aos de CONEJO (1980), e a troca das distribuições mencionadas não eliminou as distorções ocorridas nas chuvas diárias. Acredita-se, portanto, que a falta de um mecanismo que obrigasse a coincidência da chuva gerada na bacia (neste caso com a distribuição exponencial) e a média calculada, a partir das chuvas geradas nos postos, por regressão, é que estaria ocasionando as distorções verificadas em ambos os estudos.

GENOVEZ e CHAUDHRY (1987) também utilizaram um modelo Markoviano de primeira ordem para a determinação do estado do tempo no posto pluviométrico Bairro Piteu (código DAEE-D2-13) em São Paulo. Nos dias chuvosos, as alturas de chuva foram geradas com as distribuições Gumbel, exponencial e gama 2 parâmetros. Inicialmente o modelo foi testado com o ano dividido em dois períodos homogêneos e posteriormente considerou-se o mês como período homogêneo. Em termos médios, os resultados obtidos foram satisfatórios nas duas

situações, embora tenham melhorado quando se considerou o mês como período homogêneo, principalmente nos meses mais secos. Foram comparados os números médios mensais de dias chuvosos, os totais médios mensais e anuais da precipitação e a precipitação média diária de cada mês. Os autores informaram ainda que as distribuições Gumbel e exponencial não se mostraram adequadas.

SANSIGOLO (1988) ajustou um modelo estocástico Markoviano às precipitações diárias em Piracicaba-SP. A ocorrência da chuva era dada por uma cadeia de Markov de primeira ordem de 2 estados, com probabilidades de transição não estacionárias. Nos dias chuvosos as quantidades de chuva foram geradas com uma distribuição gama 2 parâmetros, com médias variáveis ao longo do tempo. Séries de Fourier foram utilizadas para descrever as sazonalidades das probabilidades de transição e das médias das distribuições gama. Os resultados obtidos foram considerados bons pelo autor em questão, entretanto a análise foi apenas efetuada em termos médios sobre os totais mensais e os números de dias chuvosos nos doze meses do ano.

NASCIMENTO (1989) utilizou Cadeias de Markov de primeira e de segunda ordem, com 2 estados (dia seco ou chuvoso) e com 8 estados (um estado seco e 7 chuvosos, conforme o nível da precipitação) para estudar a ocorrência da chuva diária na Bacia do Rio Canoas até a seção fluviométrica de Colônia Santana (trabalhou, portanto, com a chuva média diária calculada a partir das observações diárias em vários

postos pluviométricos). No caso dos dias chuvosos, a chuva foi gerada com a distribuição exponencial 2 parâmetros. NASCIMENTO (1989) utilizou também o modelo de KREAGER (1971) modificado por KERN (1978), o qual introduziu, a partir de um determinado quantil, a distribuição gama 2 parâmetros, de modo a gerar valores máximos superiores aos observados na série histórica, pois KREAGER (1971), como já foi dito anteriormente, utilizou apenas a distribuição empírica. Embora os modelos tenham apresentado resultados satisfatórios em termos médios (precipitações e números de dias chuvosos mensais e anuais), a análise das condições extremas (seqüências de dias chuvosos consecutivos e precipitações máximas anuais) indicou que os mesmos não mantinham a persistência observada na série histórica. Acoplou-se, então, a um dos modelos Markovianos, um outro mecanismo de dependência, o qual consistiu em gerar as alturas de chuvas diárias, quando se obtinha uma seqüência de dias chuvosos, com um modelo auto-regressivo de ordem 1-AR(1). Embora não mudando os números de seqüências de dias chuvosos consecutivos, este procedimento se mostrou promissor, tendo subsidiado o desenvolvimento do modelo proposto. Com ele conseguiu-se que as curvas das distribuições acumuladas das precipitações máximas anuais, para diversos dias de duração, se tornassem semelhantes às curvas obtidas com os dados históricos. Assim, chama-se a atenção para a necessidade de verificar não apenas os resultados médios, mas também os resultados extremos, como valores máximos anuais para diversas durações e número de seqüências de dias secos e de dias chuvosos para diversas durações, entre outras aná-



lises.

Cadeias de Markov também têm sido utilizadas para modelar simultaneamente as ocorrências e as alturas de chuvas precipitadas.

KHANAL e HAMRICK (1974) utilizaram uma Cadeia de Markov de 14 estados para cada mês do ano (estimaram  $14 \times 14 \times 12 = 2352$  probabilidades de transição), para modelar as seqüências de chuvas diárias na Flórida. Eles não ajustaram distribuições de probabilidades às chuvas e consideraram o ponto médio do intervalo de definição de cada estado como a chuva gerada, à medida em que os estados eram sorteados. Os autores realizaram alguns testes para verificar o modelo. Para o mês de julho, utilizaram o teste de Kolmogorov-Smirnov para comparar as curvas de freqüências acumuladas (computadas a partir dos 14 estados de precipitação) dos dados observados e gerados. O mesmo teste foi utilizado para os comprimentos dos períodos chuvosos. O teste do qui-quadrado também foi efetuado para testar as freqüências dos dias chuvosos. Algumas estatísticas também foram comparadas, como totais precipitados médios mensais, número médio mensal de dias chuvosos e chuvas máximas e mínimas mensais. Com base nestes testes concluíram que o modelo teve um desempenho satisfatório.

HAAN, ALLEN e STREET (1976) dividiram o ano em quatro estações homogêneas e utilizaram uma Cadeia de Markov de primeira ordem de 7 estados (estimaram  $7 \times 7 \times 4 = 196$  probabi-

lidades de transição) para modelar as chuvas diárias em Kentucky. Eles assumiram distribuições uniformes para as alturas precipitadas em todos os estados, exceto no último, no qual utilizaram uma distribuição exponencial truncada, de modo a levar em conta a grande variabilidade nos totais precipitados e também poder gerar valores superiores aos observados. De modo a verificar as propriedades do modelo, fizeram várias comparações entre os dados históricos e os gerados (6 séries de 40 anos cada): (1) média e desvio padrão da precipitação mensal, (2) número médio anual de dias chuvosos, (3) máxima chuva diária em cada mês, (4) número de sequências de dias secos e chuvosos para o mês com chuva média mais próxima da chuva média mensal (abril), (5) número de sequências de dias secos e chuvosos para o mês mais chuvoso e (6) número de sequências de dias secos e chuvosos para o mês mais seco. As comparações efetuadas indicaram o bom desempenho do modelo e deve-se notar que as análises foram razoavelmente extensivas.

POMPÊO e RIGHETTO (1983) trabalhando com a chuva média diária na Bacia do Rio Jacaré-Guaçú em São Paulo, desenvolveram um modelo Markoviano de modo a modelar conjuntamente a ocorrência e o montante precipitado nos dias chuvosos. A partir da análise mensal dos dados de precipitação, concluíram por dividir o ano em apenas dois períodos sazonais homogêneos. Os autores informaram que as distribuições exponencial e gama se ajustaram satisfatoriamente aos dados observados. Analisando as séries geradas em termos médios, os autores concluíram que os resultados obtidos foram satisfa-

tórios, com a distribuição gama apresentando um desempenho ligeiramente superior à exponencial. POMPÊO e RIGHETTO (1983) apresentaram ainda um modelo para desagregar os dados diários em horários, cujo procedimento é baseado na desagregação de um conjunto sequencial de dias chuvosos e não dia a dia.

RIOS e SRINIVASAN (1989) também desenvolveram modelos Markovianos considerando conjuntamente a ocorrência e o total precipitado em três sub-bacias do Rio Jaguaribe, no Nordeste brasileiro. Aos totais precipitados no segundo dia foram ajustadas as distribuições log-normal, gama e Gumbel, pois aos autores interessava apenas estudar as ocorrências de chuvas em dois dias consecutivos ou, mais precisamente, o montante precipitado num determinado dia, dada a quantidade de chuva do dia anterior.

Concluindo a apresentação dos modelos baseados em Cadeias de Markov, verifica-se que os mesmos podem ser adequados para alguns locais e para algumas estações do ano. Todavia, sua estrutura de dependência não tem memória suficiente para descrever apropriadamente a longa persistência observada nos períodos secos e chuvosos. Outrossim, o número de parâmetros a estimar cresce assustadoramente, caso se queira modelar a chuva com um detalhamento maior. Por outro lado, um detalhamento maior pode trazer problemas de precisão nas estimativas das probabilidades de transição, quando não se tem um número razoável de observações em determinados intervalos. O grau de detalhamento é, portanto, um pro-

blema a ser resolvido em cada caso.

Ainda dentro da modelagem binária discreta, de modo a aproveitar a classificação dada às estruturas de ocorrência da chuva diária, vários outros tipos de modelos têm sido propostos.

KELMAN (1977), talvez tenha se valido pioneiramente dos modelos tradicionais de séries temporais para modelar a chuva diária. No seu modelo, a precipitação foi idealizada como tendo origem num processo linear auto-regressivo de primeira ordem submetido a vários filtros, um dos quais assegurava a intermitência do processo. Na Figura (II.2) pode-se visualizar o processo de filtragem.

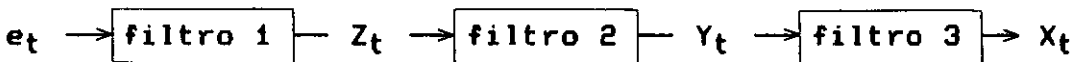


Figura II.2 - Representação Esquemática do Modelo  
KELMAN (1977)

De acordo com a modelagem idealizada, tem-se:

$$Z_t = m + r.(Z_{t-1} - m) + s.(1 - r^2)^{0,5}.e_t \quad (\text{II.19})$$

Onde:

$$e_t \sim N(0,1) \quad (\text{distribuição normal padrão}) \quad (\text{II.20})$$

e portanto:

$$Z_t \sim N(m, s^2) \quad (\text{distribuição normal}) \quad (\text{II.21})$$

Como  $Z_t$  não representa um processo intermitente, como a chuva diária, torna-se necessário submetê-lo a um filtro. Define-se então o processo  $Y_t$  como:

$$Y_t = Z_t, \text{ se } Z_t > 0 \quad (\text{II.22})$$

$$Y_t = 0, \text{ se } Z_t \leq 0 \quad (\text{II.23})$$

O processo  $Y_t$ , portanto, é intermitente e dotado de um mecanismo de dependência. A distribuição cumulativa dos valores de  $Y_t$  positivos -  $P(Y_t \leq y / Y_t > 0)$  - KELMAN (1977) deu o nome de "distribuição normal truncada". Observando que a distribuição marginal dos valores positivos de  $Y_t$  é caracterizada por uma alta assimetria, maior do que a da "normal truncada", o autor fez ainda uma última transformação:

$$X_t = Y_t^{1/a} \quad (\text{II.24})$$

e considerou que a distribuição marginal das observações positivas do processo  $X_t$  era a "distribuição potência da normal truncada".

KELMAN (1977) estendeu ainda o modelo proposto para o caso multivariado e ajustou Séries de Fourier aos seus parâmetros, para levar em conta a periodicidade, embora também tenha aplicado o modelo a determinados períodos sazonais, os quais foram considerados estacionários. Nestes casos foram realizados testes de estacionaridade, bem como de persistência, para verificar a correlação serial dos dados.

Na aplicação do modelo foram utilizados dados de oito estações pluviométricas, espalhadas em vários estados americanos e portanto submetidas a condições climáticas diferentes. Os dados gerados foram submetidos a uma bateria de testes (vide item II.3) e o modelo, em geral, mostrou-se satisfatório.

Na bibliografia mais recente sobre a modelagem estocástica das precipitações, encontra-se também a aplicação de modelos auto-regressivos discretos de médias móveis, cuja abreviatura, DARMA(p,q), vem da sua denominação no idioma Inglês: Discrete Autoregressive Moving Average Models. Nos modelos DARMA(p,q), o índice "p" indica a ordem do termo auto-regressivo e o índice "q" a ordem da componente de médias móveis. Maiores detalhes destes modelos e a derivação de suas propriedades estatísticas são dadas nos trabalhos de JACOBS e LEWIS (1978 a,b,c; 1982) e CHANG, KAVVAS e DELLEUR (1982, 1984).

BUIHAND (1978) utilizou o modelo DARMA(1,1) para modelar seqüências diárias de dias secos e chuvosos em várias partes do mundo, concluindo não ser possível utilizar satisfatoriamente o mesmo modelo para descrever as seqüências de curta e longa duração, de dias secos e chuvosos.

CHANG, KAVVAS e DELLEUR (1984) aplicaram o modelo DARMA(p,q) para modelar as precipitações diárias observadas numa estação pluviométrica situada em Indiana (EUA). Iniciando em 1º de janeiro, o ano foi dividido em quatro esta-

ções de 90 dias. Dentro de cada estação o processo foi suposto estacionário e o efeito transiente, ao se passar de um período sazonal para o seguinte, foi desprezado. As precipitações foram transformadas numa série discreta de três estados, de acordo com os seguintes intervalos:

$$X_i = \begin{cases} 0 & \text{se } p_i < P_j \\ 1 & \text{se } P_j \leq p_i \leq P_j + S_j \\ 2 & \text{se } p_i > P_j + S_j \end{cases} \quad J=1,2,3,4 \quad (\text{II.25})$$

onde:

$X_i$  - indica o estado da precipitação

$p_i$  - valor observado da precipitação num dia qualquer

$P_j$  - precipitação média do período sazonal  $J$

$S_j$  - desvio padrão da precipitação diária do período sazonal  $J$

O modelo DARMA( $p, q$ ) foi então utilizado para modelar a ocorrência dos três estados em que a precipitação foi discretizada. Nas aplicações efetuadas foram testados os modelos estacionários DARMA( $1, q$ ), com ( $q \geq 1$ ) e os casos particulares dessa família de modelos, ou seja, os modelos DAR( $p$ ) e DMA( $q$ ), denominados, respectivamente, de Modelo Discreto Auto-Regressivo de Ordem " $p$ " e Modelo Discreto de Médias Móveis de Ordem " $q$ ". Os autores consideraram que na determinação da duração dos períodos secos e molhados, a persistência era a propriedade mais importante e a mediram através da função de auto-correlação das precipitações diárias, conforme a discretização efetuada. Os comportamentos das

funções de auto-correlação destes modelos são os mesmos descritos por BOX e JENKINS (1976) para os modelos ARMA(p, q), AR(p) e MA(q). Com base nas funções de auto-correlações amostrais, os modelos DMA(2), DAR(1) e DARMA(1,1) foram identificados, nos quatro períodos sazonais em que o ano foi dividido, como candidatos para modelar as precipitações em estudo, pois todos eles possuem funções de auto-correlação teóricas similares às amostrais. A escolha então foi feita com base na capacidade de cada modelo candidato preservar a distribuição empírica dos comprimentos dos períodos secos e molhados.

Segundo FOUFOULA-GEORGIU (1985) os modelos DARMA(p,q) são um avanço em relação às cadeias de Markov, no sentido de que podem acomodar, em sua estrutura, uma dependência maior com maior parcimônia, embora sua estrutura linear também não tenha a capacidade de descrever a persistência encontrada nas ocorrências das chuvas diárias. Assim, como também acontece com as cadeias de Markov, os modelos DARMA (p,q) têm a capacidade de manter a frequência dos eventos ou estados, mas não de acordo com os padrões de ocorrência observados. Exemplificando, os números de dias secos e chuvosos, ou dos estados em que as precipitações foram divididas, deverão ser mantidos, mas os modelos não deverão preservar as estiagens e os períodos de dias chuvosos consecutivos mais prolongados.

KELMAN, COSTA, DAMÁZIO e DIAS (1985) propuseram um modelo auto-regressivo multivariado de primeira ordem, cuja



descrição é dada a seguir. Seja "X" a precipitação pontual num posto pluviométrico qualquer, num dia qualquer e cuja amostra é ordenada crescentemente:

$(x_1, x_2, \dots, x_k)$ , com  $k = h.m$ , onde:

$h$  = nº de dias da estação chuvosa

$m$  = nº de anos do registro pluviométrico

A distribuição acumulada empírica de "X" é definida por:

$$\hat{F}(x_i) = \begin{cases} j/k & \text{se } x_i = 0 \\ i/k & \text{se } x_i > 0 \end{cases} \quad (\text{II.26})$$

onde

$j$  = nº total de dias com precipitação nula

Um valor para X pode ser gerado sorteando-se uma variável aleatória uniformemente distribuída entre zero e um e fazendo-a igual a  $F(X)$ . Se:

$$F(X) \in (\hat{F}(x_i), \hat{F}(x_{i+1})) , \text{ então } X = x_{i+1}$$

De modo a trabalhar com processos estocásticos multivariados gaussianos, mais fáceis de serem manipulados, os autores transformaram a variável aleatória "X" numa variável aleatória "Y" normal padrão, assumindo que todos os valores de "Y", menores que uma determinada constante "a", foram censurados, resultando em valores nulos para "X":

$$y = \Phi^{-1}(F(x)) \quad , \text{ se } x > 0 \quad (\text{II.27})$$

$$y \leq a = \Phi^{-1}(F(x)) \quad , \text{ se } x = 0 \quad (\text{II.28})$$

onde  $\Phi(\cdot)$  é a distribuição acumulada normal padrão.

A transformação descrita pelas equações (II.27) e (II.28) pode então ser empregada para mapear todas as precipitações numa série temporal multivariada e censurada  $(Y_{i,t})$ , sendo  $i = 1, 2, \dots, p$  o índice do posto e "t" o índice do dia.

A equação que define o processo multivariado auto-regressivo de ordem 1 é dada por:

$$Y_t = AY_{t-1} + BW_t \quad (\text{II.29})$$

onde:

$Y_t$  - vetor correspondente ao dia t com dimensão igual ao número de postos (p)

$W_t$  - vetor de ruídos normais padrão, independentes entre si, com dimensão igual a "p"

A e B - matrizes "p x p" de constantes

A partir das estimativas das matrizes "A" e "B", conforme descrição dos autores, séries sintéticas de precipitação podem ser produzidas a partir do sorteio de valores " $W_t$ " que, com o auxílio da Equação (II.29), resultam em valores " $Y_t$ ". Usando-se a inversa das transformações defini-

das pelas equações (II.27) e (II.28) e a equação (II.26), para cada posto pluviométrico, obtém-se a precipitação pontual. Os autores sugerem ainda que a distribuição empírica de probabilidades de "X" pode ser substituída, a partir de um valor próximo da unidade, por uma distribuição teórica, de modo a não limitar os valores extremos aos observados nas séries históricas de precipitações.

### II.2.1.3 - PROCESSOS PONTUAIS

Um processo pontual consiste de uma série de eventos que ocorrem aleatoriamente no tempo (ou no espaço). Sob esta definição, a ocorrência da chuva diária pode ser vista como um processo pontual, onde um período de vários dias chuvosos pode ser tratado como um grupo de eventos instantâneos, cada qual ocorrendo no intervalo de um dia e cujos tempos de separação são números inteiros positivos (1,2,3, ..dias). O processo fica caracterizado pela distribuição do número de eventos ocorridos num determinado intervalo de tempo e pela distribuição dos intervalos de tempo entre eventos.

As estruturas dos processos pontuais não foram utilizadas neste trabalho e a sua apresentação visa, principalmente, complementar a descrição das metodologias de modelagem da ocorrência da chuva diária.

A teoria dos processos pontuais contínuos foi estudada, entre outros, por COX e LEWIS (1978). WAYMIRE e GUPTA (1981 a,b,c) fizeram uma revisão da teoria dos processos pontuais, focalizando principalmente os aspectos relevantes ao estudo das variáveis hidrológicas, onde a precipitação é destacada. Estes autores chamam a atenção de que a maioria dos processos hidrológicos evoluem continuamente no espaço e no tempo (campos ou espaços aleatórios). Uma análise destes processos requer que as ferramentas matemáticas sejam aplicáveis aos processos que se desenvolvem em mais de uma dimensão. Exemplos típicos são a variação espaço-temporal das chuvas, a recarga de lençóis subterrâneos no espaço e no tempo e a dispersão de poluentes em rios e reservatórios. Segundo os autores citados, a transição de um processo situado numa linha, para espaços dimensionais de maior ordem, pode ser extremamente complicada para certas abordagens e estruturas matemáticas, como as cadeias de Markov, por exemplo. Entretanto, estas complicações, ainda segundo os autores citados, não são encontradas na abordagem dos processos pontuais, cujas estruturas matemáticas podem ser desenvolvidas com o mesmo grau de dificuldade, tanto para os processos unidimensionais quanto para aqueles de maior ordem.

O mais simples dos processos pontuais é o processo de Poisson, cuja definição formal e propriedades podem ser encontradas em diversos livros de processos estocásticos. No processo de Poisson, os tempos entre eventos são independentes e identicamente distribuídos com distribuição expo-

nencial e o número de eventos, num determinado intervalo de tempo, ou em intervalos de tempo não superpostos, é uma variável aleatória com distribuição de Poisson.

TODOROVIC e YEVJEVICH (1969) sem terem como objetivo o desenvolvimento de um modelo de geração de chuvas sintéticas, dividiram o ano em 28 períodos sazonais de 13 dias e estudaram as seguintes variáveis do processo chuvoso: (1) o número de eventos chuvosos num dado período de tempo, (2) o máximo número de eventos chuvosos, com a precipitação total não excedendo um determinado valor limite, (3) o fim ou término dos eventos chuvosos, (4) a precipitação total para um dado número de eventos chuvosos, (5) a precipitação total para um evento chuvoso específico e (6) a precipitação durante um determinado intervalo de tempo. Um evento chuvoso foi definido como um período de chuva ininterrupta (um ou mais dias ou uma ou mais horas) e também como um dia (ou uma hora) com chuva, independentemente de ter ocorrido ou não chuva nos dias (ou horas) precedentes e após o dia (ou hora) considerado. Assumindo que o número de eventos chuvosos num dado intervalo (o período sazonal, de modo a assegurar a estacionariedade do processo) tinha distribuição de Poisson e adotando algumas simplificações, TODOROVIC e YEVJEVICH (1969) avaliaram as distribuições de probabilidades das variáveis em estudo. Eles demonstraram que todas essas variáveis dependiam de dois parâmetros:  $T_1$ , o número de eventos chuvosos numa unidade de tempo e  $T_2$ , o inverso da precipitação média por evento chuvoso. A variação destes parâmetros foi estudada para quatro estações pluviométricas

dos Estados Unidos, tendo sido ajustadas funções periódicas ao conjunto dos 28 desses dois parâmetros (1 parâmetro de cada tipo para cada período sazonal). Considerando as duas definições de um evento chuvoso, conforme acima descrito, verificou-se que para os dias chuvosos a primeira definição conduzia a um número menor e a segunda, a um número maior de dias (ou horas) chuvosos por intervalo de tempo do que o valor esperado deste número considerado.

TODOROVIC (1968), VERSCHUREN (1968) e GUPTA e DUCKSTEIN (1975) também utilizaram a estrutura do processo de Poisson para estudar a ocorrência das precipitações.

Muitos autores, entre os quais KAVVAS e DELLEUR (1975) e TODOROVIC e WOOLHISER (1976), criticaram a metodologia utilizada, apontando que a propriedade fundamental do processo de Poisson (a independência das seqüências de eventos chuvosos num determinado intervalo de tempo) não tem sido válida na análise das precipitações.

WAYMIRE e GUPTA (1981 a,b,c), além do processo de Poisson, descreveram a estrutura de outros processos pontuais, como o modelo de contagem da urna de Polya (FELLER, 1968, pág.480) e o modelo de NEYMAN-SCOTT. O processo de Polya pode ser visto como um processo de Poisson em que a taxa de ocorrência é aleatória com distribuição gama (FELLER, 1971, pág. 57). O processo de Polya foi introduzido por WISER (1965) para a contagem de eventos chuvosos, o qual revelou que os resultados obtidos foram satisfatórios

para descrever as ocorrências das chuvas diárias persistentes sobre períodos prolongados (CHANG, KAVVAS e DELLEUR, 1984). WAYMIRE e GUPTA (1981 c) comentaram que os processos de Poisson e Polya são diametralmente opostos, pois enquanto o primeiro processo supõe que a contagem é independente, o segundo processo considera que a dependência se estende sobre todo o eixo dos tempos. Concluem os autores, pelo fato das chuvas se distribuírem aglomeradas em núcleos, que o verdadeiro processo deve se situar entre os processos de Poisson e de Polya e que também, por este mesmo motivo, a teoria dos processos pontuais é uma ferramenta mais apropriada para tratar dos eventos chuvosos do que a teoria dos processos de Markov. Também citaram o modelo de Neyman-Scott, como exemplo de um processo pontual que exhibe uma estrutura de dependência adequada para descrever os núcleos observados nas ocorrências dos eventos chuvosos. KAVAS e DELLEUR (1975) observaram que as ocorrências das chuvas diárias em Indiana (EUA) exibiam uma aglomeração que deveria ser satisfatoriamente modelada pela classe de modelos de núcleos de Poisson e em particular pelo modelo de Neyman-Scott (N-S). O processo N-S foi introduzido por NEYMAN e SCOTT (1958) para estudar fenômenos cosmológicos agrupados em núcleos. Um processo N-S é um processo em dois níveis. No primeiro nível os mecanismos de geração da chuva - RGM (rainfall generating mechanisms) ocorrem de acordo com um processo de Poisson com taxa média de ocorrência. Cada RGM dá nascimento a um núcleo de eventos chuvosos. Em cada núcleo a ocorrência dos eventos fica completamente especificada pela distribuição do número de eventos e pela dis-

tribuição de suas posições em relação ao centro do núcleo. KAVVAS e DELLEUR (1975, 1981) assumiram uma distribuição geométrica para determinar o número de eventos num núcleo e uma distribuição exponencial para descrever as distâncias dos eventos ao centro do núcleo. Observaram ainda que o modelo de Neyman-Scott, embora tenha uma estrutura de dependência flexível e uma base física, é formalmente um modelo de um processo pontual contínuo no tempo e que o seu uso, para modelar as chuvas diárias, que é um processo pontual discreto, pode não ser apropriado.

FOUFOULA-GEORGIU (1985) reporta que SMITH (1981) apresentou um outro modelo de processo pontual, pertencente à família dos modelos duplos estocásticos de Poisson, para descrever as ocorrências das chuvas diárias, no período de verão (julho a outubro), na bacia do Rio Potomac. Nos modelos duplos estocásticos de Poisson, também conhecidos como modelos de Cox, a taxa de ocorrência do processo se alterna entre dois estados, um zero e outro positivo. Nos períodos em que a intensidade é zero nenhum evento ocorre. SMITH e KARR (1983) assumiram que durante períodos com intensidade positiva, os eventos ocorrem de acordo com um processo de Poisson com taxa de ocorrência ( $\lambda$ ) e que a sequência de estados visitados forma uma cadeia de Markov. Este modelo é do tipo renovação (os tempos entre os eventos são independentes) e é denominado abreviadamente por RCM (Renewal Cox model with Markovian intensity).



FOUFOULA-GEORGIU (1985) aponta que os modelos dos processos pontuais contínuos acima descritos são "sobre-dispersos" em relação ao modelo de Poisson, no sentido de que apresentam, num intervalo de tempo arbitrário, a variância do número de eventos maior do que a média, enquanto que no processo de Poisson estas variáveis são iguais. Aponta ainda que suas análises indicaram que as estruturas de ocorrência das chuvas diárias podem ser "sub-dispersas" em relação a Poisson (os eventos ocorrendo mais regularmente que num processo de Poisson) e que este comportamento não pode ser reproduzido pelos modelos do tipo "N-S" ou "RCM". Após analisar a conveniência de modelar a ocorrência da chuva diária com processos pontuais contínuos ou discretos, conclui pela inadequação dos processos pontuais contínuos, embora os mesmos tenham sido utilizados intensivamente nos últimos anos. Propõe então um modelo pontual discreto univariado, a nível diário, baseado num processo semi-Markoviano de dois estados, e no qual os tempos entre eventos (intervalos) são descritos por duas distribuições geométricas, sorteadas aleatoriamente a partir da matriz de transição. A precipitação nos dias chuvosos foi modelada considerando os totais precipitados independentes, a partir das distribuições Weibull, gama e exponencial mista, tendo esta última sido escolhida por ter apresentado um melhor ajustamento visual. O modelo foi ajustado aos dados diários de duas estações pluviométricas em bases mensais e sazonais. Em relação à ocorrência da precipitação, FOUFOULA-GEORGIU (1985) considerou os resultados do modelo bastante aderentes aos observados. Em relação aos totais precipita-

dos, as chuvas diárias apenas preservaram as médias e desvios padrões sazonais de apenas uma estação pluviométrica. Com relação a eventos extremos nenhuma comparação foi efetuada.

## II.2.2 - MODELOS DE GERAÇÃO DAS ALTURAS PRECIPITADAS (Distribuições de Probabilidades)

Conforme visto anteriormente, a maioria dos modelos de ocorrência da precipitação considera algum tipo de dependência em intervalos de tempos sucessivos. Todavia, na ocorrência de um evento chuvoso, geralmente o montante precipitado é suposto ser independente dos montantes precipitados nas ocorrências anteriores. Assim sendo, é muito fácil atribuir um valor à altura de chuva precipitada, pois esta fica completamente caracterizada pela sua função marginal de densidade de probabilidade. Para a geração da chuva utiliza-se a distribuição acumulada, que pode ser empírica ou teórica. As distribuições teóricas mais utilizadas, para gerar alturas de chuvas, têm sido a exponencial, a Gumbel, a gama e a exponencial mista, cujas descrições e métodos de estimativas dos parâmetros podem ser encontrados em BENJAMIN e CORNEL (1970), YEUVJEVICH (1972), HAAN (1977), KITE (1977) e ELETROBRÁS-CEPEL (1987), entre outros, e também em algumas das referências bibliográficas citadas neste trabalho.

Uma outra abordagem utilizada supõe que as alturas precipitadas são independentes, mas sua distribuição depende do estado do tempo (seco ou chuvoso) no dia anterior.

WOOLHISER e ROLDÁN (1982), utilizando as duas abordagens acima descritas, ajustaram e compararam, para cinco estações pluviométricas dos Estados Unidos, situadas em Kansas, Missouri, Florida, Wyoming e Indiana, as distribuições exponencial, gama e exponencial mista. Baseados no "Critério de Informação de Akaike" - (AIC-Akaike Information Criterion) - concluíram que a distribuição que melhor se ajustava era a exponencial mista, seguida da gama, da gama "dependente" (considerando a distribuição dependente do estado do tempo no dia anterior) e finalmente a exponencial.

O critério de informação de Akaike é uma medida, com base na função de verossimilhança, que procura balancear a meta de parcimônia de parâmetros com o objetivo de se obter um bom ajuste (KELMAN, 1987a).

No estudo não foi testado o grau de dependência serial das alturas precipitadas, sendo a independência assumida implicitamente. Os autores chamam ainda a atenção para o fato de que utilizaram amostras pequenas e que as conclusões sobre o ordenamento das distribuições poderia mudar, caso eles tivessem utilizado amostras maiores.

Em alternativa ao critério de Akaike, principalmente quando a geração de eventos extremos é importante, como chuvas máximas anuais para várias durações, pode-se utilizar o critério da "robustez". Segundo este critério, a distribuição que melhor se ajusta à amostra nem sempre é aquela que gera, de modo confiável, os valores extremos de grandes recorrências. Estudos efetuados pelo CEPEL-ELETOBRÁS (1987), bem como outros reportados por KELMAN (1987b) sobre vazões máximas anuais, indicam a superioridade das distribuições de 2 parâmetros sobre as de 3 parâmetros, com destaque para a distribuição exponencial 2 parâmetros. Embora não havendo um estudo semelhante para chuvas máximas anuais, os resultados não podem ser desprezados. De qualquer forma, considera-se, com base nos resultados obtidos neste trabalho, e que serão apresentados adiante, que, quando os resultados médios são importantes, como totais mensais e anuais, a utilização da distribuição empírica, convenientemente discretizada, conduz aos melhores resultados. Evidentemente que uma distribuição teórica tem uma representação bem mais compacta que uma curva de frequências relativas acumuladas, e este aspecto, devido à portabilidade, pode ser importante em algumas situações. Entretanto, é fácil estabelecer procedimentos computacionais e obter, via computador, uma curva de frequência tão discretizada quanto se queira, evitando assim erros de manipulação. Foi o que se fez neste trabalho, adotando-se ainda distribuições exponenciais combinadas às empíricas, de modo a não limitar as chuvas extremas aos valores históricos observados na amostra. Chama-se também a atenção para a alta incerteza

associada a extrapolações com distribuições de probabilidade descritas por muitos parâmetros, no caso de haver um valor extremo (de recorrência desconhecida) na amostra. Considera-se, finalmente, que os estudos sobre distribuições teóricas são importantes apenas no sentido de limitar, para um caso genérico, a procura de uma distribuição para representar as alturas precipitadas, mas nunca para se chegar a um veredito definitivo.

Na seleção de uma distribuição teórica, merecem destaque os testes para eventos extremos efetuados por KELMAN (1977), de acordo com os procedimentos desenvolvidos por HOLLANDER e PROSCHAN (1975), a partir da seguinte hipótese nula " $H_0$  : a distribuição tem uma cauda exponencial". Nos 96 casos testados, em apenas 10, a hipótese nula não foi rejeitada ao nível de significância de 5%. A análise dos resultados dos testes, com base na comparação dos valores amostrais e teórico da estatística desenvolvida para sua realização, indicou que as precipitações diárias deveriam ser ajustadas a distribuições com caudas "pesadas", conforme a terminologia utilizada por BRYSON (1974), adiante explicada. KELMAN (1977), entretanto, chama a atenção para o fato de que o teste não é conclusivo, pois somente se conhece a distribuição assintótica da sua estatística. Propõe então o procedimento descrito por BRYSON (1974), o qual, tomando a distribuição exponencial como fronteira, classificou uma distribuição qualquer como sendo de cauda "pesada" ou de cauda "leve", conforme esta distribuição, na sua cauda direita, tenha valores respectivamente superiores ou

inferiores aos apresentados pela distribuição exponencial. O gráfico da Figura (II.3) exemplifica o texto e nele a distribuição exponencial é plotada como uma reta.

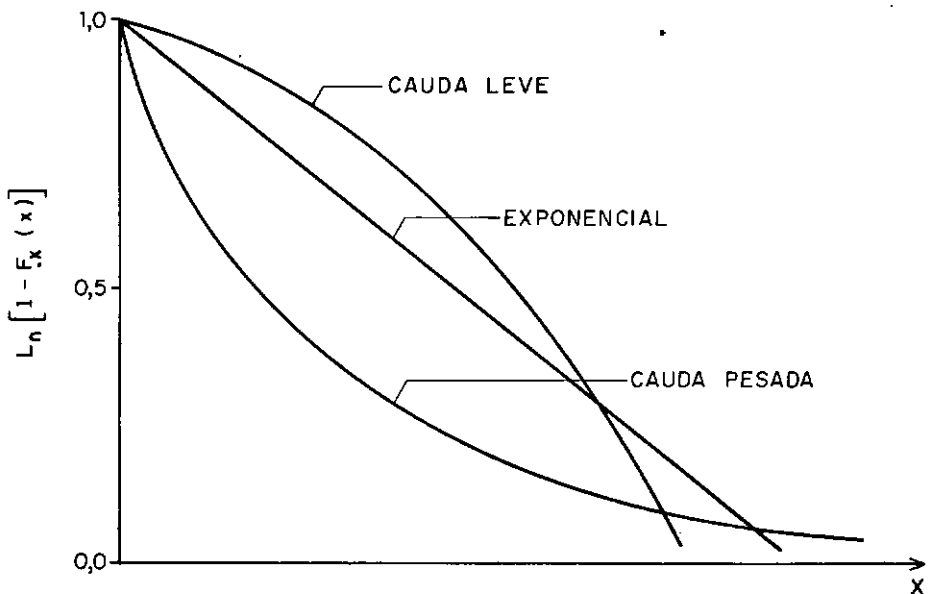


Figura II.3 - Exemplos de Distribuições Exponencial, de Cauda Leve e de Cauda Pesada.

Embora pouco explorada, é bastante plausível a hipótese de existir alguma dependência entre os totais precipitados em dias chuvosos consecutivos, principalmente nas regiões sujeitas a chuvas frontais, cujos mecanismos geradores persistem por vários dias. Considerando como verdadeira esta hipótese, aumenta a complexidade da modelagem da altura de chuva precipitada.

Os modelos usuais de séries temporais, tais como os descritos por BOX e JENKINS (1976), podem ser utilizados para modelar a altura de chuva diária a partir de certas adaptações ou transformações. Estes modelos utilizam a dis-

tribuição normal, a qual não é apropriada para o caso em questão, pois as alturas de chuva têm valores superiores a zero e, geralmente, forte assimetria positiva. O problema pode ser contornado a partir da normalização, ou da transformação para a normal, de uma distribuição de probabilidades conveniente. Em geral, a distribuição marginal adotada deve ter poucos parâmetros. No caso da chuva, as distribuições exponencial e gama, que têm assimetria positiva, são consideradas adequadas.

Neste trabalho considerou-se haver dependência entre os totais precipitados em dias chuvosos consecutivos, os quais foram gerados através de um modelo auto-regressivo de ordem 1-AR(1). A distribuição marginal utilizada foi uma combinação da empírica com a exponencial, conforme se verá adiante.

### II.3 - TESTES DE VALIDAÇÃO DOS MODELOS

A confiança que se possa ter num modelo estocástico de precipitações (vazões) depende da capacidade que êle tenha de preservar, nas séries sintéticas, algumas propriedades observadas na série histórica. Uma propriedade pode ser constituída por um único valor, como, por exemplo, a precipitação média anual (vazão média observada em n anos). Ou pode ser um conjunto de valores, como, por exemplo, a distribuição empírica de probabilidades da máxima precipitação

(vazão) observada em cada ano. Diz-se que um modelo preserva uma determinada propriedade quando não se pode distinguir estatisticamente a série histórica da sintética, com base nas observações desta propriedade nas duas séries (KELMAN, 1987a).

Quando alguma propriedade é utilizada para a determinação de um parâmetro do modelo, esta propriedade é automaticamente preservada, por construção. Neste caso, comparar a observação da propriedade da série sintética com seu correspondente da série histórica serve apenas para verificar a adequação do programa de computador utilizado, e não para validar o modelo (KELMAN e PEREIRA, 1977; STEDINGER e TAYLOR, 1982). Desse modo, no caso de modelos baseados em cadeias de Markov, comparar as probabilidades de transição de estados, calculadas com os dados observados e gerados, serve apenas como indicação da qualidade do gerador de números aleatórios. Por este motivo, a comparação dos números médios mensais e anuais de dias chuvosos não diz muito acerca da adequação do modelo. Do mesmo modo, comparar médias mensais e anuais, ou outras variáveis estatísticas, como o desvio padrão, também não diz muito sobre a qualidade do modelo, quando estas variáveis são parâmetros da distribuição de probabilidades utilizada para gerar as alturas de chuva. Nem por isso, entretanto, essas propriedades ou variáveis podem deixar de ser comparadas, mas é óbvio que, se elas não forem razoavelmente reproduzidas, o modelo deve ou pode ser rejeitado, dependendo da finalidade que se queira dar aos dados gerados.



A seleção do conjunto de propriedades em que se vai centrar atenção depende da aplicação que se pretenda dar às séries sintéticas. Por exemplo, se o objetivo de se gerar chuvas diárias sintéticas é estudar a formação de cheias numa bacia qualquer, a atenção deve estar voltada para as chuvas máximas anuais com determinadas durações (desde que essas variáveis não tenham sido dadas como parâmetros do modelo de geração de chuvas diárias). KELMAN (1987a) sugere que se avalie um modelo estocástico em relação a diversas variáveis aleatórias e não apenas, especificamente, em relação à variável que fornece resposta a um problema de engenharia, rejeitando-se ou não o modelo com base no conjunto dos resultados dos testes de validação.

Apresenta ainda (KELMAN, 1977) uma bateria de testes, cujo objetivo é verificar se as séries histórica e geradas foram sorteadas de uma mesma população (hipótese nula dos testes). A Figura II.4, representando chuvas diárias hipotéticas, num período de um ano em que ocorreram apenas três eventos chuvosos, ajuda a entender os testes propostos.

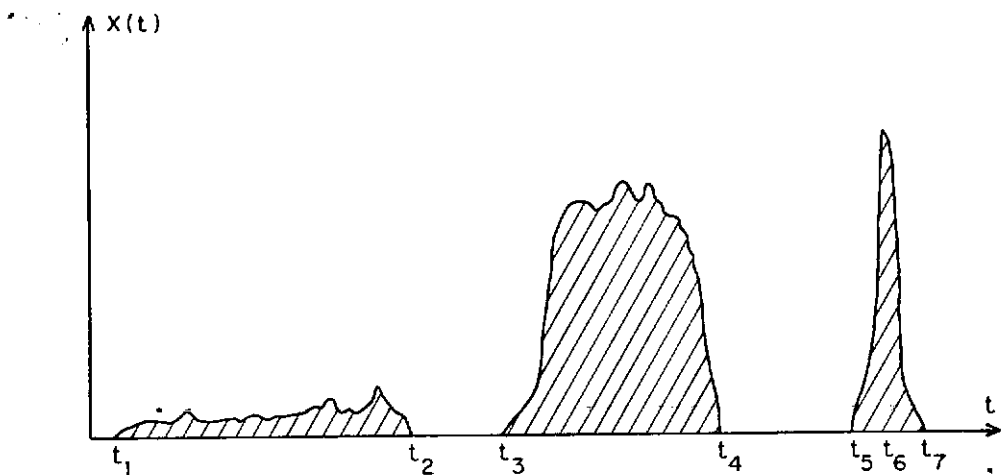


Figura II.4 Chuvas Hipotéticas num Ano qualquer

As seguintes funções foram sugeridas para os testes:

i) Os comprimentos das seqüências de dias chuvosos com alguma precipitação observada, precedidas e seguidas por dias secos, tal como nos períodos  $[t_1, t_2]$ ,  $[t_3, t_4]$  e  $[t_5, t_7]$ ;

ii) Os comprimentos das seqüências de dias secos consecutivos, tal como os períodos  $[t_2, t_3]$  e  $[t_4, t_5]$ ;

iii) A maior seqüência de dias chuvosos consecutivos, exemplificada pelo período  $[t_1, t_2]$ ;

iv) A maior seqüência de dias secos consecutivos, como no período  $[t_4, t_5]$ ;

v) O número total de pares de seqüências de dias chuvosos e de dias secos consecutivos, tal como as observações dos períodos  $[t_1, t_2; t_2, t_3]$  e  $[t_3, t_4; t_4, t_5]$ ;

vi) O início da mais longa seqüência de dias chuvosos consecutivos, tal como o instante de tempo  $t_1$ ;

vii) O início da mais longa seqüência de dias secos consecutivos, tal como o instante de tempo  $t_4$ ;

viii) O início da ocorrência da seqüência de dias chuvosos consecutivos que apresenta o maior total precipitado, tal como o instante de tempo imediatamente posterior a  $t_3$ ;

ix) O maior total precipitado numa seqüência de dias chuvosos consecutivos, tal como:  $\int_{t_3}^{t_4} x(t).dt$  ;

x) O total anual, ou seja, a precipitação anual, tal como:  $\int_{t_0}^{t_7} x(t).dt$  ;

xi) O máximo valor diário, ou seja, a máxima precipitação registrada num único dia, tal como  $x(t_6)$

Nas funções acima definidas, quando pertinente, foi considerado como pertencente ao ano "n+1" um evento cuja contagem tivesse sido iniciada no ano "n", mas que tivesse terminado no ano "n+1". Neste trabalho, nesses casos, considerou-se o evento como pertencente ao ano "n". Ambos os critérios são válidos e não há nenhuma diferença entre eles, exceto aquela intrínseca ao próprio modo de contar os eventos.

Foi sugerido ainda, para as funções contínuas (ix) a (xi), o teste de Kolmogorov-Smirnov para duas amostras. Para as funções discretas (iv) a (viii), o teste de Kolmogorov-Smirnov também foi sugerido, porém de modo aproximado. Para as funções (i) a (iii), também discretas, mas cujas realizações se agrupam em torno de poucas possibilidades, foi sugerido o teste de igualdade de duas distribuições multinomiais.

Apresenta-se, a seguir, o teste de Kolmogorov-Smirnov para duas amostras, pois o mesmo foi bastante utilizado neste trabalho. Como o teste é não paramétrico, a única suposição a ser considerada é que as observações são independentes.

A hipótese nula do teste é de que as duas amostras são de uma mesma população e, assim sendo, as suas distribuições acumuladas de probabilidades devem coincidir ou estar muito próximas. Neste caso, o máximo desvio medido, ou cal-

culado, entre as duas curvas, deve ser inferior a um determinado valor crítico, o qual depende do nível de significância adotado. Caso o valor do desvio calculado seja superior ao valor crítico, a hipótese nula deve ser rejeitada.

A Figura II.5 ajuda a entender o procedimento que será adiante descrito:

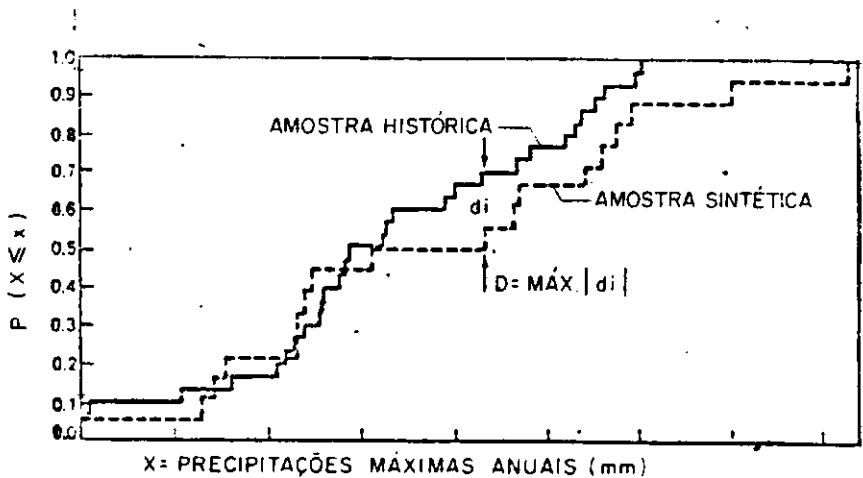


Figura II.5 - Teste de Kolmogorov-Smirnov - Determinação do Desvio Máximo entre as Distribuições Empíricas das duas Amostras.

O teste de Kolmogorov-Smirnov para duas amostras está exhaustivamente descrito na literatura técnica e, para maiores detalhes, recomenda-se a consulta a KOTTEGODA (1980). Entretanto, apresenta-se aqui o procedimento descrito pela ELETROBRÁS-CEPEL (1987) e que foi utilizado neste trabalho. Assim, sejam respectivamente "m" e "n" o número de observações da série histórica e da série sintética. Estas "m+n" observações são então arranjadas num vetor "x" em ordem crescente e, para cada posição da variável, anota-se a sé-

rie original (histórica ou sintética) a que ela pertencia.

Para cada  $x_i$  ( $i=1, m+n$ ) calcula-se:

$$d_i = (r_i/m) - (s_i/n) \quad (\text{II.30})$$

onde:

$r_i$  - número de  $x$ 's menores ou iguais a  $x_i$  que originalmente pertenciam à série histórica.

$s_i$  - número de  $x$ 's menores ou iguais a  $x_i$  que originalmente pertenciam à série sintética.

Obtém-se a estatística:

$$D = \text{máx } |d_i| \quad (\text{II.31})$$

O valor de "D" é então transformado, de modo a ser comparável à estatística de Kolmogorov-Smirnov.

$$Z = D [nm/(n+m)]^{0,5} \quad (\text{II.32})$$

Quanto maior o grau de não-identidade das duas populações, maior a probabilidade de valores grandes de "Z". A Tabela II.1 apresenta os valores críticos de "Z" para três níveis de significância e, para um determinado nível previamente escolhido, a hipótese nula deve ser rejeitada quando o "Z" calculado for maior que o "Z" crítico.

a	0,10	0,05	0,01
Z (crítico)	1,224	1,358	1,628

Tabela II.1 - Valores Críticos do Teste  
de Kolmogorov-Smirnov

FRANZ (1970) faz algumas considerações gerais sobre os testes estatísticos em Hidrologia: 1) a hipótese de amostragem aleatória é freqüentemente violada; 2) às vezes deve ser dado maior peso ao julgamento pessoal, baseado na experiência, e em alguns rápidos cálculos estatísticos, do que aos resultados dos testes.

HAAN (1977) assevera que a aceitabilidade de muitos modelos estatísticos e estocásticos pode ser julgada sem que realmente se faça qualquer teste estatístico. É o caso quando os dados observados e previstos pelo modelo são muito próximos ou muito afastados. Entretanto, em muitas situações, o julgamento não é tão óbvio e os testes podem ajudar a tomar uma decisão. Todavia, chama a atenção para o fato de ser impossível desenvolver testes absolutamente conclusivos. Todos os testes estão sujeitos a duas espécies de erro: 1) rejeitar a hipótese verdadeira e 2) aceitar a hipótese falsa. São os chamados erros Tipo I e Tipo II, respectivamente. HAAN (1977) chama ainda a atenção de que muitos testes de hipóteses são do tipo " $\theta = \theta_1$ ", contra a

alternativa " $\theta \neq \theta_1$ ". Aceitando tal hipótese como verdadeira, não significa que alguém ache necessariamente que " $\theta = \theta_1$ ", mas sim que " $\theta$ " não é significativamente diferente de " $\theta_1$ ". O que constitui uma diferença significativa pode ser definida pelo tipo de teste e pelo nível de significância utilizado. Outrossim, a significância estatística é diferente da significância física. Por exemplo, se o valor "4" é uma estimativa para o parâmetro " $\theta$ " e o teste de hipótese indica que a estimativa não é significativamente diferente de "zero", este valor não pode ser utilizado numa análise física, em que diferenças dessa magnitude são significativas. Portanto, a significância física depende do problema em estudo.

Em resumo, os testes de hipóteses podem auxiliar a tomar uma decisão mas, conforme mencionado, às vezes uma simples inspeção e comparação visual dos resultados é suficiente para decidir sobre o desempenho do modelo. Este procedimento deve ser sempre adotado e executado com atenção, mesmo quando os testes estatísticos formais estiverem completamente automatizados e não indicarem a rejeição do modelo.

## CAPITULO III

### OS DADOS UTILIZADOS

#### III.1 - A BACIA DO RIO URUGUAI E AS SUB-BACIAS ESCOLHIDAS

A Bacia do Rio Uruguai foi escolhida em função das atividades profissionais do autor e da sua importância no contexto sócio-econômico da Região Sul do Brasil. Na Bacia do Rio Uruguai situa-se o último grande bloco de energia hidráulica, ainda não aproveitado, das regiões Sul e Sudeste, as mais desenvolvidas do país.

O Rio Uruguai, situado entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, tem como formadores principais os rios Pelotas e Canoas. Pela margem direita os principais afluentes, de montante para jusante, são os rios do Peixe, Irani e Chapecó. Pela margem esquerda, também de montante para jusante, os principais afluentes são os rios Apuaê, Passo Fundo e da Várzea. Imediatamente a jusante da confluência com o rio Peperi-Guaçú (afluente pela margem direita), o Rio Uruguai muda bruscamente de rumo em direção ao sul e inicia o seu curso internacional, separando o Brasil da Argentina.



Foram escolhidas, para desenvolver e testar o modelo de geração de chuvas diárias, as sub-bacias dos rios Canoas, Pelotas, Passo Fundo e do próprio Rio Uruguai. Essas sub-bacias coincidem com as áreas de drenagem de importantes aproveitamentos hidrelétricos, já em operação ou projetados na Bacia do Rio Uruguai, pois pretende-se, numa etapa futura, utilizar o modelo proposto para a realização de estudos hidrológicos nessas sub-bacias, com vistas ao dimensionamento e a operação das estruturas hidráulicas dos projetos em questão.

Na Figura III.1 apresenta-se um mapa do trecho nacional da Bacia do Uruguai, onde as quatro sub-bacias estão destacadas. Neste mapa aparece também os postos pluviométricos utilizados no cálculo das chuvas médias diárias.

### III.2 - AS CHUVAS DIÁRIAS

No item I.2 justificou-se a escolha da escala diária. As chuvas médias diárias, sobre as bacias escolhidas, foram calculadas pelo método dos polígonos de Thiessen. Várias configurações de polígonos de Thiessen foram estabelecidas, para levar em conta o acréscimo de novos postos à rede pluviométrica. Este procedimento, embora utilize a totalidade da informação pluviométrica disponível, pode acrescentar não homogeneidades ou tendências artificiais às precipi-

tações, principalmente em relação às suas ocorrências (dias chuvosos), conforme será discutido ainda neste item. Para uma dada configuração, no caso de um posto apresentar falha num dia qualquer, ou mesmo num período maior, a chuva média diária foi calculada a partir de uma média ponderada entre os demais postos, cujos pesos foram então recalculados, proporcionalmente às áreas de influência dos postos considerados. No cálculo da chuva média adotou-se como precisão o décimo de milímetro e, portanto, a menor chuva considerada foi de 0,1 mm. Este valor equivale ao menor valor observado nos postos pluviométricos, conforme consta dos boletins pluviométricos do DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, órgão responsável pela normatização das observações hidrológicas.

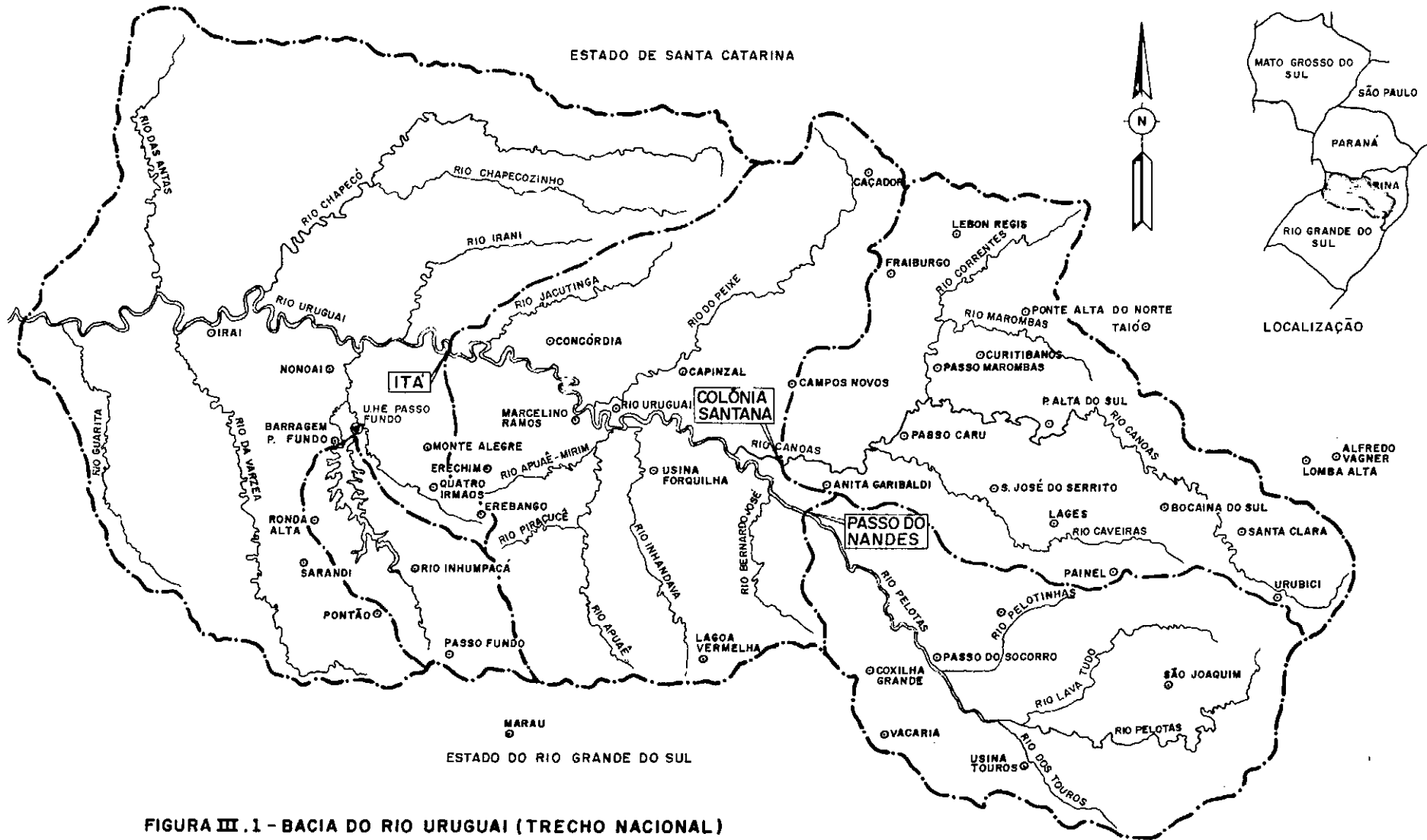
Como a chuva média sobre a bacia é calculada a partir das observações em cada posto, o número de dias chuvosos na bacia é superior ao de cada posto considerado isoladamente, pois, desde que haja chuva em um único posto (ressalvada a precisão acima mencionada), o estado do tempo na bacia será chuvoso. A probabilidade de ocorrência de alguma chuva aumenta com o tamanho da bacia. Outrossim, inconsistências nas observações podem contribuir para aumentar (ou diminuir, embora mais raramente) o número observado de dias chuvosos na bacia. É comum as observações de um posto estarem defasadas em relação às dos demais, pois alguns observadores somente fazem a leitura após o término da chuva e não na hora determinada, confundindo, em consequência, a

data correta. Nestes casos pode haver a tendência de anotar o dia em que a leitura foi efetuada, e não o dia em que realmente houve a ocorrência da chuva. Análises de consistência podem corrigir um grande número de erros de observação, ou mesmo de transcrição, mas é praticamente impossível eliminá-los totalmente. Os fatos observados podem ser constatados na prática. Verifica-se que na bacia drenada por Itá, com aproximadamente 44.500 Km<sup>2</sup>, tanto em termos mensal quanto anual, os números médios de dias chuvosos são superiores aos números das outras bacias, cujas áreas de drenagem variam no intervalo de 2.000 Km<sup>2</sup> a 15.000 Km<sup>2</sup>.

As principais características das chuvas em cada bacia mencionada serão dadas nos próximos itens. Entretanto, nota-se que algumas particularidades são comuns às chuvas médias diárias.

Da análise dos histogramas das precipitações médias (Figuras III.2, III.5, III.8 e III.11), verifica-se que não há períodos secos ou chuvosos claramente definidos, embora o trimestre agosto-setembro-outubro e o bimestre janeiro-fevereiro apresentem-se mais úmidos, enquanto o trimestre abril-maio-junho apresenta-se mais seco. Isto, porém, em termos médios, pois a grande variabilidade anual não permite qualquer tipo de previsão. Assim, qualquer um dos meses pode ser extremamente chuvoso num determinado ano e, num outro ano qualquer, ser extremamente seco.

Com o objetivo de verificar tendências, apresenta-se também, para as quatro sub-bacias mencionadas, a plotagem cronológica das precipitações anuais e dos números anuais de dias chuvosos (Figuras III.3, III.4, III.6, III.7, III.9, III.10, III.12 e III.13). De modo a facilitar a análise, chama-se a atenção de que a década iniciada em 1940 foi extremamente seca na Região Sul, principalmente na sua primeira metade. Em geral, nota-se uma tendência crescente na ocorrência do processo (números anuais de dias chuvosos), a qual é atribuída ao fato de se ter utilizado postos pluviométricos com diferentes períodos de observação. Constatou-se não haver nenhuma tendência quando se considerou apenas as observações dos postos mais antigos (vide Figura III.4). Assim, a tendenciosidade criada pela adição de novos postos à rede pluviométrica é um problema com o qual o hidrólogo terá de conviver, seja quando modelar a ocorrência da precipitação com uma abordagem multivariada, ou quando trabalhar com a chuva média diária sobre a bacia, como no presente estudo. Caso as informações pluviométricas fossem homogeneizadas no tempo, ter-se-ia que trabalhar com períodos muito curtos, seja eliminando as observações mais antigas, seja desprezando os postos instalados mais recentemente, o que seria, neste último caso, uma incongruência. Aplicar uma correção que eliminasse a tendência, a nível diário, é praticamente impossível. Outrossim, é também praticamente impossível o preenchimento, a nível diário, das inúmeras falhas observadas individualmente em cada posto.



### III.2.1 - BACIA DO RIO CANOAS ATÉ COLÔNIA SANTANA.

Até a seção de Colônia Santana, a Bacia do Rio Canoas tem uma área de drenagem de aproximadamente 13.460 Km<sup>2</sup> (Figura III.1). Esta seção praticamente coincide com o eixo da barragem da Usina Hidrelétrica Campos Novos, em estudo pela ELETROSUL.

Na Tabela III.1 estão listados os postos pluviométricos utilizados no cálculo da chuva média diária na bacia, a qual cobriu o período 1925/1986.

Na Tabela III.2 apresenta-se algumas características estatísticas das chuvas médias diárias.

Na Figura III.2 apresenta-se o histograma das precipitações máximas, médias e mínimas mensais na bacia do Rio Canoas.

Nas Figuras III.3 e III.4 são apresentadas, respectivamente, as precipitações anuais na bacia e os números anuais de dias chuvosos, nesta última figura considerando toda a informação disponível e somente as informações dos três postos mais antigos. Nota-se, no período mais recente, quando se considera todos os postos, uma tendência crescente no número anual de dias chuvosos, devido à entrada em operação de cinco postos pluviométricos no final dos anos 50 e de mais quatro postos no ano de 1976. Este aspecto foi

discutido no item anterior e, embora possa prejudicar a representação matemática do processo de ocorrência da precipitação, trabalhou-se com os dados do período inicialmente considerado (1925/1986). Trabalhar apenas com os anos mais recentes eliminaria o período 1926/1939, cuja pluviosidade está acima da média, e também a década iniciada em 1940, na qual está inserido o período mais seco já observado na bacia e na Região Sul.

POSTO PLUVIOMÉTRICO		PERÍODO OBSERVADO
NOME	CÓDIGO DNAEE	INÍCIO/FIM
Urubici	02849015	1976/Em obs.
Painel	02750007	1958/ "
Bocaina do Sul	02749035	1976/ "
Lages	02750005	1925/ "
Ponte Alta do Sul	02750011	1957/ "
São José do Cerrito	02750020	1976/ "
Anita Garibaldi	02751001	1964/ "
Passo Caru	02750008	1959/ "
Curitibanos	02750002	1912/ "
Passo Marombas	02750009	1958/ "
Ponte Alta do Norte	02750010	1959/ "
Lebon Régis	02650019	1976/ "
Fraiburgo	02750004	1969/ "
Campos Novos	02751002	1923/ "

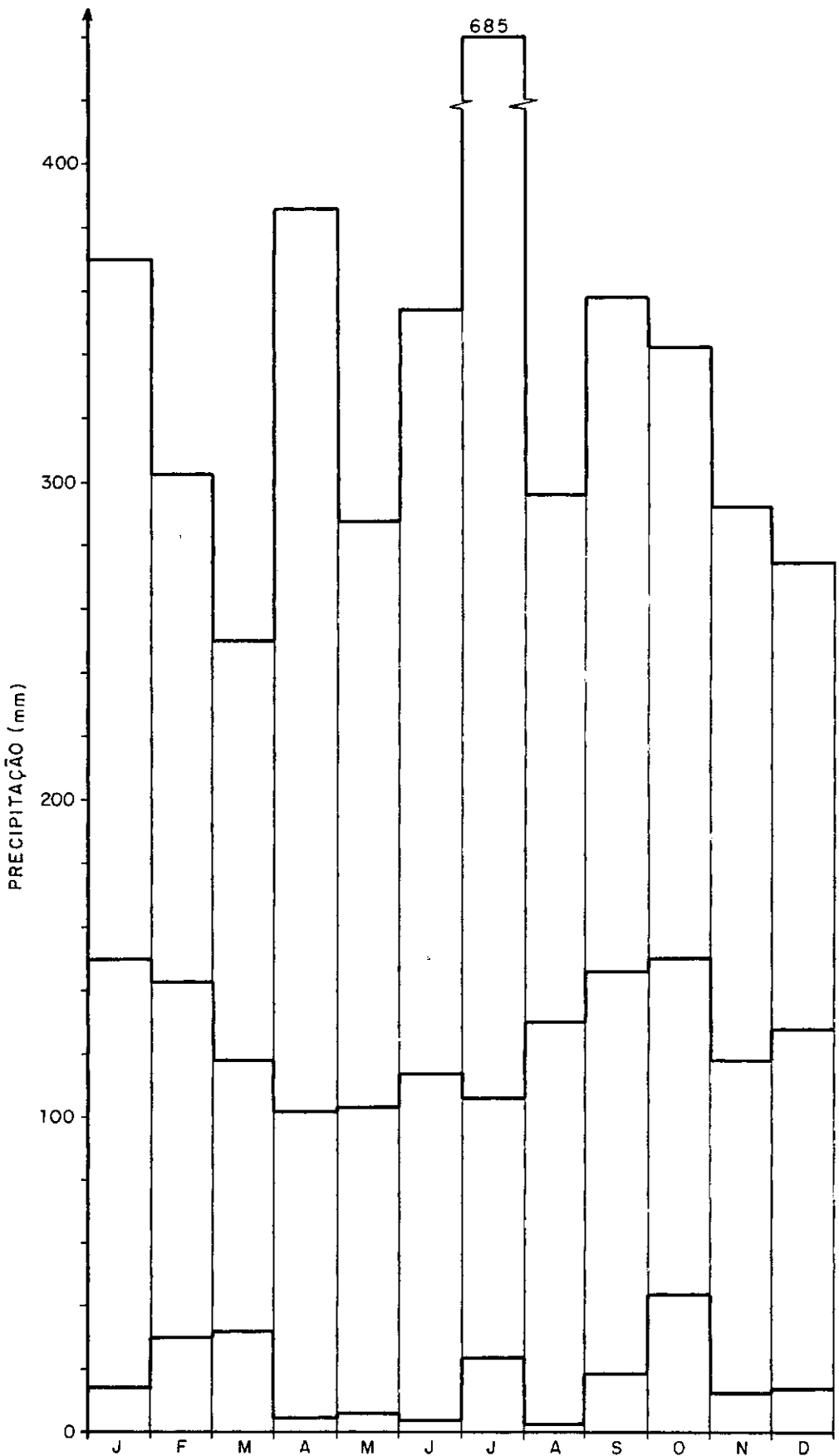
Tabela III.1 - Postos Pluviométricos - Bacia do Rio Canoas  
Período Considerado 1925/1986

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
PRECIP. MÉDIA MENSAL	150.7	143.0	118.8	102.4	103.4	114.5	107.3	131.8	146.1	151.3	118.1	127.9	1515.5
PRECIP. MENSAL MINIMA	14.7	30.7	32.8	5.6	5.9	4.1	24.2	2.6	19.4	44.0	13.4	14.0	987.8
PRECIP. MENSAL MÁXIMA	370.4	303.2	250.0	386.7	287.0	354.4	685.0	296.0	358.0	342.5	292.3	275.1	2557.5
PRECIP. MÉDIA DIÁRIA	7.8	7.9	7.2	7.5	8.3	9.3	8.9	10.5	10.1	10.0	8.3	7.9	8.6
DESV. PADRÃO P. DIÁR.	8.9	8.7	9.0	10.6	12.8	11.5	12.0	13.1	11.9	12.4	10.7	9.9	10.9
COEF. VAR. P. DIÁRIA	0.876	0.912	0.803	0.710	0.649	0.802	0.741	0.802	0.848	0.808	0.774	0.804	0.783
COEF. ASSIM. P. DIÁRIA	2.158	1.764	2.273	2.936	2.610	1.996	2.444	2.126	1.868	2.240	2.443	2.726	2.384
Nº MÉDIO DIAS S/CHUVA	11.6	10.2	14.5	16.4	18.6	17.6	18.9	18.5	15.5	15.8	15.8	14.9	188.5
Nº MÉDIO DIAS C/CHUVA	19.4	18.0	16.5	13.6	12.4	12.4	12.1	12.5	14.5	15.2	14.2	16.1	176.8

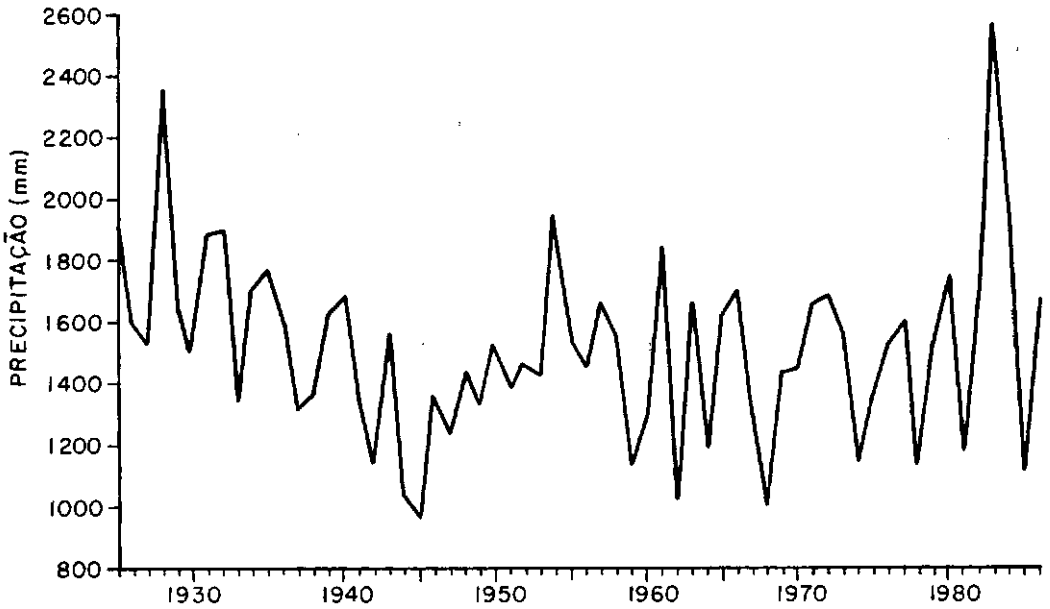
Observação: As precipitações estão dadas em milímetros.

Tabela III.2 - Resumo Mensal e Anual das Chuvas Observadas na Bacia do Rio Canoas no Período 1925/1986.

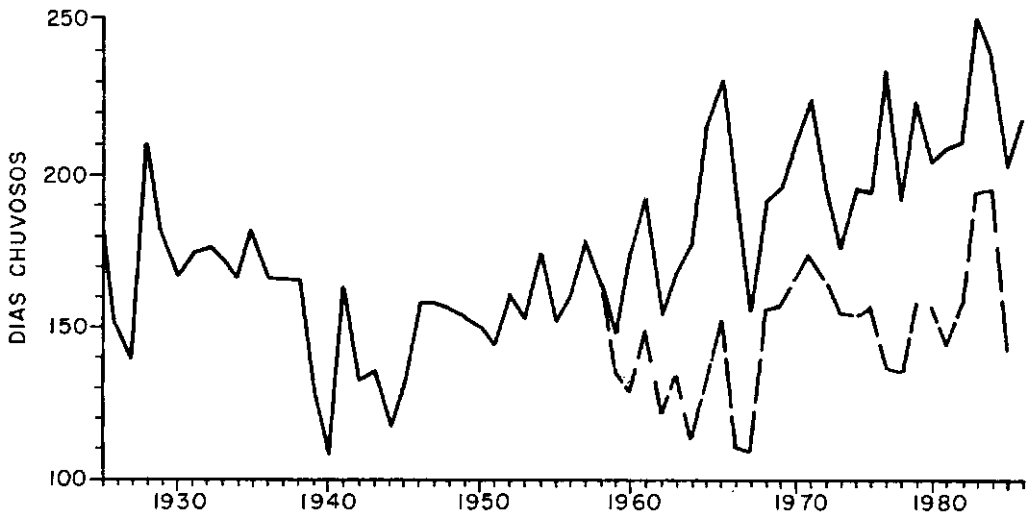




**FIGURA III.2 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS, MÉDIAS E MÍNIMAS MENSAIS NA BACIA DO RIO CANOAS ATÉ COLÔNIA SANTANA PERÍODO : 1925/1986**



**FIGURA III.3 - PRECIPITAÇÕES ANUAIS NA BACIA DO RIO CANOAS ATÉ COLÔNIA SANTANA**



**FIGURA III.4 - NÚMEROS ANUAIS DE DIAS CHUVOSOS NA BACIA DO RIO CANOAS ATÉ COLÔNIA SANTANA**  
 — — CURVA OBTIDA COM OS DADOS DOS TRÊS POSTOS MAIS ANTIGOS

### III.2.2 - BACIA DO RIO PELOTAS ATÉ PASSO DO NANDES

Até a seção de Passo do Nandes, o Rio Pelotas drena uma área de aproximadamente 13.350 Km<sup>2</sup> (Figura III.1). A seção de Passo do Nandes está próxima ao eixo da barragem da Usina Hidrelétrica Barra Grande, também em estudo pela ELETROSUL.

Na Tabela III.3 estão listados os postos pluviométricos utilizados no cálculo da chuva média diária na bacia, a qual cobriu o período 1940/1983.

Na Tabela III.4 apresenta-se algumas características estatísticas das chuvas médias diárias (período 1952/1983).

Na Figura III.5 apresenta-se o histograma das precipitações máximas, médias e mínimas mensais na Bacia do Rio Pelotas.

Nas Figuras III.6 e III.7 são apresentadas, respectivamente, as precipitações anuais na bacia e os números anuais de dias chuvosos. Esta sub-bacia, no que se refere ao número anual de dias chuvosos, além de apresentar uma tendência crescente excessiva no período 1940/1950, indicou também um salto muito grande entre a média dos seus valores anuais e a média dos valores anuais do período sub-sequente, cuja análise gráfica, por sua vez, não indicou nenhuma discrepância. Deste modo resolveu-se desprezar os anos ini-

ciais, trabalhando-se apenas com o período 1952/1983. Res-salva-se que os dados da década iniciada em 1940, muito se-ca, foram abandonados.

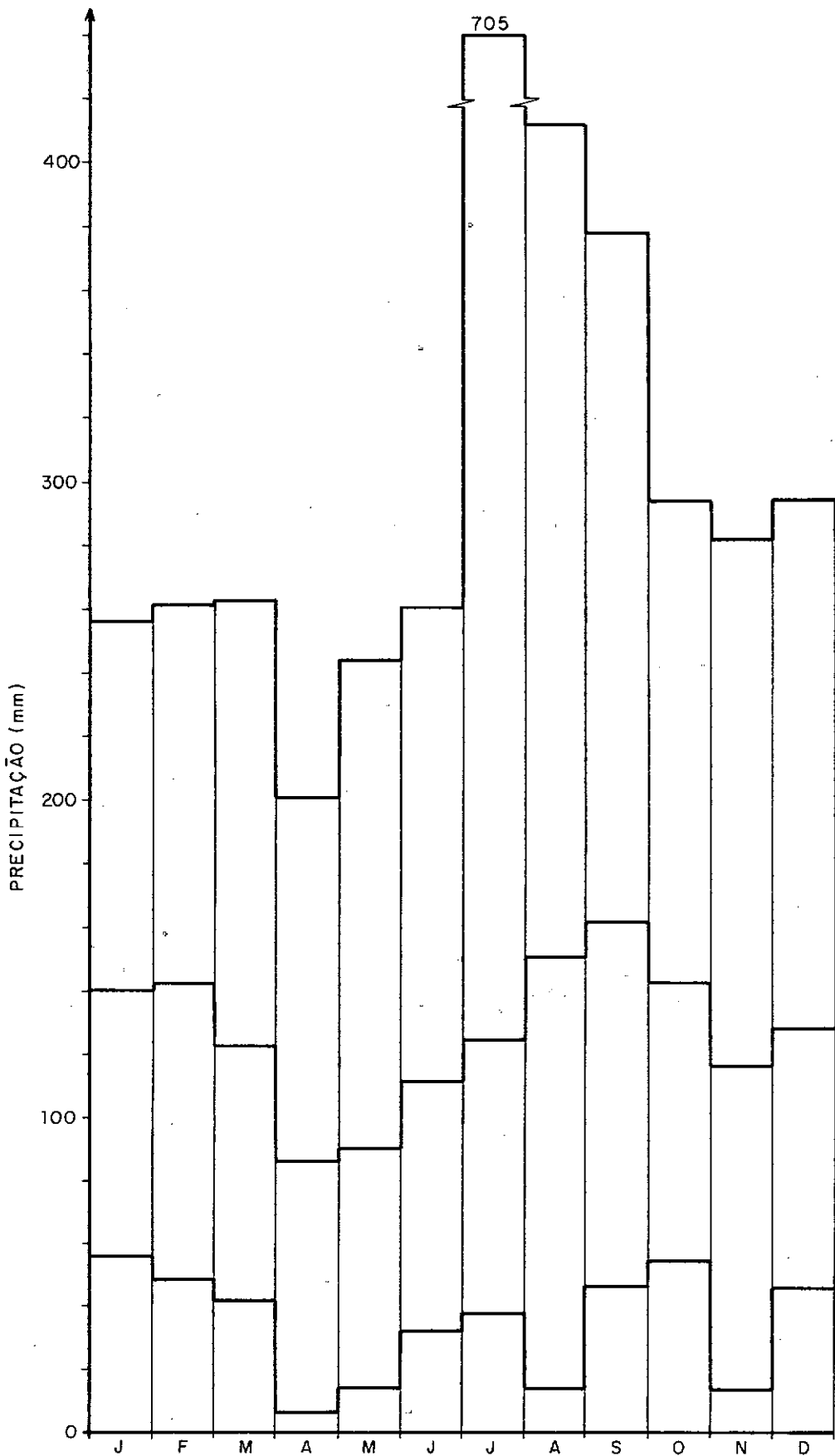
POSTO PLUVIOMÉTRICO		PERÍODO OBSERVADO
NOME	CÓDIGO DNAEE	INÍCIO/FIM
Lages	02750002	1925/Em obs.
Anita Garibaldi	02751001	1964/ "
São Joaquim	02849003	1942/ "
Coxilha Grande	02850003	1952/ "
Passo do Socorro	02850008	1943/ "
Usina Touros	02850010	1950/ "
Vacaria	02850011	1914/1967
Lagoa Vermelha	02851014	1922/1976
Santa Clara	02749032	1949/1980
Coxilha Rica	02850004	1958/Em obs.

Tabela III.3 - Postos Pluviométricos - Bacia do Rio Pelotas  
Período Considerado: 1952/1983

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
PRECIP. MÉDIA MENSAL	140.6	142.7	123.2	86.8	88.5	112.1	124.6	150.8	162.4	143.2	116.7	128.8	1520.3
PRECIP. MENSAL MINIMA	57.7	49.9	42.9	7.7	15.8	31.7	37.7	14.8	47.2	54.9	13.3	46.3	887.7
PRECIP. MENSAL MÁXIMA	254.3	262.4	263.7	201.2	245.0	261.7	705.2	411.5	378.4	294.2	281.4	294.9	2636.7
PRECIP. MÉDIA DIÁRIA	6.2	6.8	6.3	5.7	6.2	7.2	7.9	9.8	9.2	7.5	6.7	6.7	7.2
DESV. PADRÃO P. DIÁR.	7.3	8.1	8.1	8.0	9.2	10.1	12.0	14.2	11.2	10.0	9.9	8.5	9.8
COEF. VAR. P. DIÁRIA	0.845	0.845	0.774	0.715	0.675	0.718	0.659	0.694	0.822	0.754	0.674	0.782	0.728
COEF. ASSIM. P. DIÁRIA	2.172	1.966	2.360	2.473	2.556	2.684	3.228	3.349	1.747	2.360	2.790	2.115	2.852
Nº MÉDIO DIAS S/CHUVA	8.3	7.4	11.4	14.9	16.8	14.5	15.3	15.7	12.3	12.0	12.6	11.8	152.9
Nº MÉDIO DIAS C/CHUVA	22.7	20.8	19.6	15.1	14.2	15.5	15.7	15.3	17.7	19.0	17.4	19.3	212.3

Observação: As precipitações estão dadas em milímetros

Tabela III.4 - Resumo Mensal e Anual das Chuvas Observadas na Bacia do Rio Pelotas no Período 1952/1983



**FIGURA III.5 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS, MÉDIAS E MÍNIMAS MENSAIS NA BACIA DO RIO PELOTAS ATÉ PASSO DO NANDES PERÍODO : 1952/1983**

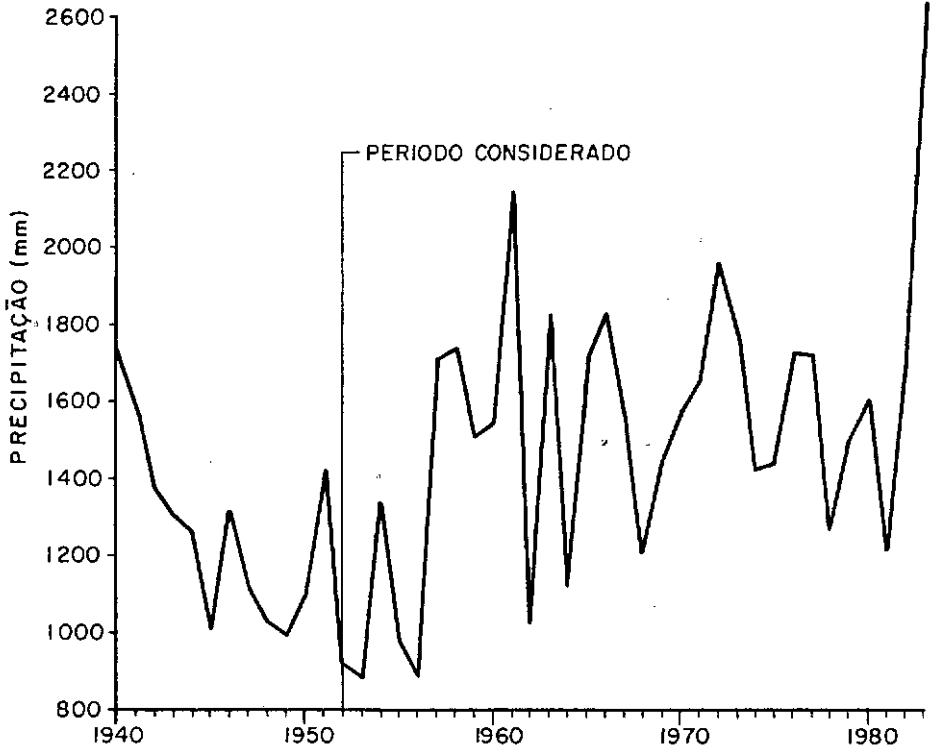


FIGURA III.6 - PRECIPITAÇÕES ANUAIS NA BACIA DO RIO PELOTAS ATÉ PASSO DO NANDES

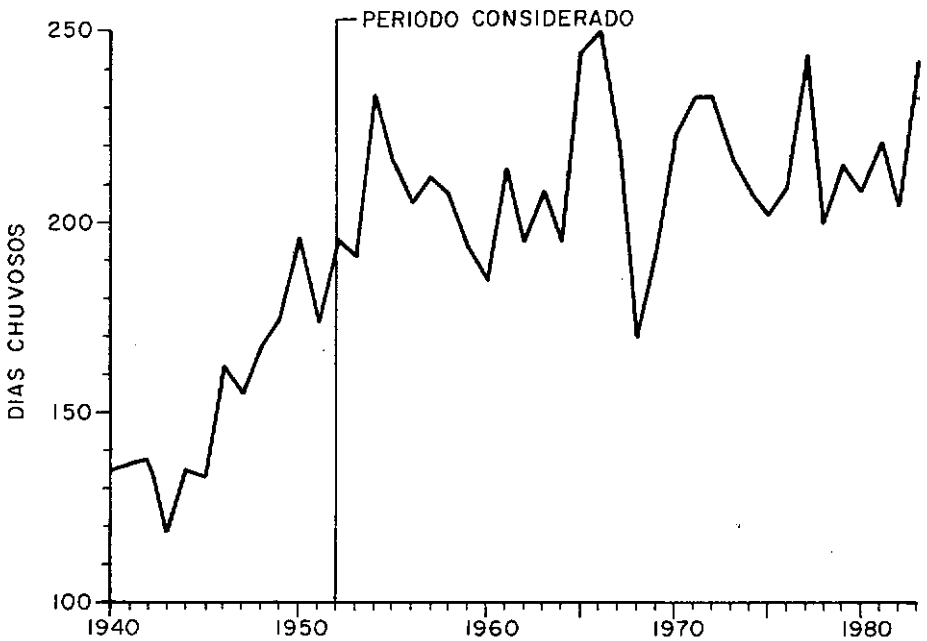


FIGURA III.7 - NÚMEROS ANUAIS DE DIAS CHUVOSOS NA BACIA DO RIO PELOTAS ATÉ PASSO DO NANDES

### III.2.3 - BACIA DO RIO PASSO FUNDO ATÉ BARRAGEM PASSO FUNDO

Até a seção da barragem da Usina Hidrelétrica Passo Fundo, em operação pela ELETROSUL, o Rio Passo Fundo drena uma área de aproximadamente 2.170 Km<sup>2</sup> (Figura III.1).

Na Tabela III.5 estão listados os postos pluviométricos utilizados no cálculo da chuva média diária na bacia, a qual cobriu o período 1950/1984.

Na Tabela III.6 apresenta-se algumas características estatísticas das chuvas médias diárias.

Na Figura III.8 apresenta-se o histograma das precipitações máximas, médias e mínimas mensais na Bacia do Rio Passo Fundo.

Nas Figuras III.9 e III.10 são apresentadas, respectivamente, as precipitações anuais na bacia e os números anuais de dias chuvosos. Embora a ocorrência do processo aparente se dar com menor intensidade na primeira década considerada, nada parecido se observa com relação aos valores precipitados. Trabalhou-se, portanto, com todo o período. Como curiosidade, cita-se que o reservatório da Usina de Passo Fundo entrou em operação em 1972, não se notando, ao contrário da crença existente na região, um aumento da precipitação ou do número de dias chuvosos.



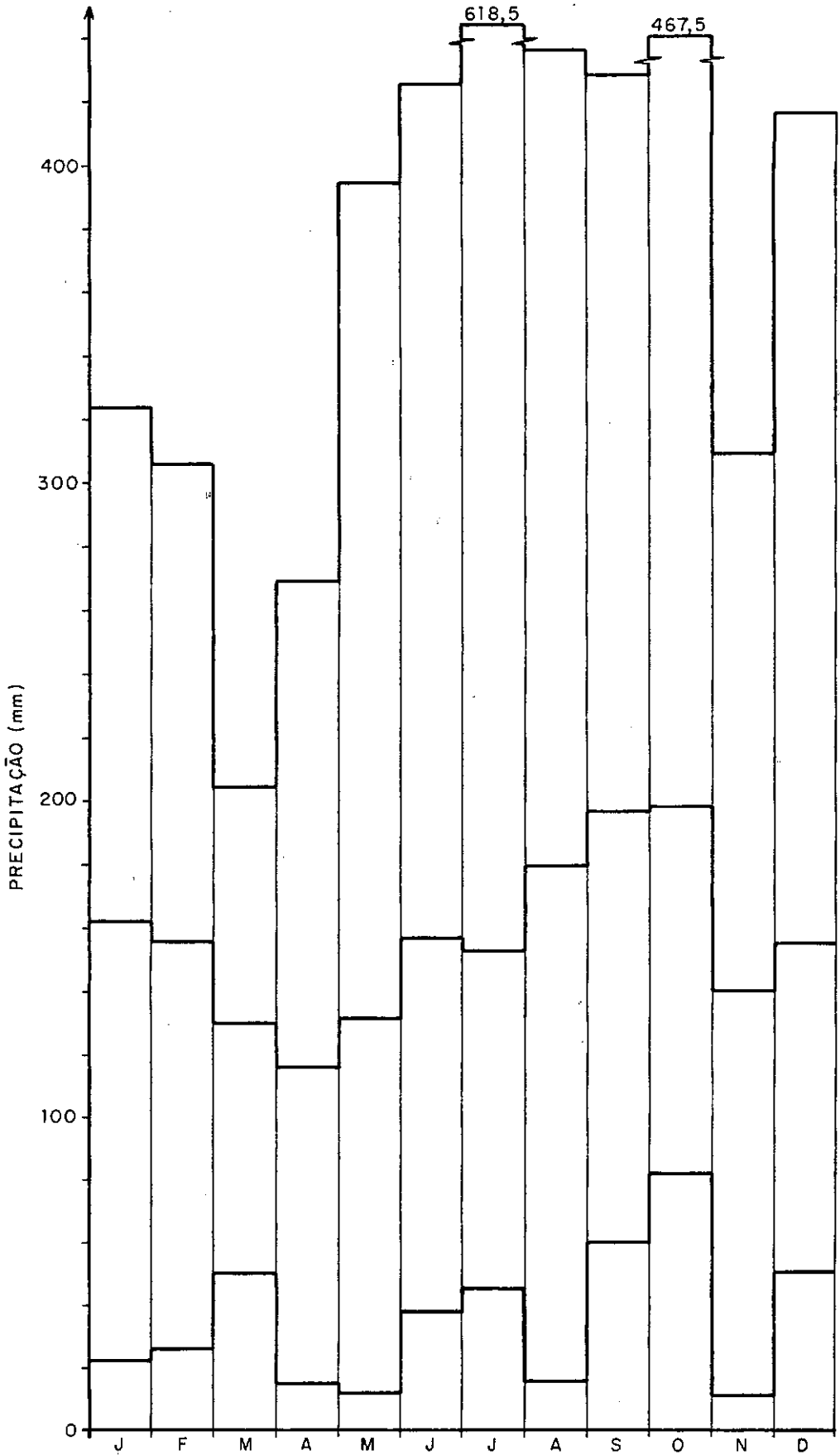
POSTO PLUVIOMÉTRICO		PERIODO OBSERVADO
NOME	CÓDIGO DNAEE	INICIO/FIM
Rio Inhupaca	02752001	1961/Em obs.
Erebango	02752006	1943/ "
Monte Alegre	02752009	1948/ "
Nonoai	02752010	1960/ "
Quatro Irmãos	02752011	1959/ "
Ronda Alta	02752012	1959/ "
Sarandi	02752013	1949/ "
Passo Fundo	02852020	1912/ "
Pontão	02852022	1959/ "

Tabela III.5 - Postos Pluviométricos - Bacia do Rio Passo Fundo - Período Considerado: 1950/1984

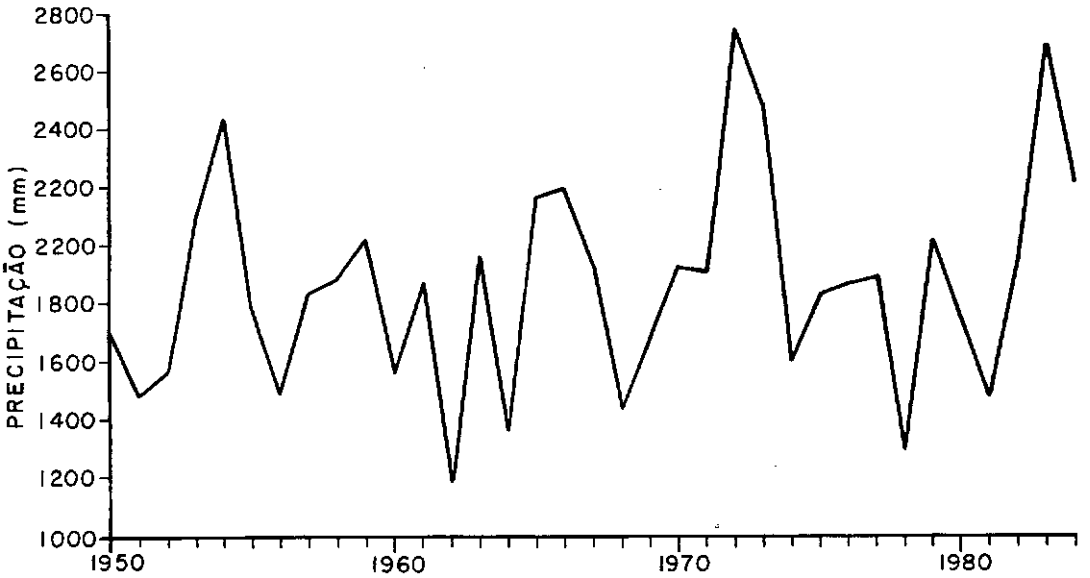
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
PRECIP. MÉDIA MENSAL	162.0	156.3	130.0	116.8	131.7	157.2	153.1	169.9	196.6	198.6	140.1	155.5	1867.7
PRECIP. MENSAL MINIMA	22.9	27.8	50.6	16.1	11.8	37.0	44.7	16.1	60.8	92.3	10.9	50.6	1198.5
PRECIP. MENSAL MÁXIMA	325.6	307.7	205.4	269.4	394.4	425.2	618.5	436.5	427.1	467.5	305.2	416.8	2742.4
PRECIP. MÉDIA DIÁRIA	9.1	9.4	8.5	10.1	11.3	11.5	11.2	11.8	12.8	12.7	10.6	10.4	10.7
DESV. PADRÃO P. DIÁR.	10.4	10.8	10.5	12.8	15.9	14.5	13.7	14.1	14.5	15.7	13.1	13.7	13.4
COEF. VAR. P. DIÁRIA	0.872	0.873	0.806	0.788	0.714	0.793	0.817	0.841	0.883	0.813	0.809	0.757	0.802
COEF. ASSIM. P. DIÁRIA	2.084	2.399	2.537	2.211	2.643	2.326	2.158	1.899	2.152	2.329	2.266	2.849	2.410
Nº MÉDIO DIAS S/CHUVA	13.2	11.7	15.6	18.5	19.4	16.3	17.3	16.6	14.7	15.4	16.7	16.0	191.5
Nº MÉDIO DIAS C/CHUVA	17.8	16.5	15.4	11.5	11.6	13.7	13.7	14.4	15.3	15.6	13.3	15.0	173.7

Observação: As precipitações estão dadas em milímetros

Tabela III.6 - Resumo Mensal e Anual das chuvas Observadas na Bacia do Rio Passo Fundo no Período 1950/1984.



**FIGURA III.8 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS, MÉDIAS E MÍNIMAS MENSAIS NA BACIA DO RIO PASSO FUNDO ATÉ BARRAGEM P.FUNDO PERÍODO : 1950/1984**



**FIGURA III.9 - PRECIPITAÇÕES ANUAIS NA BACIA DO RIO PASSO FUNDO ATÉ A BARRAGEM PASSO FUNDO**



**FIGURA III.10 - NÚMEROS ANUAIS DE DIAS CHUVOSOS NA BACIA DO RIO PASSO FUNDO ATÉ A BARRAGEM PASSO FUNDO**

### III.2.4 - BACIA DO RIO URUGUAI ATÉ ITÁ

Até a seção de Itá, o Rio Uruguai tem uma área de drenagem de aproximadamente 44.400 Km<sup>2</sup> (Figura III.1). A seção de Itá praticamente coincide com o eixo da barragem da Usina Hidrelétrica de Itá, em fase inicial de construção pela ELETROSUL.

Na Tabela III.7 estão listados os postos pluviométricos utilizados no cálculo da chuva média diária na bacia, a qual cobriu o período 1940/1984.

Na Tabela III.8 apresenta-se algumas características estatísticas das chuvas médias diárias.

Na Figura III.11 apresenta-se o histograma das precipitações máximas, médias e mínimas mensais na Bacia do Rio Uruguai.

Nas Figuras III.12 e III.13 são apresentadas, respectivamente, as precipitações anuais na bacia e os números anuais de dias chuvosos.

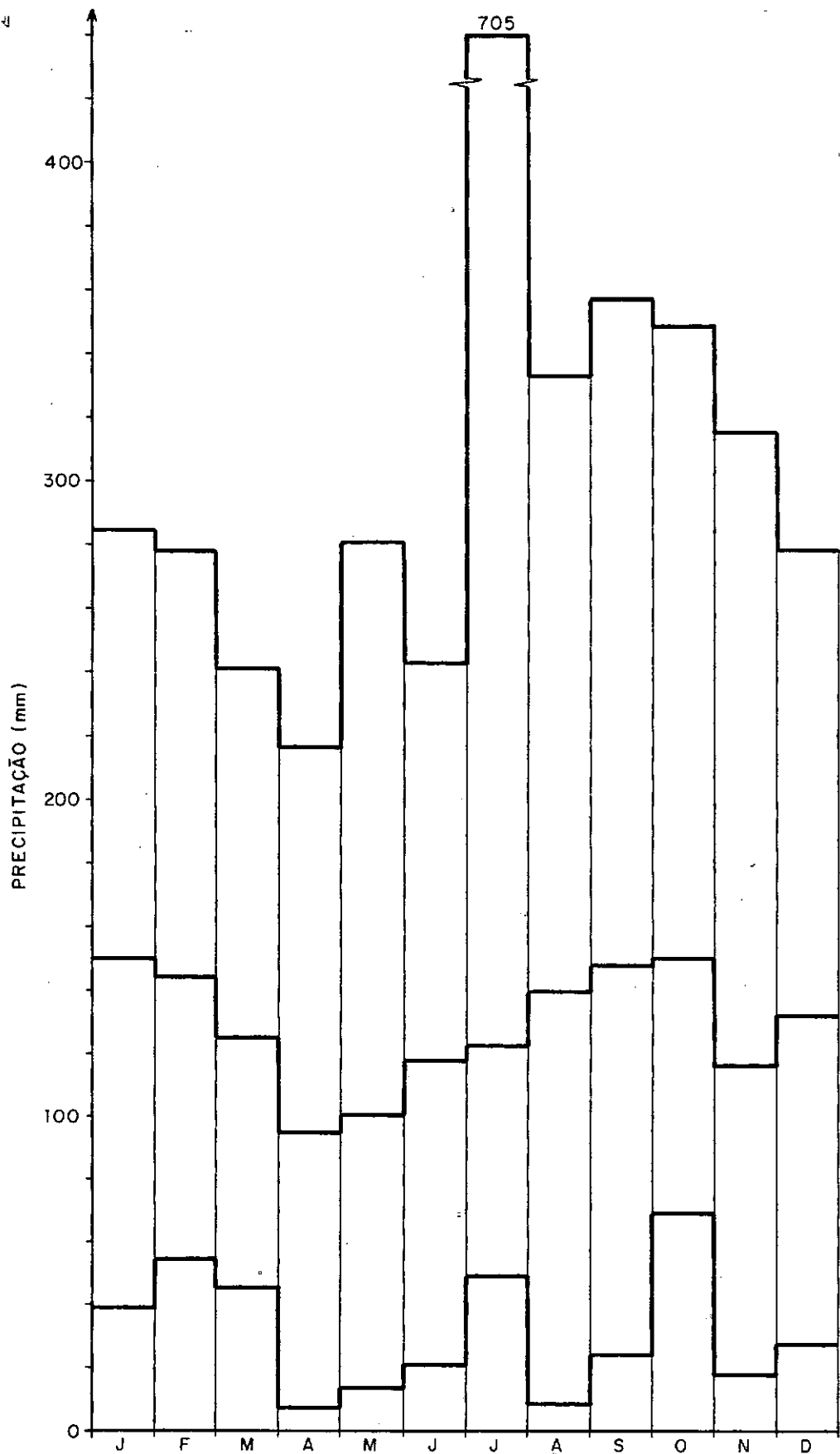
POSTO PLUVIOMÉTRICO		PERÍODO OBSERVADO
NOME	CÓDIGO DNAEE	INÍCIO/FIM
Caçador	02651002	1943/Em obs.
Taió	02749003	1941/ "
Lomba Alta	02749007	1941/ "
Alfredo Wagner	02749014	1941/ "
Curitibanos	02750002	1912/ "
Lages	02750005	1925/ "
Passo Marombas	02750009	1958/ "
Anita Garibaldi	02751001	1964/ "
Campos Novos	02751002	1923/ "
Capinzal	02751003	1943/ "
Marcelino Ramos	02751005	1926/ "
Usina Forquilha	02751008	1949/ "
Rio Uruguai	02751010	1938/1977
Monte Alegre	02752009	1948/Em obs.
São Joaquim	02849003	1942/ "
Coxilha Grande	02850003	1952/ "
Passo do Socorro	02850008	1943/ "
Usina Touros	02850010	1950/ "
Vacaria	02850011	1914/1967
Lagoa Vermelha	02851014	1922/1976
Marau	02852016	1944/Em obs.
Passo Fundo	02852020	1912/ "
Concórdia	02752005	1955/ "
Iraí	02753003	1983/ "

Tabela III.7 - Postos Pluviométricos - Bacia do Rio Uruguai  
Período Considerado: 1940/1984

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
PRECIP. MÉDIA MENSAL	150.9	144.6	125.3	94.9	101.5	118.5	122.1	139.1	148.5	150.2	114.1	131.7	1543.3
PRECIP. MENSAL MINIMA	38.8	55.8	46.6	7.3	13.8	21.0	49.1	8.7	24.7	69.4	17.5	28.0	1038.2
PRECIP. MENSAL MÁXIMA	295.7	277.8	241.3	216.2	281.6	243.5	705.0	333.7	357.1	349.8	314.8	278.1	2688.4
PRECIP. MÉDIA DIÁRIA	6.2	6.4	5.6	5.6	6.2	7.0	7.1	8.1	7.9	7.3	6.1	6.3	6.6
DESV. PADRÃO P. DIÁR.	6.8	6.9	7.1	8.3	9.8	8.9	10.4	11.8	9.8	9.9	8.3	7.8	8.8
COEF. VAR. P. DIÁRIA	0.910	0.925	0.794	0.675	0.637	0.785	0.676	0.690	0.805	0.735	0.735	0.806	0.747
COEF. ASSIM. P. DIÁRIA	1.948	1.944	2.353	2.855	2.684	1.928	2.916	2.936	2.018	2.430	2.530	2.406	2.637
Nº MÉDIO DIAS S/CHUVA	6.7	5.6	8.8	13.1	14.8	12.1	13.7	13.8	11.1	10.3	10.9	10.1	132.0
Nº MÉDIO DIAS C/CHUVA	24.3	22.7	22.2	16.9	16.2	16.9	17.3	17.2	18.9	20.7	19.1	20.9	233.2

Observação: As precipitações estão dadas em milímetros.

Tabela III.8 - Resumo Mensal e Anual das Chuvas Observadas na Bacia do Rio Uruguai no Período 1940/1984.



**FIGURA III.11 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS, MÉDIAS E MÍNIMAS MENSIS NA BACIA DO RIO URUGUAI ATÉ ITÁ PERÍODO : 1940/1984**



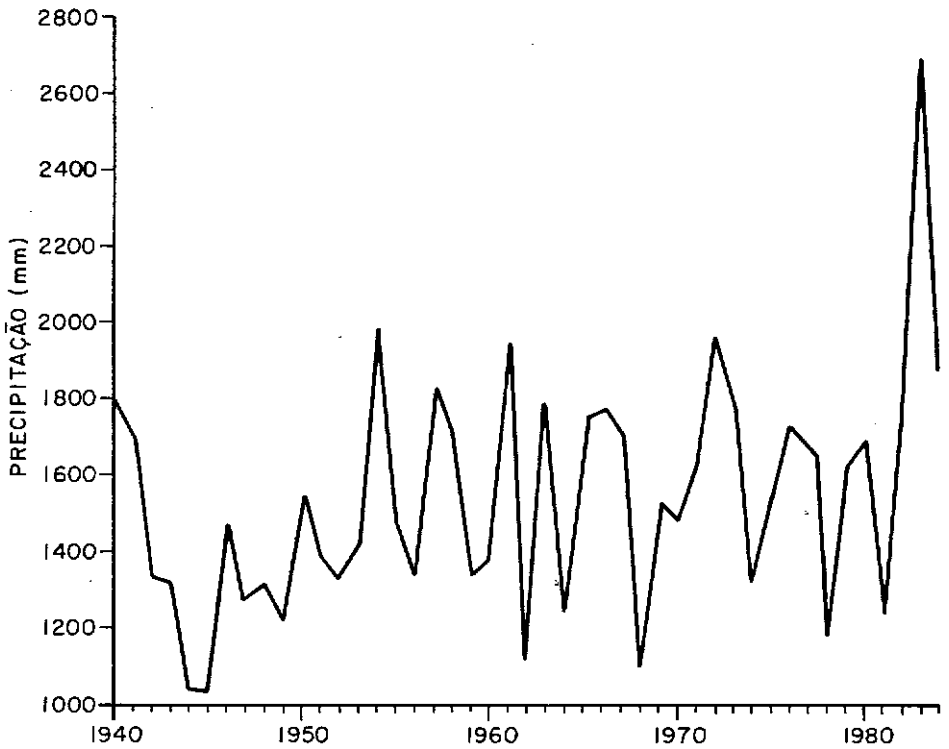


FIGURA III.12 - PRECIPITAÇÕES ANUAIS NA BACIA DO RIO URUGUAI ATE ITÁ

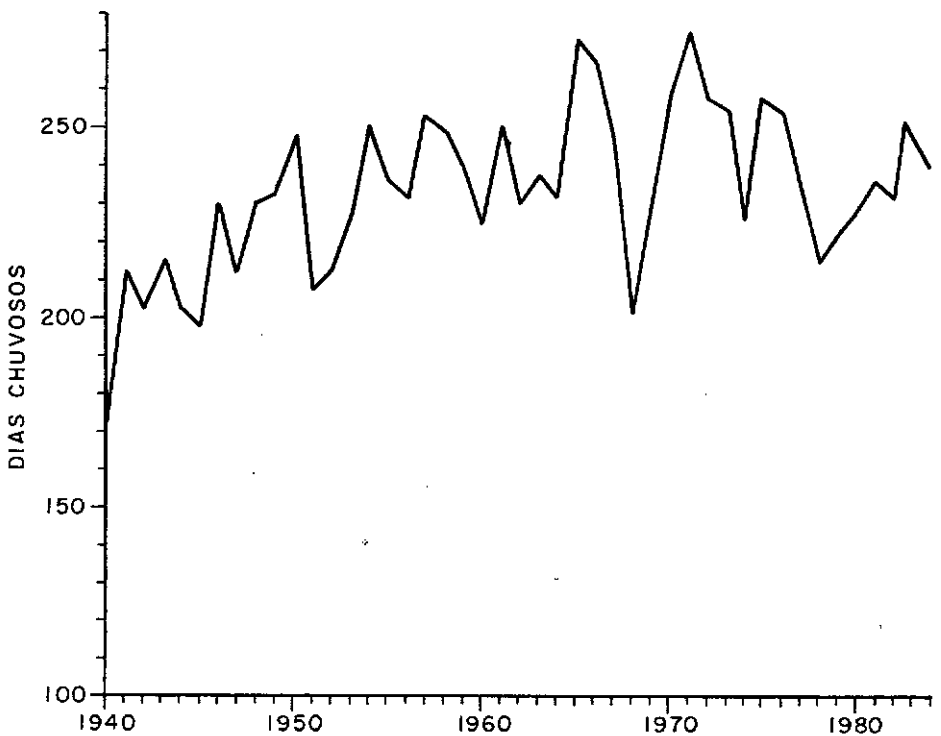


FIGURA III.13 - NÚMEROS ANUAIS DE DIAS CHUVOSOS NA BACIA DO RIO URUGUAI ATÉ ITÁ

## CAPITULO IV

### O MODELO PROPOSTO PARA A GERAÇÃO ESTOCÁSTICA DE CHUVAS DIÁRIAS

#### IV.1 - A ESTRUTURA DO MODELO PROPOSTO

O modelo proposto, conforme adiantado nos capítulos precedentes, é do tipo univariado, tendo por objetivo a geração de chuvas diárias num ponto ou a chuva média diária numa bacia hidrográfica. É composto de duas partes. Na primeira parte determina-se o estado do tempo. Na segunda parte, sob diferentes opções, gera-se a altura de chuva precipitada nos dias chuvosos.

O modelo está estruturado para dividir o ano em estações ou períodos sazonais. Dentro de cada período sazonal o processo é considerado estacionário, tanto em relação às suas ocorrências quanto em relação aos montantes precipitados.

A abordagem utilizada para modelar o estado do tempo, isto é, a ocorrência do processo, é do tipo de seqüências alternadas de dias secos e chuvosos, cujos comprimentos são sorteados aleatória e independentemente.

Uma seqüência de dias chuvosos é definida como sendo uma sucessão de dias chuvosos consecutivos, precedidos e

seguidos por dias secos. De forma análoga se define uma seqüência de dias secos. De acordo com a abordagem adotada, a uma seqüência de dias chuvosos segue obrigatoriamente, por definição, uma seqüência de dias secos, e vice-versa.

Os comprimentos dos períodos secos e chuvosos ficam completamente caracterizados pelas suas respectivas distribuições de probabilidades. Distribuições teóricas discretas poderiam ser ajustadas aos comprimentos das seqüências de dias secos ou chuvosos, mas preferiu-se trabalhar com a curva cumulativa empírica das freqüências relativas destes comprimentos. Como as curvas empíricas não permitem extrapolações, salienta-se que se considerou desnecessário gerar seqüências com comprimentos superiores aos observados na amostra histórica, pois as séries observadas são relativamente longas e incluem situações bastante críticas de períodos secos e úmidos. As cheias ocorridas nas bacias consideradas, por exemplo, foram causadas principalmente por chuvas intensas entre 5 e 12 dias de duração, sendo portanto desnecessário, sob este aspecto, gerar períodos úmidos de comprimentos superiores aos observados. As curvas empíricas são facilmente determinadas a partir dos dados observados da chuva diária. Colocando em ordem crescente as durações ou comprimentos das seqüências (secas ou chuvosas) basta contar o número de ocorrências de cada duração ou comprimento (freqüências simples), acumular estes números, para se obter as freqüências absolutas acumuladas e dividi-las pelo total, obtendo-se, então, a freqüência relativa acumulada de cada duração. Na Figura IV.1 apresenta-se um

exemplo desse tipo de curva.

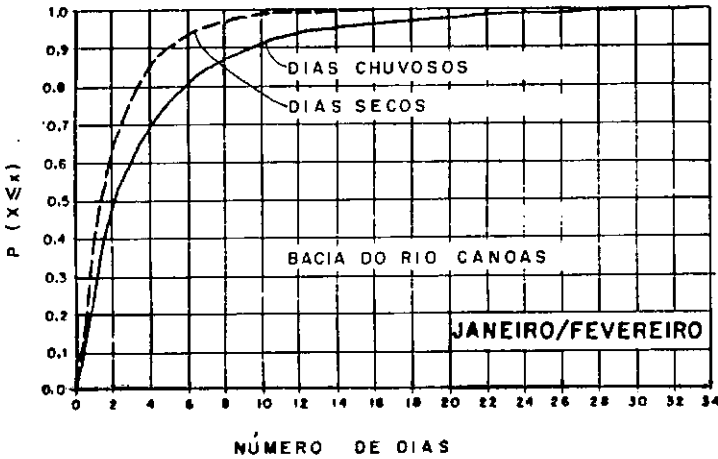


Figura IV.1 - Exemplos de Distribuições Empíricas dos Números Consecutivos de Dias Secos e de Dias Chuvosos.

Quando uma seqüência, seca ou chuvosa, não era observada na série histórica, a sua frequência relativa acumulada foi interpolada linearmente a partir das observações adjacentes, de modo que o seu comprimento pudesse ser sorteado, quando da utilização do modelo para a geração de dados. Quando, também, uma seqüência iniciava num período e terminava no seguinte, a sua contagem era atribuída ao período sazonal em que ela teve início.

O sorteio do comprimento de uma seqüência qualquer é feito a partir da geração de um número aleatório de distribuição uniforme, entre zero e um. É sorteado o comprimento

cuja frequência relativa acumulada é imediatamente superior ao número gerado.

No APÊNDICE "B" são apresentadas as curvas empíricas das distribuições acumuladas dos comprimentos das seqüências de dias secos e chuvosos.

Concomitantemente com a geração da ocorrência do processo, alturas de chuva são atribuídas aos dias chuvosos. Na geração das alturas precipitadas, duas opções são possíveis no modelo:

i) As alturas de chuva, em dias chuvosos consecutivos, são independentes.

ii) As alturas de chuva, em dias chuvosos consecutivos, são dependentes.

Na primeira opção, as alturas de chuva são geradas a partir da distribuição marginal de probabilidades da precipitação diária. Na segunda opção, em que as chuvas diárias de dias chuvosos consecutivos são consideradas dependentes, utiliza-se um modelo auto-regressivo de ordem 1-AR(1) para gerar as precipitações, a partir do segundo dia da seqüência chuvosa. No primeiro dia, naturalmente, a altura de chuva é gerada apenas com a distribuição marginal considerada.

Em ambos os casos, a distribuição marginal da precipitação diária pode ser empírica ou exponencial 2 parâmetros, ou ainda uma combinação destas duas distribuições, de modo a não limitar os valores extremos gerados aos observados na amostra histórica. Na Figura IV.2, apresenta-se curvas típicas das distribuições acumuladas de probabilidades da chuva diária, utilizadas neste trabalho

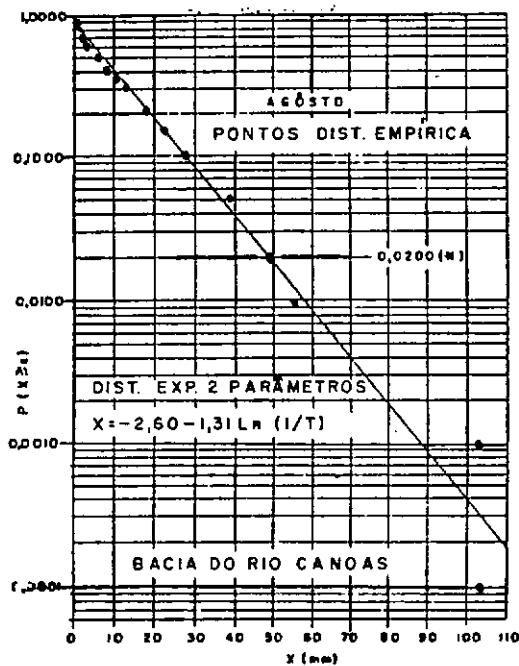


Figura IV.2 - Exemplos de Distribuições Acumuladas Empírica e Exponencial 2 parâmetros da Chuva Diária.

As curvas empíricas são determinadas de modo semelhante às curvas empíricas acumuladas dos comprimentos das seqüências de dias secos e chuvosos, salvo pelo fato do evento (altura de chuva observada) ter sido contado por intervalos de classes de precipitação.

A distribuição exponencial 2 parâmetros, escolhida em função da sua robustez e da facilidade em estimar seus pa-

râmetros, tem a seguinte forma:

$$x = B_0 - B_1 \cdot L_n(1/T) = B_0 - B_1 \cdot L_n[1 - F_X(x)] \quad (IV.1)$$

onde:

$x$  = precipitação diária

$$B_0 = \bar{x} - s \quad (\text{método dos momentos}) \quad (IV.2)$$

$$B_1 = s \quad (\text{método dos momentos}) \quad (IV.3)$$

$\bar{x}$  = média das precipitações observadas

$s$  = desvio padrão das precipitações observadas

$T$  = tempo de recorrência

$F_X(x) = P[X \leq x]$  = função de distribuição acumulada

Considerando as chuvas diárias independentes, a geração da altura precipitada, num dia qualquer, é feita sorteando-se um número aleatório "U", de distribuição uniforme entre zero e um. Faz-se, então:

$$1 - F_X(x) = P(X > x) = U \quad (IV.4)$$

onde  $F_X(x)$  é a função de distribuição acumulada, que pode ser empírica ou exponencial 2 parâmetros. Considerando a distribuição empírica, a precipitação é obtida por interpolação na respectiva curva. No caso da chuva diária ter distribuição exponencial utiliza-se a Equação (IV.1).

Quando as distribuições empírica e exponencial 2 parâmetros foram utilizadas conjuntamente, o intervalo de utilização de cada uma foi determinado sem se seguir uma regra

rígida. Procurou-se um ponto de separação onde houvesse convergência entre as duas curvas, mas cuja recorrência fosse a mais alta possível, de modo a gerar com a distribuição exponencial os eventos extremos.

Considerando dependentes as alturas de precipitação e supondo que uma seqüência de dias chuvosos consecutivos tenha sido obtida, o esquema de geração da chuva diária é dado pelos seguintes passos:

i) Geração da altura de chuva do primeiro dia da seqüência com a distribuição marginal considerada (empírica ou exponencial 2 parâmetros), conforme já explicado neste mesmo item IV.1.

ii) Transformação da variável X (precipitação) numa variável Y com distribuição marginal normal padrão [ $\theta_Y(y)$ ]:

$$y = \theta_Y^{-1} [F_X(x)] = \theta_Y^{-1} [\theta_Y(y)] \quad (IV.5)$$

iii) Geração de um número aleatório normal padrão "e" e aplicação do modelo auto-regressivo:

$$y_{t+1} = r_y \cdot y_t + e_{t+1}(1 - r_y^2)^{0,5} \quad (IV.6)$$

onde  $r_y$  é o coeficiente de auto-correlação de ordem 1.



iv) Transformação da variável Y para a variável X (precipitação):

$$x = F_X^{-1} [F_Y(y)] = F_X^{-1} [F_X(x)] \quad (\text{IV.7})$$

onde "x" é obtido por interpolação linear ou utilizando a Equação (IV.1), conforme a sua distribuição marginal.

v) Havendo persistência do processo chuvoso retorna-se ao passo "iii". Caso contrário, não haverá chuva, e ter-se-á um dia seco. A partir de um novo dia chuvoso repete-se o processo. Quando a seqüência chuvosa é de apenas 1 dia, utiliza-se apenas o procedimento descrito no passo "i".

No APÊNDICE C apresenta-se, para as quatro sub-bacias consideradas neste trabalho, as equações da distribuição exponencial 2 parâmetros, bem como a sua plotagem em papel semi-logarítmico (a equação plota-se como uma reta). Mostra-se também alguns pontos da distribuição empírica e o ponto de separação das duas distribuições, quando as mesmas foram utilizadas conjuntamente. Chama-se a atenção de que os pontos plotados, da distribuição empírica, não correspondem necessariamente à discretização fornecida ao modelo. Esta, em geral, necessita ser mais detalhada.

Encerrando este item, chama-se a atenção de que o modelo está estruturado de tal forma que é muito fácil substituir ou incorporar outras distribuições teóricas de probabilidades, tanto para gerar a ocorrência do processo (se-

qüências de dias secos ou chuvosos), quanto para atribuir o montante precipitado aos dias chuvosos.

#### IV.2 - A ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE AUTO-CORRELAÇÃO DE ORDEM 1.

Inicialmente, para aplicação do modelo AR(1), o coeficiente de auto-correlação de ordem 1 das chuvas diárias, devido à intermitência do processo, foi estimado pelo coeficiente de correlação dos valores normalizados das precipitações observadas em dias chuvosos consecutivos. A transformação para a normal padrão foi efetuada considerando-se que as chuvas diárias tinham distribuição exponencial 2 parâmetros. O modelo, com o coeficiente de auto-correlação estimado pelo método dos momentos, conforme mencionado, foi aplicado na geração de chuvas diárias. A análise dos valores extremos (chuvas máximas anuais para 1,2,3,5,7,10,12 e 15 dias) indicou, exceto para 1 dia de duração e para a bacia do Rio Pelotas, que as chuvas máximas anuais, observadas e geradas, não podiam ser consideradas como provenientes de uma mesma população. Todavia, notou-se que a aderência entre as respectivas curvas de distribuições acumuladas, medida pela estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov, era muito maior do que quando as chuvas foram geradas independentemente. Em outras palavras, diminuiu o desvio máximo entre as curvas de freqüências empíricas acumuladas das precipitações máximas anuais observadas e geradas. Procurou-se, então, através de tentativas, outros valores de coeficientes de auto-correlação que provocassem

a aderência desejada. Na situação em que a hipótese nula do teste de Kolmogorov-Smirnov não foi rejeitada, considerou-se o modelo calibrado. Esta condição depende do nível de significância adotado no teste, que, em geral, foi de 5%.

Assim, com o procedimento descrito, conseguiu-se que o modelo reproduzisse não somente as características médias das chuvas observadas, mas também as características extremas. O coeficiente de auto-correlação, de modo não convencional, foi utilizado como um parâmetro de calibragem do modelo de geração de chuvas diárias proposto, decorrendo, desta forma, o seu papel preponderante. Justifica-se o procedimento com a observação de que o coeficiente de auto-correlação é uma variável aleatória, pois é obtido através de uma amostra também aleatória. O seu verdadeiro valor (populacional) é, portanto, desconhecido. Deste modo, foram utilizados valores que conduziram a um resultado almejado e não aqueles necessariamente determinados pelo método dos momentos.

As estatísticas marginais das precipitações diárias, geradas com o modelo AR(1), não se modificam com a utilização de diferentes coeficientes de auto-correlação. Ao se aumentar o valor do coeficiente de auto-correlação, aumentou-se a tendência de valores altos da precipitação serem seguidos por valores altos e também, vice-versa, valores baixos serem seguidos por valores baixos. Com isto, conseguiu-se melhorar a representação das distribuições de probabilidades das precipitações máximas anuais de "n" dias de

duração, para "n" maior do que 1 dia.

#### IV.3 - A APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

De modo a facilitar o entendimento da aplicação do modelo e a análise dos seus resultados, que será apresentada no próximo item, cada processamento foi referido a um caso, cuja numeração guarda a mesma relação para todas as bacias.

Inicialmente o modelo foi aplicado considerando independentes as alturas das chuvas diárias. Sob essa hipótese, as alturas de chuva foram geradas com a distribuição empírica (Caso 1), com a distribuição exponencial 2 parâmetros (Caso 2) e com uma combinação destas duas distribuições (Caso 3). O Caso 1 somente foi processado para as sub-bacias dos rios Canoas e Pelotas, a título de ilustração, pois não se considerou razoável restringir a geração de eventos extremos aos máximos observados na série histórica (é bastante provável que os máximos observados teriam outros valores se se tivesse registros de comprimentos muito superiores aos atuais). Considerando a dependência do processo, somente se utilizou a combinação das distribuições empírica e exponencial 2 parâmetros para gerar as alturas precipitadas. No Caso 4, em todas as sub-bacias, foram utilizados os coeficientes amostrais de auto-correlação de ordem 1. A partir do Caso 5, conforme mencionado no item IV.2, foram utilizados coeficientes de auto-correlação superiores aos amostrais, constituindo-se um novo caso a cada incremento nos coeficientes, até que a hipótese nula do

teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de significância de 5%, não fosse rejeitada. Nesta situação, de modo a testar novamente a hipótese nula do teste, repetiu-se a geração, mantendo-se os mesmos coeficientes e trocando-se apenas as sementes iniciais dos geradores de números aleatórios. Para fazer a distinção entre os processamentos efetuados, acrescentou-se uma letra à numeração do caso em questão.

A Tabela IV.1 abaixo discrimina, por sub-bacia, o número de séries e o total de anos gerados em cada caso.

---

Sub-bacia	Nº de séries	Nº de anos de cada série(*)	Total de anos gerados
Canoas	33	62	2.046
Pelotas	63	32	2.016
Passo Fundo	60	35	2.100
Uruguai	45	45	2.025

---

Tabela IV.1 - Geração de Séries Sintéticas

(\*) Mesmo comprimento da série histórica

Somente na Bacia do Rio Canoas, objetivando analisar o desempenho do modelo, a partir de um número maior de séries sintéticas, foram geradas 162 séries de 62 anos cada uma, totalizando 10.044 anos (Caso 9c).

Apresenta-se a seguir, para cada sub-bacia, os períodos sazonais e os coeficientes de auto-correlação utilizados nos casos em que as alturas de chuvas diárias foram ge-

radas com o modelo AR(1).

#### IV.3.1 - BACIA DO RIO CANOAS - PERÍODOS SAZONAIS E COEFICIENTES DE AUTO-CORRELAÇÃO DE ORDEM 1

Na Bacia do Rio Canoas, o ano foi dividido em nove períodos sazonais. Foram processados nove casos, sendo que nos três primeiros a chuva diária foi gerada de forma independente. Os coeficientes de auto-correlação de ordem 1, utilizados em cada caso de aplicação do modelo AR(1), são apresentados na Tabela IV.2. O Caso 4 corresponde à utilização dos coeficientes amostrais.

---

Per. Saz. nº- meses	Coeficientes de Auto-Correlação de Ordem 1					
	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9
1 - jan/fev	0,1975	0,2500	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750
2 - março	0,2147	0,2500	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750
3 - abril	0,1515	0,2000	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250
4 - maio	0,2389	0,3000	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250
5 - junho	0,1400	0,2000	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250
6 - julho	0,2518	0,3000	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250
7 - agosto	0,2907	0,3500	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250
8 - set/out	0,1565	0,2000	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250
9 - nov/dez	0,1617	0,2000	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250

---

Tabela IV.2 - Bacia do Rio Canoas - Períodos Sazonais e Coeficientes de Auto-Correlação de Ordem 1.

#### IV.3.2 - BACIA DO RIO PELOTAS - PERIODOS SAZONAIS E COEFICIENTES DE AUTO-CORRELAÇÃO DE ORDEM 1

Na Bacia do Rio Pelotas, o ano foi dividido em doze períodos sazonais. Foram processados quatro casos, os três primeiros considerando a chuva diária independente. O Caso 4 corresponde à utilização dos coeficientes amostrais. Esta foi a única bacia em que não houve necessidade de incrementar os coeficientes de auto-correlação.

---

Período Sazonal	Coef. de Auto-Correlação de Ordem 1
nº- meses	Caso 4
1 - janeiro	0,2081
2 - fevereiro	0,2954
3 - março	0,2016
4 - abril	0,1617
5 - maio	0,0698
6 - junho	0,3123
7 - julho	0,2915
8 - agosto	0,4175
9 - setembro	0,2738
10 - outubro	0,1726
11 - novembro	0,1558
12 - dezembro	0,2024

---

Tabela IV.3 - Bacia do Rio Pelotas - Períodos Sazonais e Coeficientes de Auto-Correlação de Ordem 1.

**IV.3.3 - BACIA DO RIO PASSO FUNDO - PERIODOS SAZONAIS E  
COEFICIENTES DE AUTO-CORRELAÇÃO DE ORDEM 1**

Na Bacia do Rio Passo Fundo, o ano foi dividido em doze períodos sazonais. Foram processados seis casos, os três primeiros considerando a chuva diária independente. O Caso 4 corresponde à utilização dos coeficientes amostrais.

---

Período Sazonal nº - meses	Coef. de Auto-Correlação de Ordem 1		
	Caso 4	Caso 5	Caso 6
1 - janeiro	0,1011	0,1500	0,1750
2 - fevereiro	0,2112	0,2500	0,2750
3 - março	0,1397	0,2000	0,2250
4 - abril	0,1102	0,1500	0,1750
5 - maio	0,1708	0,2000	0,2250
6 - junho	0,2204	0,2500	0,2750
7 - julho	0,1864	0,2500	0,2750
8 - agosto	0,3245	0,3500	0,3750
9 - setembro	0,2133	0,2500	0,2750
10 - outubro	0,2301	0,3000	0,3250
11 - novembro	0,1085	0,1500	0,1750
12 - dezembro	0,0536	0,1000	0,1250

---

Tabela IV.4 - Bacia do Rio Passo Fundo - Períodos Sazonais  
e Coeficientes de Auto-Correlação de Ordem 1.



#### IV.3.4 - BACIA DO RIO URUGUAI - PERIODOS SAZONAIS E COEFICIENTES DE AUTO-CORRELAÇÃO DE ORDEM 1

Na Bacia do Rio Uruguai, o ano foi também dividido em doze períodos sazonais. Foram processados oito casos, os três primeiros considerando as precipitações independentes. O Caso 4 corresponde à utilização dos coeficientes amostrais. Os coeficientes de auto-correlação deste e dos demais casos estão apresentados na Tabela IV.5.

---

Período Sazonal	Coef. de Auto-Correlação de Ordem 1				
	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8
nº - meses					
1 - janeiro	0,2702	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750
2 - fevereiro	0,3400	0,4000	0,4250	0,4500	0,4750
3 - março	0,2588	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750
4 - abril	0,1932	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250
5 - maio	0,2029	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250
6 - junho	0,2594	0,3000	0,3250	0,3500	0,3750
7 - julho	0,3020	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250
8 - agosto	0,3961	0,4500	0,4750	0,5000	0,5250
9 - outubro	0,2822	0,3500	0,3750	0,4000	0,4250
10 - outubro	0,2088	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250
11 - novembro	0,1905	0,2500	0,2750	0,3000	0,3250
12 - dezembro	0,1781	0,2000	0,2250	0,2500	0,2750

---

Tabela IV.5 - Bacia do Rio Uruguai - Períodos Sazonais e Coeficientes de Auto-Correlação de Ordem 1.

#### IV.4 - DESCRIÇÃO DAS ANÁLISES EFETUADAS COM OS DADOS GERADOS PELO MODELO PROPOSTO

As variáveis e estatísticas comparadas, das séries histórica e sintéticas, são geralmente de fácil definição. Entretanto, de forma a tornar a compreensão mais espontânea, elaborou-se a Figura (IV.3), onde se representa uma variável hipotética observada ao longo de "n" anos de "m" séries sintéticas, totalizando "n x m" observações sintéticas.

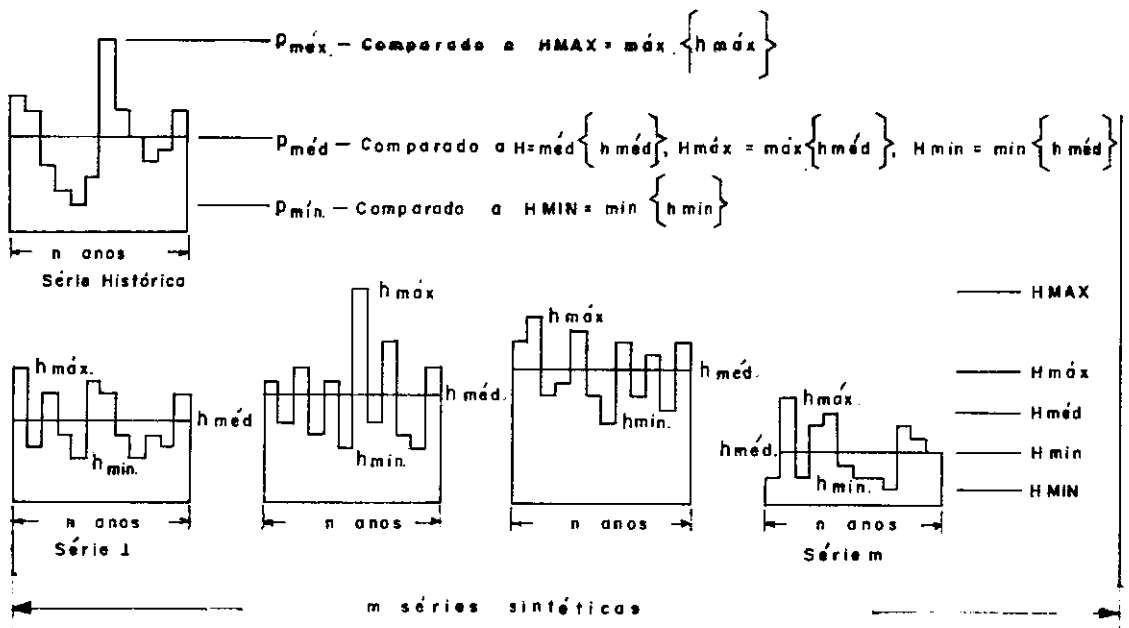


Figura IV.3 - Série Histórica e Séries Sintéticas: Representação Gráfica de uma Variável Hipotética.

As variáveis apresentadas na Figura (IV.3) definem-se automaticamente, conforme mostrado na própria figura, e é quase imediata a analogia entre elas e as apresentadas nas tabelas mencionadas. Supondo que a variável representada seja o total anual precipitado, pode-se definir, na série histórica e em cada uma das séries sintéticas, os totais anuais máximo, médio e mínimo. Para as séries sintéticas, como se tem "m" valores para as estatísticas acima mencionadas, outros valores podem ser obtidos, tais como: o máximo e o mínimo dos totais máximos e mínimos anuais precipitados (valores máximo e mínimo minimorum), respectivamente, e os valores máximo, médio e mínimo dos totais médios anuais precipitados.

Embora o exemplo tenha sido dado com os totais anuais precipitados, a extensão pode ser feita para os totais mensais (ou janeiro, ou fevereiro, etc.) e também para o número de dias chuvosos, anuais ou de cada mês (ou janeiro, ou fevereiro, etc.).

Os números de seqüências de dias secos e chuvosos consecutivos, observados nas séries histórica e sintéticas, foram também comparados. Para as séries sintéticas são mostrados, para cada duração, os valores máximo, médio e mínimo obtidos. Chama-se a atenção de que a definição, dada aqui a uma seqüência de dias secos ou chuvosos, é diferente daquela utilizada anteriormente para definir o estado do tempo (abordagem de seqüências alternadas de dias secos e

chuvosos). De modo a se entender estas últimas variáveis mencionadas, define-se uma seqüência de "n" dias secos (chuvosos) como uma sucessão de "n" dias secos (chuvosos) consecutivos, independentemente do estado do tempo nos dias anteriores ou posteriores aos "n" dias considerados. Assim, se "n" for o número máximo de dias secos (chuvosos) consecutivos numa dada seqüência limitada por dias chuvosos (secos), as seguintes seqüências secas (chuvosas) serão contadas:

- 1 seqüência de "n" dias secos (chuvosos) consecutivos
- 2 seqüências de "n-1" dias secos (chuvosos) consecutivos
- . . . . .
- . . . . .
- "n-1" seqüências de 2 dias secos (chuvosos) consecutivos
- "n" seqüências de 1 dia seco (chuvoso) consecutivos

O único teste formal que se fez, neste trabalho, foi o de Kolmogorov-Smirnov para duas amostras, conforme descrito no item II.3, com o objetivo de testar se as precipitações máximas anuais, históricas e sintéticas, tinham as mesmas distribuições de probabilidades. Foram consideradas as precipitações máximas anuais para 1, 2, 3, 5, 7, 10, 12 e 15 dias de duração.

Para a realização do teste foram considerados os valores históricos e os valores obtidos em 1.000 anos consecutivos.

tivos de dados sintéticos. Geralmente considerou-se os primeiros 1.000 anos sintéticos de cada caso e, quando a hipótese nula não foi rejeitada para nenhuma duração, repetiu-se o teste com os segundos 1.000 anos gerados.

No APÊNDICE D, de modo a se ter uma evolução do processo de geração das chuvas diárias, os resultados dos diversos casos são comparados entre si e também aos valores da série histórica. As variáveis comparadas ou apresentadas nas diversas tabelas são:

- i) Número médio anual de dias chuvosos
- ii) Média dos totais anuais precipitados
- iii) Máximo total anual precipitado
- iv) Mínimo total anual precipitado
- v) Número de seqüências de dias chuvosos consecutivos para 11 durações específicas
- vi) Número de seqüências de dias secos consecutivos para 11 durações específicas
- vii) Precipitações máximas anuais extremas para 8 durações específicas
- viii) Resultados (estatísticas) do teste de Kolmogorov-Smirnov para duas amostras

No APÊNDICE E, para alguns casos escolhidos, os resultados são apresentados com maiores detalhes, inclusive a nível mensal. Estes casos, listados abaixo, correspondem

àqueles em que a hipótese nula do teste de Kolmogorov-Smirnov não foi rejeitada.

Sub-bacia Canoas - Caso 9

Sub-bacia Pelotas - Caso 4

Sub-bacia P. Fundo - Caso 6

Sub-bacia Uruguai - Caso 8

No APÊNDICE F, para os mesmos casos mostrados no APÊNDICE E (exceto o Caso 9c da Bacia do Rio Canoas), apresenta-se a plotagem conjunta das curvas empíricas das distribuições acumuladas de probabilidades das chuvas máximas anuais históricas e sintéticas, para todas as durações consideradas, de modo que se possa ter uma idéia do grau de aderência das duas curvas.

#### IV.5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS COM O MODELO PROPOSTO

Os resultados obtidos e as comparações efetuadas, entre os dados históricos e os gerados, estão consubstanciados detalhadamente em tabelas e figuras (Apêndices D,E e F). Neste item, de modo a facilitar a análise, foram extraídos, como exemplos, apenas alguns resultados. Ainda de modo a facilitar o entendimento, lembra-se que nos casos 1, 2 e 3 as alturas precipitadas foram consideradas indepen-

dentes. No Caso 4 utilizou-se o modelo AR(1) com os coeficientes de auto-correlação amostrais. Nos casos seguintes foram utilizados coeficientes superiores aos amostrais, buscando-se obter precipitações máximas anuais com distribuições de probabilidades semelhantes às da série histórica, para as diversas durações consideradas.

De modo a comparar os resultados do modelo proposto com outra estrutura de modelagem da chuva diária, aplicou-se uma cadeia de Markov de 2 estados de primeira ordem, conforme modelo desenvolvido por NASCIMENTO (1989), a todas as sub-bacias, adotando-se a mesma discretização dos períodos sazonais utilizada no processamento do modelo proposto. A distribuição exponencial 2 parâmetros foi utilizada para gerar as alturas diárias de precipitação. As mesmas conclusões obtidas por NASCIMENTO (1989) foram novamente verificadas: o modelo Markoviano reproduziu razoavelmente os totais médio mensais e anuais precipitados e também os números médios mensais e anuais de dias chuvosos observados na série histórica, tendo falhado na reprodução dos números de seqüências de dias chuvosos consecutivos e sido rejeitado na análise das precipitações máximas anuais superiores a um dia de duração, com base no teste de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados estão apresentados no APÊNDICE A. Neste item, para efeito da comparação mencionada, extraiu-se apenas alguns resultados.

A análise dos resultados indicou que o modelo teve um desempenho semelhante nas quatro bacias consideradas. Deste modo os resultados serão analisados em conjunto. Analisa-se primeiramente os resultados médios obtidos em termos de ocorrências e totais precipitados, depois as seqüências de dias secos e chuvosos consecutivos e, finalmente, as precipitações máximas anuais para diversas durações.

De imediato nota-se, nas tabelas do APÊNDICE D, que se a análise fosse efetuada apenas em termos médios (totais médios precipitados e números médios de dias chuvosos mensais e anuais), haveria pouca diferença entre os diversos casos processados em cada sub-bacia. Afora a pequena discrepância nos totais pluviométricos médios mensais e anuais, quando se utilizou a distribuição exponencial 2 parâmetros, os resultados, quando comparados aos respectivos valores observados, se mostraram consistentes, conforme esperado na maioria das situações (por construção do modelo). Na Tabela (IV.6) apresenta-se a variação das médias anuais dos números de dias chuvosos e dos totais precipitados dos casos em que se considerou o modelo calibrado. Nota-se que a variação é razoavelmente estreita, com o valor médio se aproximando bastante do valor médio histórico. O mesmo se pode notar com relação aos valores mensais, mostrados nas tabelas do APÊNDICE E. Ainda na Tabela (IV.6) apresenta-se, entre parêntesis, alguns dos resultados obtidos com o modelo Markoviano de 2 estados de primeira ordem.



BACIA	CLASSIF. DO VALOR	VALORES DIAS CHUV.	MÉDIOS ANUAIS TOTAIS PRECIP. (mm)
R. Canoas	Histórico	176,8	1.515,5
Caso 9	máximo	180,5	1.571,8
33 séries	médio	176,8 (177,2)	1.522,0 (1.567,0)
	mínimo	172,1	1.458,4
R. Pelotas	Histórico	212,3	1.520,3
Caso 4	máximo	217,8	1.579,6
63 séries	médio	212,4 (212,5)	1.511,1 (1.591,9)
	mínimo	205,3	1.425,2
R. P.Fundo	Histórico	173,7	1.867,7
Caso 6	máximo	175,8	1.937,7
60 séries	médio	173,7 (174,0)	1.859,1 (1.917,2)
	mínimo	168,8	1.778,2
R. Uruguai	Histórico	233,2	1.543,2
Caso 8	máximo	236,7	1.948,8
45 séries	médio	233,2 (233,6)	1.565,9 (1.615,5)
	mínimo	228,4	1.492,7

Tabela IV.6 - Dias Chuvosos e Totais Precipitados (mm): Valores Máximo, Médio e Mínimo dos Valores Médios dos Casos Considerados.

Obs.: Os valores entre parêntesis são os resultados do modelo Markoviano.

Com relação aos valores extremos dos totais mensais e anuais precipitados, exceto na sub-bacia do Rio Passo Fundo, não foi muito fácil superar os valores observados na série histórica. Isto indica, com muita possibilidade, que os valores mencionados têm um tempo de recorrência maior do que o obtido através da amostra ( $T=n$  ou  $n+1$ , dependendo do método de cálculo e sendo "n" o número de anos observados).

A Tabela (IV.7) mostra o número de casos em que o máximo valor histórico, dos totais anuais precipitados, foi superado. Lembra-se que cada caso corresponde a pouco mais de 2.000 anos gerados (é possível, entretanto, que nos casos em que houve superação, esta tenha ocorrido mais de uma vez, pois somente se listou o máximo valor). Mostra-se também, na Tabela (IV.7), os valores máximos da série histórica e os valores máximos dos casos considerados.

---

BACIA	Nº DE CASOS		TOTAIS MÁX. ANUAIS (mm)	
	CONSIDERADOS	SUPERIORES	SÉRIE HISTÓRICA	CASOS CONSIDERADOS
R. Canoas	13	2	2.557,5	3.047,2
R. Pelotas	6	0	2.636,7	2.263,4
R. P.Fundo	5	4	2.742,4	2.891,6
R. Uruguai	9	1	2.688,4	2.952,8

---

Tabela IV.7 - Precipitações Totais Anuais Extremas e Número de Casos em que o Valor Histórico Foi Superado.

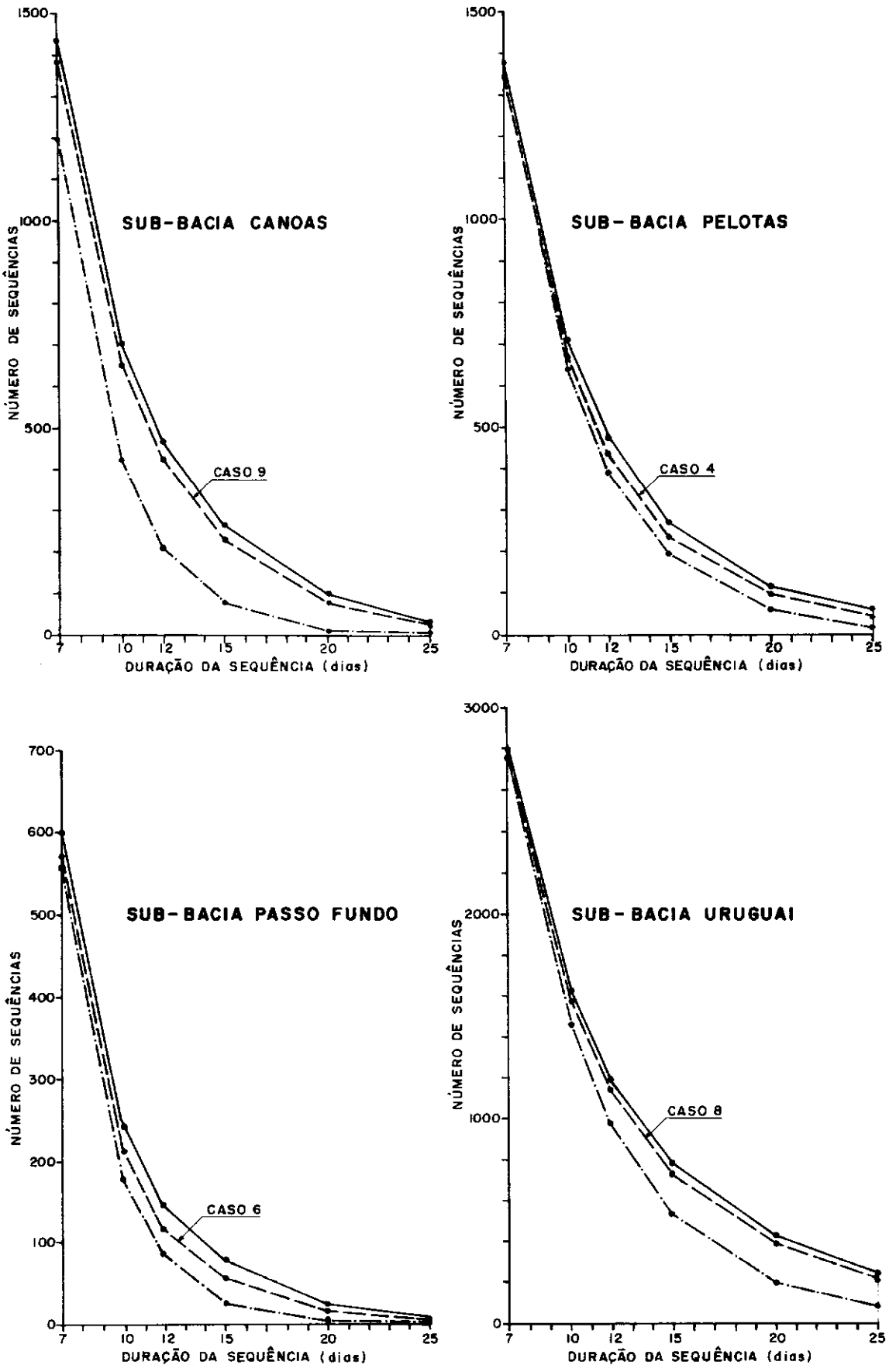
Com relação à ocorrência do processo, medida com base no número de seqüências de dias secos e chuvosos consecutivos, para diversos comprimentos, as diferenças entre os vários casos foram muito pequenas. Os resultados obtidos, só não foram mais próximos dos observados na série histórica, principalmente para as durações maiores, porque se interpo-  
lou frequências relativas acumuladas de comprimentos não observados, tanto para as seqüências de dias chuvosos quanto para as seqüências de dias secos. Este procedimento, mencionado no item IV.1, embora tornando menos assemelhados os resultados observados e gerados, foi considerado adequado. É de se notar, entretanto, que, se a comparação entre a ocorrência do processo fosse feita através das curvas empíricas de frequências relativas acumuladas, os resultados observados e gerados seriam ainda mais próximos, por construção.

Do exposto, pode-se concluir que, em todas as sub-bacias, a abordagem de seqüências alternadas de dias secos e chuvosos produziu bons resultados, conseguindo manter a persistência das chuvas observadas.

Na Tabela (IV.8) e na Figura (IV.4), apresentadas a seguir, para algumas das onze durações consideradas, são comparados os números de seqüências de dias chuvosos observados na série histórica e os valores obtidos com o modelo proposto (casos escolhidos) e com uma cadeia de Markov, conforme mencionado anteriormente, verificando-se que esta última abordagem tem um desempenho inferior.

BACIA DO RIO	CANDAS	PELOTAS	PASSO FUNDO	URUGUAI
	Caso 9	Caso 4	Caso 6	Caso 8
DURAÇÃO (dias)	Nº DE SEQUÊNCIAS DE DIAS CHUVOSOS CONSECUTIVOS			
1 - Histór.	10.961	6.795	6.081	10.495
Modelo	10.964	6.797	6.081	10.496
Markov	10.984	6.801	6.088	10.510
5 - Histór.	2.556	2.265	1.227	4.249
Modelo	2.532	2.225	1.200	4.227
Markov	2.453	2.316	1.233	4.261
10 - Histór.	704	715	249	1.625
Modelo	664	669	213	1.583
Markov	421	647	176	1.461
15 - Histór.	271	272	78	781
Modelo	237	233	56	735
Markov	79	197	25	532

Tabela IV.8 - Número de Sequências Históricas de Dias Chuvosos Consecutivos e Valores Médios Gerados



**FIGURA IV.4 - NÚMERO DE SEQUÊNCIAS DE DIAS CHUVOSOS CONSECUTIVOS PARA AS DURAÇÕES INDICADAS - VALORES OBSERVADOS E GERADOS**

- LEGENDA**
- SERIE HISTÓRICA
  - - - MODELO PROPOSTO
  - · - CADEIA DE MARKOV DE PRIMEIRA ORDEM E 2 ESTADOS

Na Tabela (IV.9) apresenta-se, para quatro das onze durações consideradas, os números de seqüências de dias secos consecutivos observados na série histórica e os valores médios gerados com o modelo proposto (casos escolhidos).

BACIA DO RIO	CANOAS Caso 9	PELOTAS Caso 4	PASSO FUNDO Caso 6	URUGUAI Caso 8
DURAÇÃO (dias)	Nº DE SEQÜÊNCIAS DE DIAS SECOS CONSECUTIVOS			
1 - Histór.	11.684	4.893	6.703	5.942
Modelo	11.680	4.891	6.702	5.939
5 - Histór.	3.030	1.062	1.672	1.055
Modelo	3.008	1.032	1.649	1.041
10 - Histór.	616	225	347	171
Modelo	598	195	322	165
15 - Histór.	136	49	85	33
Modelo	116	32	70	29

Tabela IV.9 - Número de Seqüências Históricas de Dias Secos Consecutivos e Valores Médios Gerados

Também não foi muito fácil, no caso das precipitações diárias máximas anuais, a superação dos valores extremos observados para as durações entre 7 e 15 dias. A exceção continuou sendo a Bacia do Rio Passo Fundo e talvez possa ser explicada pela magnitude da área de drenagem. É um fenômeno raro a observação simultânea de chuvas intensas e persistentes em todos os pontos de uma área extensa. Como se trabalhou com a precipitação média, calculada a partir de observações efetuadas em diversos pontos da bacia, as chuvas extremas observadas nas outras bacias, com áreas de drenagem bastante superiores à de Passo Fundo, devem ter realmente uma recorrência muito maior.

Verifica-se também, nas tabelas pertinentes do APÊNDICE D, que, em geral, os valores mais altos das precipitações extremas de durações maiores foram gerados com o modelo AR(1). Embora o fato possa ser atribuído à aleatoriedade das amostras geradas, é bem provável que seja devido à consideração da persistência da chuva diária, ou seja, de considerá-las dependentes no tempo.

Os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov podem ser vistos nas tabelas apresentadas no APÊNDICE D. Nota-se que as estatísticas do teste diminuíram à medida que se aumentou o coeficiente de auto-correlação de ordem 1.

Neste trabalho tomou-se como base o nível de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ) e, nas situações em que se considerou

ajustado o modelo, a partir da não rejeição da hipótese nula, as curvas empíricas de frequências relativas acumuladas dos valores máximos anuais das séries histórica e sintéticas foram plotadas conjuntamente, de modo a se observar graficamente o grau de aderência das duas curvas (APÊNDICE F). Verifica-se, nos desenhos mencionados, que a aderência entre as curvas históricas e sintéticas é bastante razoável, confirmando os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov. Menciona-se também, que se poderia considerar o modelo ajustado a partir de uma tolerância ou percentagem de rejeição, até o valor adotado para o nível de significância do teste.

Ainda com relação aos coeficientes de auto-correlação de ordem 1, apresentados nas Tabelas IV.2 a IV.5, há que se mencionar que outros coeficientes poderiam proporcionar resultados igualmente satisfatórios, pois o processo de busca é empírico e por tentativas. Embora se tenha procurado os valores mais próximos dos amostrais, considerou-se desnecessário "otimizar" o processo. Mais do que isso, pretendeu-se mostrar a importância de se considerar dependentes as alturas de precipitação em dias chuvosos consecutivos e a exequibilidade de se utilizar coeficientes de auto-correlação diferentes dos valores amostrais obtidos pelo método dos momentos.

Finalmente pode-se notar, nas tabelas (IV.2), (IV.3), (IV.4) e (IV.5), que os incrementos dados aos coeficientes



amostrais de auto-correlação de ordem 1 não foram exagerados. Na Bacia do Rio Pelotas, inclusive, os próprios coeficientes amostrais se mostraram adequados, não havendo a necessidade de incrementá-los.

## CAPITULO V

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A modelagem estocástica das precipitações é uma tarefa difícil. Do ponto de vista teórico existe a complexidade do processo atmosférico, dificultando a formulação de um modelo matemático. Do ponto de vista prático há que se levar em conta a dificuldade de sua observação e a quantidade e a qualidade dos dados, que, em geral, são insuficientes no tempo e no espaço. A inclusão de novos postos na rede pluviométrica pode tornar a ocorrência observada da precipitação um processo não estacionário, dificultando a sua modelagem.

Embora representando a variação temporal da precipitação apenas num ponto, a modelagem univariada pode ser bastante complexa, dependendo da estrutura matemática utilizada. Os modelos com tal característica, mesmo quando contribuem para um melhor conhecimento do processo, praticamente não têm sido utilizados. Este aspecto esteve sempre presente durante o desenvolvimento deste estudo, onde se procurou um modelo estocástico para a precipitação diária de fácil entendimento e utilização.

Considera-se como contribuições principais deste trabalho a percepção da dependência serial das alturas precipitadas, a utilização de um mecanismo de dependência representado pelo modelo AR(1) e também o processo não convencional de determinação e utilização do coeficiente de autocorrelação de ordem 1.

O modelo proposto foi desenvolvido e aplicado na Bacia do Rio Uruguai, situada na Região Sul do Brasil, onde o ano hidrológico não é definido. Acredita-se, entretanto, que possa ser utilizado em outras bacias ou regiões. Embora desejável, características físicas do processo ou da bacia não precisam, necessariamente, serem explicadas pelos modelos estocásticos. Todavia, a geração de precipitações com o modelo AR(1) é particularmente interessante nas regiões em que o processo é persistente, tendo vários dias de duração.

Conclui-se também que a análise dos resultados em termos médios, como tem sido comumente efetuada, é geralmente inadequada quando se está interessado em eventos extremos, principalmente quando as variáveis que os descrevem não são parâmetros de entrada do modelo. Assim, por exemplo, se não se tivesse verificado a hipótese de mesma distribuição de probabilidades das chuvas máximas anuais observadas e geradas, para as diversas durações consideradas, os modelos desenvolvidos neste trabalho, e que consideraram independentes as chuvas diárias, poderiam ter sido considerados adequados, pois reproduziram razoavelmente os números de dias chuvosos e as precipitações mensais e anuais. Entretanto,

se as chuvas geradas tivessem sido utilizadas para estudos de enchentes, poder-se-ia chegar a resultados não confiáveis. Recorda-se que a hipótese acima mencionada foi rejeitada nos testes efetuados, em todos os casos em que as precipitações foram consideradas independentes. Havendo interesse apenas em valores mensais ou anuais de totais precipitados ou de número de dias chuvosos, estruturas de modelagem mais simples, como as cadeias de Markov, podem também ser adequadas.

Uma recomendação para futuras pesquisas é o estudo e o desenvolvimento de modelos de desagregação das precipitações diárias em horárias, ou mesmo em intervalos menores. Essas chuvas são importantes para o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana e para os estudos hidrológicos em pequenas bacias, cujos tempos de concentração são medidos em horas ou minutos. Na bibliografia consultada constatou-se uma carência muito grande nesta área de conhecimento.

Uma outra recomendação, tendo em vista os resultados obtidos com as aplicações do modelo proposto, refere-se à sua extensão ao caso multivariado, de modo a levar também em conta a variação espacial das precipitações diárias.

Finalmente, e esperando que este trabalho tenha dado alguma contribuição ao seu desenvolvimento, a constatação de que a modelagem estocástica da precipitação diária é ainda um campo aberto à pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENJAMIN, JACK R. e CORNEL, C. ALLIN (1970), Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers, McGraw-Hill Company, New York.
- BOX, G.E.P. e JENKINS, G.M. (1976), Time Series Analysis: Forecasting and Control, Holden-Day, San Francisco.
- BRAS, RAFAEL L. e RODRIGUEZ - ITURBE, IGNACIO (1976), Rainfall Generation: A Nonstationary Time-Varying Multidimensional Model, Water Resources Research, 12(3) pg. 450-456.
- BRYSON, M.C. (1974), Heavy-Tailed Distributions: Properties and Tests, Techometrics, Vol. 16, No. 1, pg. 61-68.
- BUISSHAND, T.A. (1978), The Binary Darma (1,1) Process on a Model For Wet-Dry Sequences, Tech. Note 78-01, Dep. Math., Agric. Univ. Wageningen, The Netherlands.
- CHANG, T. J., KAVVAS, M.L. e DELLEUR, J.W. (1982), Daily Precipitation and Streamflow Modeling by Discrete Autoregressive Moving Average Processes, Rep. 146, Water Resour. Res. Center, Purdue Univ, West Lafayette, Ind.
- CHANG, T.J., KAVVAS, M.L. e DELLEUR, J.W. (1984), Daily Precipitation Modeling by Discrete Autoregressive Moving Average Processes, Water Resources Research, 20(5), pg. 565-580.
- CONEJO, J.G. LOTUFO (1980), Análise, Geração e Desagregação, de Precipitações Diárias, Boletim Técnico DAEE, V.3, No. 2, p.81-224, São Paulo - SP.

- COX, D.R. e LEWIS, P.A.W. (1978), The Statistical Analysis of Series of Events, Methven, London.
- DIGGLE, P.J. (1984), Discussion of the paper A Model Fitting Analysis of Daily Rainfall Data by Stern, R.D., and R. Coe, J. R. Statist Soc., A 147, pg. 1-34, 1984.
- ELETROBRÁS/CEPEL (1987), Guia para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedores, Rio de Janeiro, RJ.
- ELETROSUL/CNEC (1979), Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, Estudo de Inventário Hidroenergético, Vol. 1 a 4, Florianópolis, SC.
- FELLER, W. (1968), An Introduction to Probability Theory and Its Applications, Vol. 1, John Wiley, New York.
- FELLER, W. (1971), An Introduction to Probability Theory And Its Applications, Vol. 2, John Wiley, New York.
- FEYERHERM, A.M. e BARK, L.D. (1967), Goodness of Fit of a Markov Chain Model for Sequences of Wet and Dry Days, Journal of Applied Meteorology, 6, pg. 770-773.
- FOUFOULA-GEORGIU, EPI (1985), Discrete-Time Point Process Models for Daily Rainfall, Water Resources Series, Technical Report No. 93(\*), Dept. Civil Eng., University of Washington, Seattle, Whashington, 98.195. (\*) Também Technical Report No. 85, Florida Water Resources Research Center, University of Florida, Gainesville, Florida, 32.611, USA.
- FRANZ, DELBERT D. (1970), Hourly Rainfall Synthesis for a Network of Stations, Technical Report No. 126, Dept. Civil Eng., Stanford University, California, USA.

- GABRIEL, K.R. e NEUMANN, J. (1962), A Markov Chain Model for Daily Rainfall Occurrences at Tel Aviv, Quarterly Journal Royal Meteorological Society, No. 88, pg. 90-95.
- GALOY, E., BRETON, A. Le e MARTIN, S. (1981), A Model for Weather Cycles Based on Daily Rainfall Occurrences, em Cosnard, M., et al. (eds.): Rhythms in Biology and Other Fields of Application, Springer Lecture Notes in Biomathematics, Vol. 49, pg. 303-318.
- GENOVEZ, A.M. e CHAUDHRY, F. (1987), Avaliação de um Modelo de Geração de Precipitação Diária a Partir de Dados de um Posto Pluviométrico, Anais 2 do VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos e III Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos, pg. 642-651, Salvador - BA.
- GRACE, R.A. e EAEGLESON, P.S. (1966), The Synthesis of Short - Time Increment Rainfall Sequences, Ralph M. Parsons Laboratory Report No. 91, Massachusetts Institute of Technology.
- GREEN, J.R. (1964), A Model for Rainfall Occurrence, Journal of Royal Statistical Society, Series B, 26, pg. 345-353.
- GREEN, J.R. (1965), Two Probability Models for Sequences of Wet and Dry Days, Monthly Weather Review, 93, pg. 155-156.
- GUPTA, V.K. e DUCKSTEIN, L (1975), A Stochastic Analysis of Extreme Droughts, Water Resources Research, 11(2), pg. 221-228.

- HAAN, C.T., ALLEN, D.M. e STREET, J.O. (1976), A Markov Chain Model of Daily Rainfall, Water Resources Research, 12(3), pg. 443-449.
- HAAN, C.T. (1977), Statistical Methods in Hydrology, Iowa State University Press, Second Printing, 1979.
- HOLLANDER, M. e PROSCHAN, F. (1975), Test for the Mean Residual Life, Biometrika, 62,3, pg. 585-593.
- HOPKINS, J.W. e ROBILLARD, P (1964), Some Statistics from the Canadian Prairie Provinces, Journal of Applied Meteorology, 3, pg. 600-602.
- JACOBS, P.A. e LEWIS, P.A.W. (1978a), Discrete Time Series Generated by Mixtures, 1, Correlational and Runs Properties, J.R. Statist. Soc., B, 40(1), pg. 94-105.
- JACOBS, P.A. e LEWIS, P.A.W (1978b), Discrete Time Series Generated by Mixtures, 2, Asymptotic Properties, J.R. Statist. Soc., B 40(2) pg. 222-228.
- JACOBS, P.A. e LEWIS, P.A.W. (1978c), Discrete Time Series Generated by Mixtures, 3, Autoregressive Processes - DAR(p), Tech. Rep. NPS 55 - 78 - 022, Nar. Postgrad. School, Monterey, Calif.
- KAVVAS, M.L. e DELLEUR, J.W. (1975), The Stochastic and Chronological Structure of Rainfall Sequences - Application to Indiana, Tech. Rep. 57, Water Resour. Res. Center, Purdue Univ., W. Lafayette, Ind.
- KAVVAS, M.L. e DELLEUR, J.W. (1981), A Stochastic Cluster Model of Daily Rainfall Sequences, Water Resources Research, 17(4), pg. 1151-1160.



- KELMAN, JERSON (1977), Stochastic Modeling of Hydrologic, Intermittent Daily Processes, Hydrology Papers, No. 89, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 80523, USA.
- KELMAN, JERSON; COSTA, JOARI P.; DAMAZIO, JORGE M. e DIAS, NELSON L.C. (1985), Geração Multivariada de Precipitações Extremas, Anais 1, do VI Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, pg. 178-188, São Paulo, SP.
- KELMAN, JERSON (1987a), Modelos Estocásticos no Gerenciamento de Recursos Hídricos, Cap. 4, Vol. 1 da Coleção de Recursos Hídricos: Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos, Nobel/ABRH, São Paulo - SP.
- KELMAN, JERSON (1987b) Controle de Cheias e Aproveitamentos Hidrelétricos - RBE - Revista Brasileira de Engenharia, Rio de Janeiro - RJ.
- KELMAN, JERSON e PEREIRA, MARIO V.F.(1977), Critérios de Avaliação para Modelos de Séries Hidrológicas, IV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, RJ.
- KERN, RICARDO (1978), trabalho interno na ELETROSUL, Florianópolis - SC.
- KHANAL, N.N. e HAMRICK, R.L. (1974), A Stochastic Model for Daily Rainfall Data Synthesis, Proc. Symposium on Statistical Hydrology, Tucson, Arizona (1971), USDA Misc. Publ. 1275, pg. 197-210.

- KITE, G.W. (1977), Frequency and Risk Analysis in Hidrology, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado.
- KOTTEGODA, N.T. (1980), Stochastic Water Resources Technology, The MacMillan Press Ltd., Hong Kong.
- KRAEGER, B.F. (1971), Stochastic Monthly Streamflow by a Multi-Station Rainfall Generation, Technical Report No. 152, Department of Civil Engineering, Stanford University.
- LIU, MING; KERN, RICARDO; NASCIMENTO, CARLOS E. de S. e BARROS, VERA M.M. (1981), M.O.S.C.A. - Modelo de Simulação de Operação de um Sistema de Aproveitamentos Hidrelétricos em Cascata, Anais 2 do IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Fortaleza, CE.
- MERO, FELIX (1971), Second Progress Report on Preparation of Hydrological Data for Flood Control Unit, Tahal Consulting Eng., Iran Branch, Ghazvin.
- NASCIMENTO, CARLOS E. de S. (1989), Geração Estocástica de Chuvas Diárias - Bacia do Rio Canoas, Anais 2 do VII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, pg. 101-109, Foz do Iguaçu, PR.
- NEYMAN, J. e SCOTT, E.L. (1958), A Statistical Approach to Problems of Cosmology, J.R. Statist. Soc., B, 20, pg. 41-43.
- OCCHIPINTI, ANTONIO G. (1989), Hidrometeorologia, Cap. 2, Vol. 2 da Coleção ABRH de Recursos Hídricos: Engenharia Hidrológica, ABRH/Editora UFRJ, pg. 17-141, Rio de Janeiro - RJ.

- PALERMO, M.A. e LIN, M (1983), Modelo de Geração de Precipitação Diária, Anais 2 do V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, pg. 25-36, Blumenau - SC.
- POMPEO, C.A. e RIGHETTO, A.M. (1983), Modelação da Precipitação Diária e Horária para a Bacia do Rio Jacaré-Guaçu, SP, Anais 2 do V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, pg. 37-61, Blumenau - SC.
- RAO, NANDAMUDI J.M. e BIAZI, ELENICE (1981), Um Estudo Estocástico para Dias Chuvosos e Não Chuvosos Consecutivos para uma Estação do Interior de São Paulo, Anais 2 do IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, pg. 513-518, Fortaleza - CE.
- RODRIGUEZ-ITURBE, IGNACIO; GUPTA, V.K. E WAYMRE, E. (1984), Considerations in the Modeling of Temporal Rainfall, Water Resources Research, 20(11), 1611-1619.
- SANSIGOLO, C.A. (1988), Modelagem Estocástica de Precipitações Diárias, Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos, Vol. 6/N.1, pg. 29-40.
- SMITH, E.R. e SCHREIBER, H.A. (1973), Point Processes Seasonal Thunderstorm Rainfall, Part 1, Distribution of Rainfall Events, Water Resources Research, 9(4), pg.871-884.
- SMITH, J.A. (1981), Point Process Models of Rainfall,

Ph.D. Dissertation , The John Hopkins University, Maryland.

SMITH, J.A. e KARR, A.F. (1983), A Point Process Model of Summer Season Rainfall Occurrences, Water Resources Research, 19(1), pg. 95-103.

STEDINGER, J.R. e TAYLOR, N.R. (1982), Synthetic Streamflow Generation, 1 Model Verification and Validation, Water Resources Research, 18(4), pg. 909-918.

THOM, H.G. (1958), A Note on the Gama Distribution, Monthly Weather Review, 86(4) pg. 117-122.

TODOROVIC, P. (1968), A Mathematical Study of Precipitation Phenomena, Technical Report CET67-68T65, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

TODOROVIC, P e YEVJEVICH, V. (1969), Stochastic Process of Precipitation, Hydrology Papers No. 35, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 80523, USA.

TODOROVIC, P e WOOLHISER, D.A. (1974), Stochastic Model of Daily Rainfall, Proc. Symposium on Statistical Hydrology, Tucson, Arizona, USDA Misc. pub. 1275, pg. 232-246.

TODOROVIC, P. e WOOLHIDER, D.A. (1976), Stochastic Structure of the Local Pattern of Precipitation, in Stochastic Approaches to Water Resources, Vol. 2, edited by H.W. Shen, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

VERSCHUREN, J.P. (1968), A Stochastic Analysis of Precipitation, Ph.D. Dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

- WAYMIRE, E. e GUPTA, V.J. (1981a), The Mathematical Structure of Rainfall Representations, Part 1, A Review of the Stochastic Rainfall Models, Water Resources Research, 17(5), pg. 1261-1272.
- WAYMIRE, E. e GUPTA, V.J. (1981b), The Mathematical Structure of Rainfall Representations, Part 2, A Review of the Theory of Point Processes, Water Resources Research, 17(5), pg. 1273-1285.
- WAYMIRE, E. e GUPTA, V.J. (1981c), The Mathematical Structure of Rainfall Representations, Part 3, Some Applications of the Point Process Theory to Rainfall Processes, Water Resources Research, 17(5), pg. 1287-1294.
- WAYMIRE, E., GUPTA, V.J. e RODRIGUEZ-ITURBE IGNACIO (1984), A Spectral Theory of Rainfall Intensity at the Meso- $\beta$  Scale, Water Resources Research, 20(10), pg. 1453-1456.
- WISER, E.H. (1965), Modified Markov Probability Models of Sequences of Precipitation Events, Monthly Weather Review, 93, pg. 511-516.
- WOOLHISER, D.A. e ROLDAN, J. (1982), Stochastic Daily Precipitation Models, 2, A Comparison of Distributions of Amounts, Water Resources Research, 18(5), pg. 1461-1468.
- YEVJEVICH, VUJICA (1972), Probability and Statistics in Hydrology, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado.

APÊNDICE A

RESULTADOS DOS MODELOS MARKOVIANOS

ESQUEMA DE NUMERAÇÃO DAS TABELAS: x.y.z

x - relativo ao apêndice

y - relativo à bacia hidrográfica

1 - Canoas

2 - Pelotas

3 - Passo Fundo

4 - Uruguai

z - número da tabela

DURAÇÃO DA SEQUÊNCIA (SÉRIE)	Nº DE SEQUÊNCIAS DE DIAS CHUVOSOS CONSECUTIVOS										
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25	30
Histórica (1925/1986)	10.961	7.464	5.080	2.556	1.433	704	472	271	107	40	10
Sintética (média)	10.984	7.483	5.128	2.453	1.195	421	213	79	15	2	0
Sintética (máxima)	11.188	7.686	5.340	2.651	1.331	497	274	139	44	18	7

Tabela A.1.1 - Bacia do Rio Canoas até Colônia Santana  
Sequências Observadas e Geradas (33 séries de 62 anos) com uma Cadeia de Markov.

	DURAÇÃO (DIAS)							
	1	2	3	5	7	10	12	15
P. Máx. Max. Série Histórica (1925/1986)	103,0	164,0	210,7	284,2	371,0	396,8	439,4	455,1
P. Máx. Max. Série Sintética (1/1.000)	162,7	194,2	210,3	213,0	265,7	307,7	311,5	366,7
Z (calculado)	0,843	2,275	2,412	2,813	3,000	2,358	2,435	2,081

Tabela A.1.2 - Bacia do Rio Canoas até Colônia Santana  
Precipitações Extremas Máximas Anuais Observadas e Geradas (1.000 anos) e Resultados dos Testes de KOLMOGOROV-SMIRNOV  
[Z(critico) = 1,358 para  $\alpha = 0,05$ ].

SÉRIE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Histórica - Precip. (mm)	150,7	143,0	118,8	102,4	103,4	114,5	107,3	131,8	146,1	151,3	118,1	127,9	1.515,5
Sintética - Precip. (mm)	152,4	142,4	121,2	107,5	114,4	117,5	113,9	136,9	150,4	155,1	126,2	129,3	1.567,0
Histórica-Dias Chuvosos	19,4	18,0	16,5	13,6	12,4	12,4	12,1	12,5	14,5	15,2	14,2	16,1	176,8
Sintética-Dias Chuvosos	19,3	17,8	16,4	13,6	12,5	12,4	12,2	12,6	14,7	15,1	15,1	15,4	177,2

Tabela A.1.3 - Bacia do Rio Canoas até Colônia Santana [Série Histórica: 1925/1986 (62 anos) - Série Sintética: 2.046 anos].  
Precipitações Médias Mensais e Anuais Observadas e Geradas com uma Cadeia de Markov e a Distribuição Exponencial 2 Parâmetros.

DURAÇÃO DA SEQUÊNCIA (SÉRIE)	Nº DE SEQUÊNCIAS DE DIAS CHUVOSOS CONSECUTIVOS										
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25	30
Histórica (1952/1983)	6.795	5.173	3.918	2.265	1.388	715	479	272	122	65	30
Sintética (média)	6.801	5.171	3.942	2.316	1.377	647	397	197	64	21	7
Sintética (máxima)	6.987	5.408	4.199	2.548	1.554	775	507	288	137	79	43

Tabela A.2.1 - Bacia do Rio Pelotas até Passo do Nandes  
Sequências Observadas e Geradas (63 séries de 32 anos) com uma Cadeia de Markov.

	DURAÇÃO (DIAS)								
	1	2	3	5	7	10	12	15	
P. Máx. Max. Série Histórica (1952/1983)	119,3	200,0	274,6	330,9	378,5	406,8	470,8	484,7	
P. Máx. Max. Série Sintética (1/1.000)	181,0	204,6	204,6	211,1	236,0	317,7	323,0	350,2	
Z (calculado)	1,001	1,364	1,470	1,573	1,648	1,739	1,561	1,321	

Tabela A.2.2 - Bacia do Rio Pelotas até Passo do Nandes  
Precipitações Extremas Máximas Anuais Observadas e Geradas (1.000 anos) e Resultados dos Testes de KOLMOGOROV-SMIRNOV  
[Z(critico) = 1,358 para  $\alpha = 0,05$ ].

SÉRIE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Histórica - Precip. (mm)	140,6	142,7	123,2	86,8	88,5	112,1	124,6	150,8	162,4	143,2	116,7	128,0	1.520,3
Sintética - Precip. (mm)	141,4	143,1	126,9	91,3	96,6	117,9	134,6	160,4	168,0	149,7	129,5	132,3	1.591,9
Histórica-Dias Chuvosos	22,7	20,8	19,6	15,1	14,2	15,5	15,7	15,3	17,7	19,0	17,4	19,3	212,3
Sintética-Dias Chuvosos	22,6	20,7	19,4	15,2	14,3	15,3	15,9	15,5	17,8	19,2	17,6	19,1	212,5

Tabela A.2.3 - Bacia do Rio Pelotas até Passo do Nandes [Série Histórica: 1952/1983 (32 anos) - Série Sintética: 2.016 anos].  
Precipitações Médias Mensais e Anuais Observadas e Geradas com uma Cadeia de Markov e a Distribuição Exponencial 2 Parâmetros.



DURAÇÃO DA SEQUÊNCIA (SÉRIE)	Nº DE SEQUÊNCIAS DE DIAS CHUVOSOS CONSECUTIVOS										
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25	30
Histórica (1950/1984)	6.081	4.055	2.675	1.227	606	249	145	78	25	7	2
Sintética (média)	6.088	4.057	2.716	1.233	565	176	81	25	3	0	0
Sintética (máxima)	6.338	4.313	2.976	1.409	705	250	139	54	20	7	0

Tabela A.3.1 - Bacia do Rio Passo Fundo até Barragem Passo Fundo  
Sequências Observadas e Geradas (60 séries de 35 anos) com uma Cadeia de Markov.

	DURAÇÃO (DIAS)							
	1	2	3	5	7	10	12	15
P. Máx. Max. Série Histórica (1950/1984)	123,7	154,9	206,9	253,8	293,4	340,5	381,6	400,5
P. Máx. Max. Série Sintética (1/1.000)	195,5	251,5	303,0	330,6	356,9	407,8	431,6	441,5
Z (calculado)	0,574	1,435	1,859	1,843	1,794	1,798	1,907	1,256

Tabela A.3.2 - Bacia do Rio Passo Fundo até Barragem Passo Fundo  
Precipitações Extremas Máximas Anuais Observadas e Geradas (1.000 anos) e Resultados dos Testes de KOLMOGOROV-SMIRNOV  
[Z(critico) = 1,358 para  $\alpha = 0,05$ ].

SÉRIE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Histórica - Precip. (mm)	162,0	156,3	130,0	116,8	131,7	157,2	153,1	169,9	196,6	198,6	140,1	155,7	1.867,7
Sintética - Precip. (mm)	162,2	156,6	133,0	123,0	141,9	159,0	156,9	173,4	200,6	206,3	144,7	159,4	1.917,2
Histórica-Dias Chuvosos	17,8	16,5	15,4	11,5	11,6	13,7	13,7	14,4	15,3	15,6	13,3	15,0	173,7
Sintética-Dias Chuvosos	17,8	16,4	15,3	11,7	11,8	13,6	13,6	14,4	15,5	15,7	13,3	14,8	174,0

Tabela A.3.3 - Bacia do Rio Passo Fundo até Barragem Passo Fundo [Série Histórica: 1950/1984 (35 anos) - Série Sintética: 2.100 anos],  
Precipitações Médias Mensais e Anuais Observadas e Geradas com uma Cadeia de Markov e a Distribuição Exponencial 2 Parâmetros.

DURAÇÃO DA SEQUÊNCIA (SÉRIE)	Nº DE SEQUÊNCIAS DE DIAS CHUVOSOS CONSECUTIVOS										
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25	30
Histórica (1961/1984)	4.438	3.040	2.072	996	512	218	128	68	20	7	2
Sintética (média)	4.443	3.044	2.095	1.009	491	170	85	31	5	0	0
Sintética (máxima)	4.636	3.214	2.272	1.173	634	251	134	67	25	12	7

Tabela A.3.1a - Bacia do Rio Passo Fundo até Barragem Passo Fundo  
Sequências Observadas e Geradas (84 séries de 24 anos) com uma Cadeia de Markov.

	DURAÇÃO (DIAS)							
	1	2	3	5	7	10	12	15
P. Máx. Max. Série Histórica (1961/1984)	123,7	154,9	206,9	253,8	293,4	340,5	381,6	400,5
P. Máx. Max. Série Sintética (1/1.000)	179,5	173,4	242,0	333,5	333,7	369,5	396,0	431,9
Z (calculado)	0,508	1,569	1,974	1,665	1,728	1,861	1,565	1,015

Tabela A.3.2a - Bacia do Rio Passo Fundo até Barragem Passo Fundo  
Precipitações Extremas Máximas Anuais Observadas e Geradas (1.000 anos) e Resultados dos Testes de KOLMOGOROV-SMIRNOV  
[Z(critico) = 1,358 para  $\alpha = 0,05$ ].

SÉRIE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Histórica - Precip. (mm)	158,2	155,4	133,8	106,0	136,8	156,7	164,7	190,6	190,4	183,2	157,5	163,2	1.096,1
Sintética - Precip. (mm)	158,0	157,3	134,7	111,9	148,2	164,3	167,7	194,8	198,5	187,3	161,3	168,4	1.952,3
Histórica-Dias Chuvosos	18,7	17,6	16,6	12,0	12,4	14,5	14,3	15,4	15,9	16,6	14,7	16,3	184,9
Sintética-Dias Chuvosos	18,5	17,5	16,5	12,2	12,6	14,4	14,3	15,5	16,2	16,7	14,8	16,1	185,2

Tabela A.3.3a - Bacia do Rio Passo Fundo até Barragem Passo Fundo [Série Histórica: 1961/1984 (24 anos) - Série Sintética: 2.016 anos].  
Precipitações Médias Mensais e Anuais Observadas e Geradas com uma Cadeia de Markov e a Distribuição Exponencial 2 Parâmetros.

DURAÇÃO DA SEQUÊNCIA (SÉRIE)	Nº DE SEQUÊNCIAS DE DIAS CHUVOSOS CONSECUTIVOS										
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25	30
Histórica (1940/1984)	10.495	8.347	6.622	4.249	2.812	1.625	1.187	781	438	252	155
Sintética (média)	10.510	8.352	6.652	4.261	2.755	1.461	968	532	203	78	30
Sintética (máxima)	10.781	8.634	6.944	4.525	2.962	1.621	1.124	665	302	145	72

Tabela A.4.1 - Bacia do Rio Uruguai até Itá  
Sequências Observadas e Geradas (45 séries de 45 anos) com uma Cadeia de Markov.

	DURAÇÃO (DIAS)							
	1	2	3	5	7	10	12	15
P. Máx. Max. Série Histórica (1940/1984)	100,2	161,4	214,5	284,2	387,9	418,8	465,8	480,5
P. Máx. Max. Série Sintética (1/1.000)	150,4	169,9	169,9	180,0	246,2	258,4	284,6	310,1
Z (calculado)	0,529	2,385	2,823	2,365	2,100	2,203	2,128	1,962

Tabela A.4.2 - Bacia do Rio Uruguai até Itá  
Precipitações Extremas Máximas Anuais Observadas e Geradas (1.000 anos) e Resultados dos Testes de KOLMOGOROV-SMIRNOV  
[Z(critico) = 1,358 para  $\alpha = 0,05$ ].

SÉRIE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Histórica - Precip. (mm)	150,9	144,6	125,3	94,9	101,5	118,5	122,1	139,1	148,5	150,2	116,1	131,7	1.543,2
Sintética - Precip. (mm)	150,8	145,6	127,5	102,9	112,5	121,3	130,5	151,0	153,8	160,6	123,7	135,2	1.615,5
Histórica-Dias Chuvosos	24,3	22,7	22,2	16,9	16,2	16,9	17,3	17,2	18,9	20,7	19,1	20,9	233,2
Sintética-Dias Chuvosos	24,2	22,6	22,1	16,9	16,3	16,7	17,5	17,3	19,0	20,9	19,3	20,7	233,6

Tabela A.4.3 - Bacia do Rio Uruguai até Itá [Série Histórica: 1940/1984 (45 anos) - Série Sintética: 2.025 anos],  
Precipitações Médias Mensais e Anuais Observadas e Geradas com uma Cadeia de Markov e a Distribuição Exponencial 2 Parâmetros.

## APÊNDICE B

CURVAS EMPÍRICAS DAS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS  
DOS COMPRIMENTOS DOS PERÍODOS SECOS E CHUVOSOS

ESQUEMA DE NUMERAÇÃO DAS FIGURAS: x.y.z

x - relativo ao apêndice

y - relativo à bacia hidrográfica

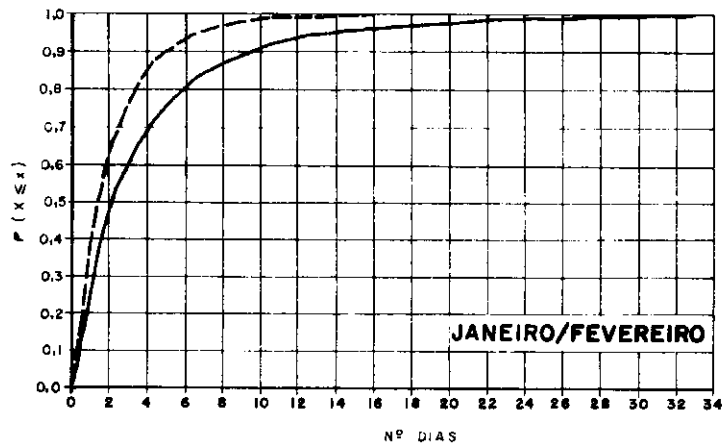
1 - Canoas

2 - Pelotas

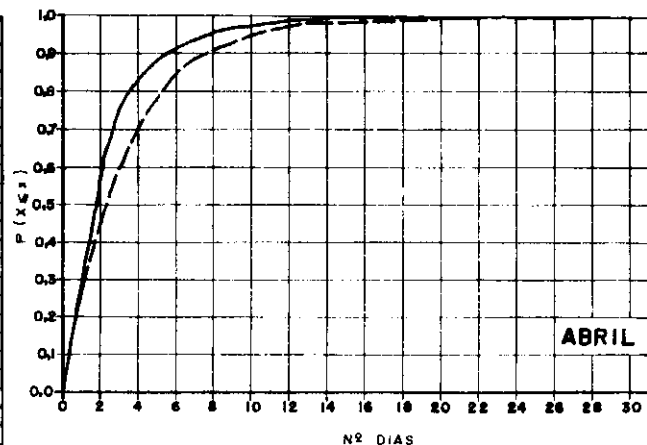
3 - Passo Fundo

4 - Uruguai

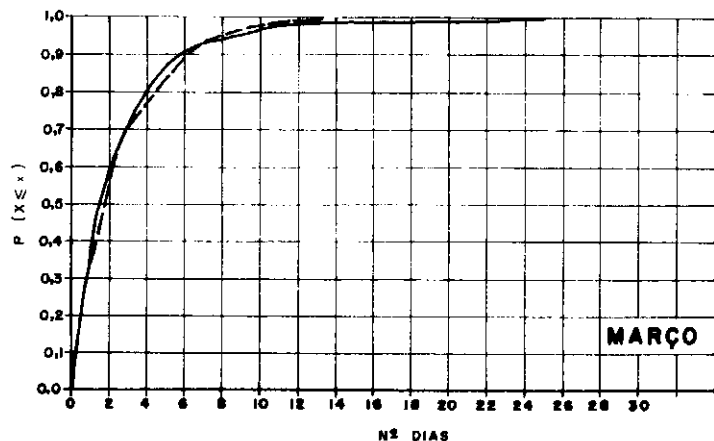
z - número da figura



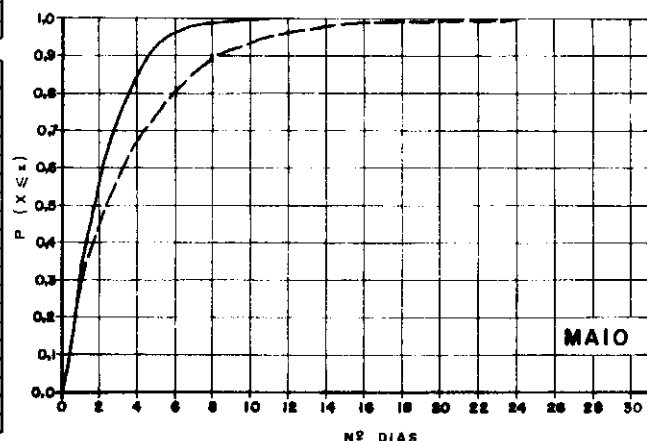
Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2670	0,4130
2	0,4843	0,6500
3	0,6133	0,7833
4	0,7055	0,8741
5	0,7716	0,9130
6	0,8122	0,9426
7	0,8508	0,9665
8	0,8785	0,9796
9	0,9079	0,9882
10	0,9153	0,9907
11	0,9319	0,9944
12	0,9411	—
13	0,9466	0,9963
14	0,9558	0,9981
15	0,9595	1,0000
16	0,9613	—
17	0,9669	—
18	0,9724	—
19	0,9779	—
20	0,9816	—
21	0,9871	—
23	0,9908	—
26	0,9926	—
28	0,9945	—
31	0,9982	—
35	1,0000	—



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,3353	0,2609
2	0,6950	0,4749
3	0,7799	0,5987
4	0,8318	0,7057
5	0,8961	0,7893
6	0,9247	0,8562
7	0,9462	0,8997
8	0,9642	0,9164
9	0,9713	0,9331
10	0,9785	0,9599
11	0,9857	0,9699
12	0,9892	0,9766
13	—	0,9799
14	0,9964	—
15	—	0,9833
16	—	0,9866
18	—	0,9963
21	—	1,0000
31	1,0000	—



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,3453	0,3774
2	0,5835	0,5935
3	0,7134	0,7194
4	0,7850	0,7968
5	0,8404	0,8806
6	0,8925	0,9097
7	0,9316	0,9452
8	0,9479	0,9548
9	0,9609	0,9710
10	0,9707	0,9839
11	0,9805	0,9903
12	0,9870	0,9935
13	—	1,0000
14	0,9902	—
16	0,9935	—
18	0,9967	—
25	1,0000	—

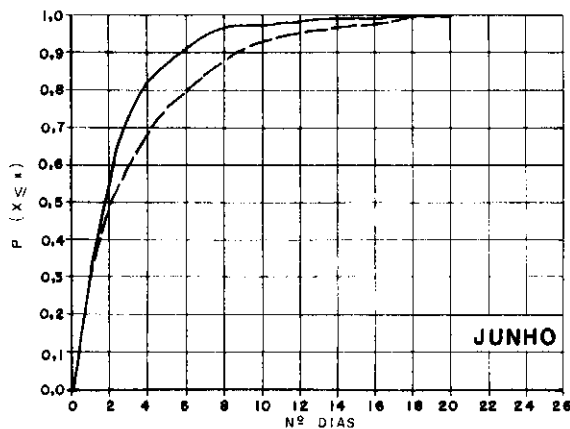


Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,3546	0,3074
2	0,5887	0,4488
3	0,7482	0,5901
4	0,8688	0,6855
5	0,9433	0,7597
6	0,9787	0,8092
7	0,9894	0,8763
8	0,9929	0,9011
9	—	0,9223
10	—	0,9435
11	1,0000	0,9611
12	—	0,9682
14	—	0,9823
15	—	0,9894
17	—	0,9929
21	—	0,9965
24	—	1,0000

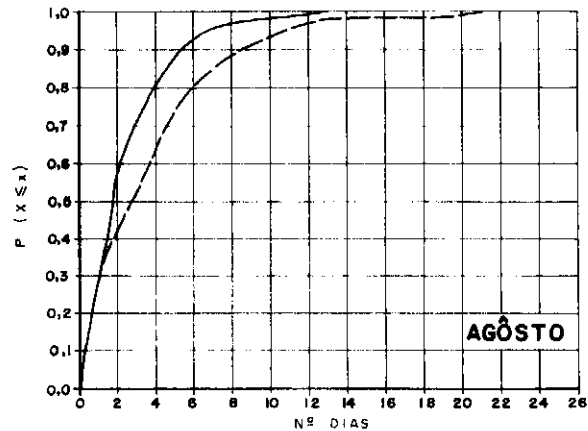
FIGURA B.1.1 - DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ACUMULADAS DO NÚMERO CONSECUTIVO DE DIAS CHUVOSOS E DE DIAS SECOS - BACIA DO RIO CANOAS ATÉ COLÔNIA SANTANA

OBS.: AS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS QUE NÃO APARECEM NA TABELA FORAM OBTIDAS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR

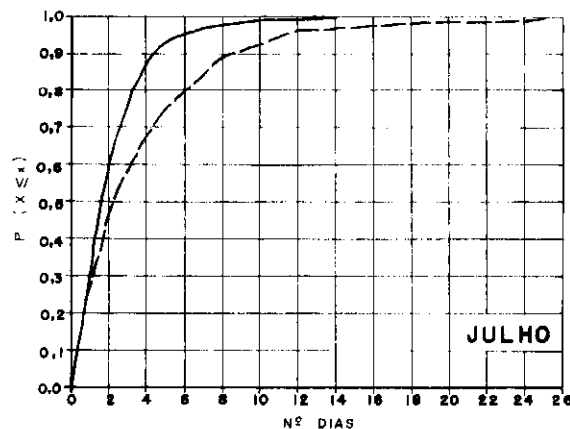
LEGENDA  
 — DIAS CHUVOSOS  
 - - - DIAS SECOS



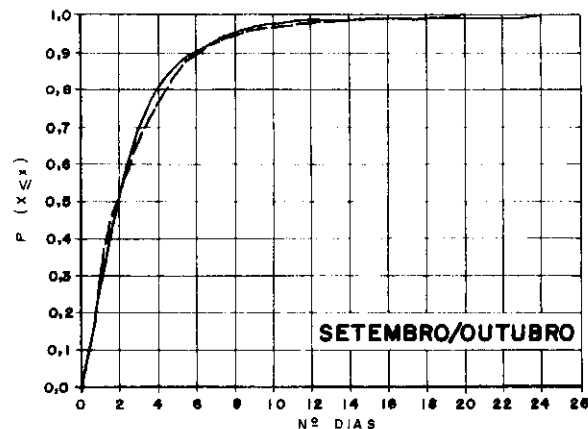
Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,5710	0,5082
2	0,6148	0,4946
3	0,7562	0,6022
4	0,8304	0,6989
5	0,8869	0,7634
6	0,9152	0,8029
7	0,9505	0,8423
8	0,9753	0,8889
9	---	0,9176
10	---	0,9319
11	0,9788	0,9462
12	0,9929	0,9606
13	---	0,9677
14	0,9965	0,9749
15	---	0,9785
16	---	0,9928
17	---	0,9964
18	---	1,0000
20	1,0000	---



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,3165	0,2989
2	0,5647	0,4244
3	0,7194	0,5387
4	0,7950	0,6384
5	0,8813	0,7454
6	0,9388	0,8081
7	0,9568	0,8581
8	0,9676	0,8987
9	0,9784	0,9188
10	0,9892	0,9373
11	0,9928	0,9631
12	---	0,9742
13	1,0000	0,9815
14	---	0,9852
15	---	0,9889
20	---	0,9963
21	---	1,0000



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,3153	0,2914
2	0,6327	0,4603
3	0,7857	0,5927
4	0,8945	0,6887
5	0,9422	0,7682
6	0,9592	0,8013
7	0,9728	0,8576
8	0,9798	0,9040
9	0,9898	0,9172
10	0,9966	0,9338
11	---	0,9470
12	---	0,9702
13	---	0,9735
14	1,0000	0,9768
15	---	0,9801
16	---	0,9868
18	---	0,9901
19	---	0,9934
20	---	0,9967
25	---	1,0000

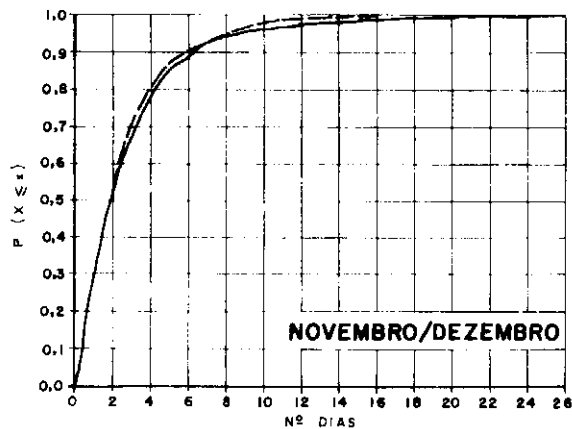


Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,3057	0,3311
2	0,5659	0,5441
3	0,7158	0,6789
4	0,8098	0,7737
5	0,8813	0,8436
6	0,9122	0,9052
7	0,9328	0,9368
8	0,9610	0,9517
9	0,9756	0,9617
10	0,9821	0,9700
11	0,9854	0,9767
12	0,9902	0,9850
13	0,9919	0,9867
14	0,9951	0,9900
15	---	0,9917
16	---	0,9950
17	0,9967	0,9987
19	0,9984	0,9983
20	---	1,0000
24	1,0000	---

**FIGURA B.1.2 - DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ACUMULADAS DO NÚMERO CONSECUTIVO DE DIAS CHUVOSOS E DE DIAS SECOS - BACIA DO RIO CANOAS ATÉ COLÔNIA SANTANA**

OBS.: AS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS QUE NÃO APARECEM NA TABELA FORAM OBTIDAS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR

**LEGENDA**  
 — DIAS CHUVOSOS  
 - - - DIAS SECOS

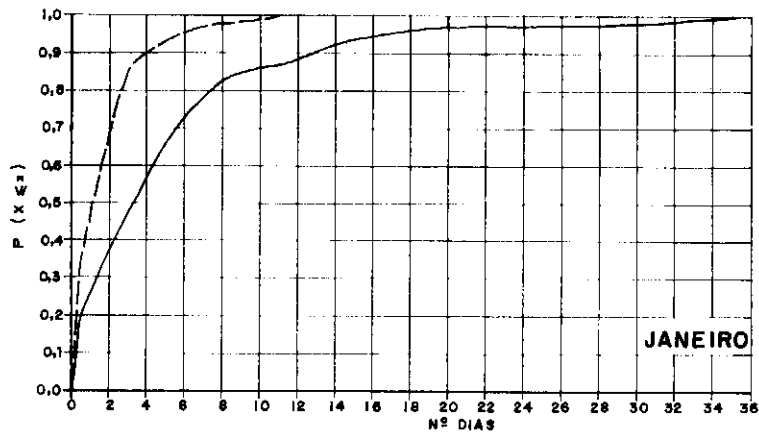


Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,3171	0,3350
2	0,5431	0,5425
3	0,7220	0,6895
4	0,8179	0,7892
5	0,8813	0,8627
6	0,9138	0,8987
7	0,9366	0,9346
8	0,9447	0,9559
9	0,9626	0,9722
10	0,9691	0,9886
11	0,9756	0,9918
12	0,9772	0,9984
13	0,9789	—
14	0,9805	—
15	0,9886	—
16	0,9935	1,0000
18	0,9951	—
19	0,9967	—
25	0,9984	—
26	1,0000	—

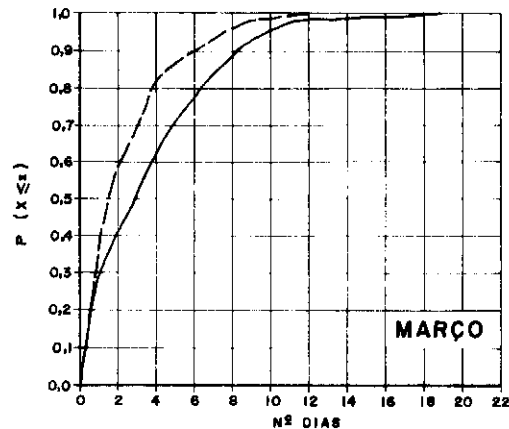
**FIGURA B.1.3 - DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ACUMULADAS DO NÚMERO CONSECUTIVO DE DIAS CHUVOSOS E DE DIAS SECOS - BACIA DO RIO CANOAS ATÉ COLÔNIA SANTANA**

OBS.: AS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS QUE NÃO APARECEM NA TABELA FORAM OBTIDAS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR

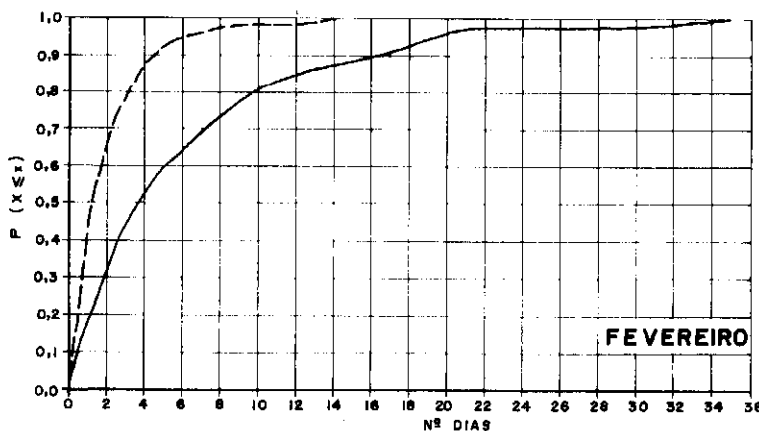
LEGENDA  
 ——— DIAS CHUVOSOS  
 - - - DIAS SECOS



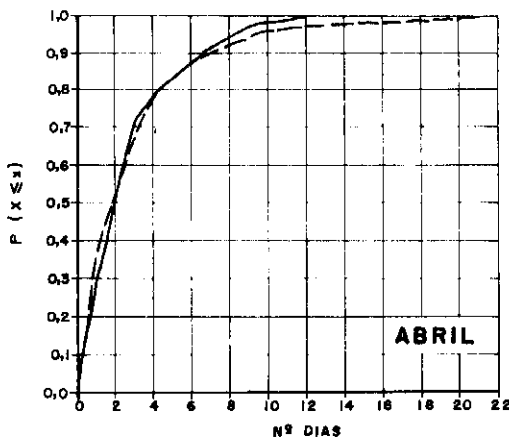
Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2480	0,4844
2	0,3520	0,7031
3	0,4800	0,8750
4	0,5680	0,9141
5	0,6720	0,9375
6	0,7280	0,9609
7	0,7920	0,9888
8	0,8400	0,9844
9	0,8560	—
10	0,8540	0,9922
11	0,8720	1,0000
12	0,8960	—
13	0,9280	—
14	0,9360	—
15	0,9440	—
18	0,9600	—
20	0,9680	—
23	0,9760	—
30	0,9840	—
32	0,9920	—
34	1,0000	—



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2628	0,4380
2	0,4088	0,6277
3	0,5182	0,7372
4	0,6423	0,8467
5	0,7153	0,8832
6	0,7737	0,9124
7	0,8321	0,9416
8	0,8905	0,9781
9	0,9197	0,9927
10	0,9416	—
11	0,9708	—
12	0,9781	1,0000
13	0,9854	—
18	0,9927	—
19	1,0000	—



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,1810	0,4314
2	0,2762	0,6667
3	0,4381	0,7941
4	0,5429	0,9020
5	0,6000	0,9510
6	0,6381	0,9608
7	0,6952	—
8	0,7429	0,9804
9	0,7714	—
10	0,8190	0,9902
11	0,8286	—
12	0,8571	—
13	0,8667	—
14	0,8762	1,0000
15	0,8952	—
17	0,9238	—
18	0,9333	—
19	0,9429	—
20	0,9619	—
22	0,9714	—
23	0,9810	—
31	0,9905	—
35	1,0000	—



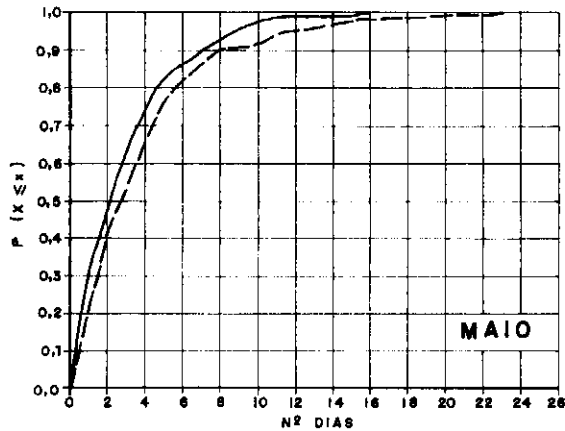
Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2941	0,3896
2	0,4779	0,5195
3	0,6765	0,6623
4	0,7794	0,7987
5	0,8309	0,8377
6	0,8603	0,9026
7	0,9191	0,9158
8	0,9485	0,9286
9	0,9779	0,9481
10	—	0,9675
11	0,9853	—
12	1,0000	0,9740
15	—	0,9870
17	—	0,9935
21	—	1,0000

FIGURA B.2.1 - DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ACUMULADAS DO NÚMERO CONSECUTIVO DE DIAS CHUVOSOS E DE DIAS SECOS - BACIA DO RIO PELOTAS ATÉ PASSO DO NANDES

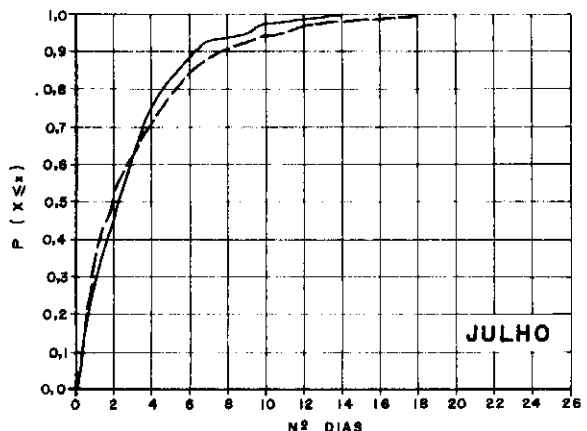
OBS.: AS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS QUE NÃO APARECEM NA TABELA FORAM OBTIDAS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR

LEGENDA  
 — DIAS CHUVOSOS  
 - - - DIAS SECOS

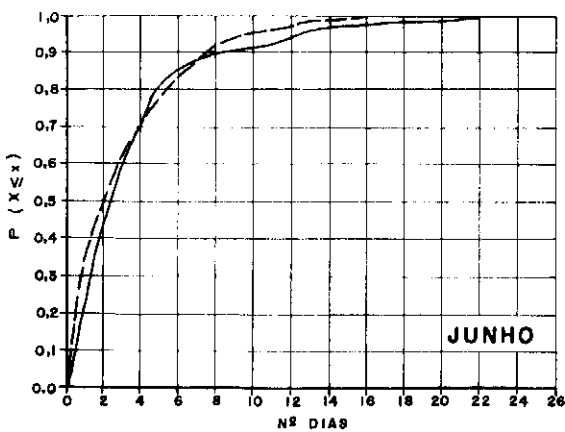




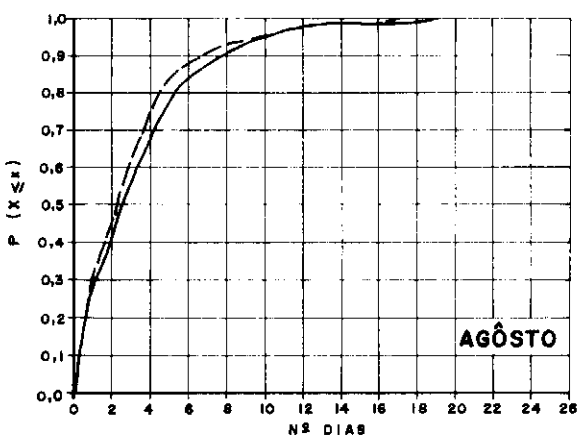
Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2154	0,2248
2	0,4769	0,4031
3	0,6385	0,5426
4	0,7385	0,6667
5	0,8308	0,7829
6	0,8815	0,8217
7	0,9077	0,8605
8	0,9462	0,9070
9	0,9692	---
10	0,9769	0,9225
11	0,9923	0,9457
13	---	0,9335
14	---	0,9690
15	---	0,9845
16	1,0000	---
20	---	0,9922
25	---	1,0000



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2443	0,2786
2	0,4962	0,5000
3	0,6260	0,5429
4	0,7786	0,7286
5	0,8244	0,7857
6	0,9008	0,8571
7	0,9313	0,8929
8	---	0,9214
9	0,9466	0,9286
10	0,9771	---
11	---	0,9643
12	0,9847	0,9786
14	1,0000	---
15	---	0,9929
18	---	1,0000



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2190	0,3279
2	0,4307	0,5000
3	0,5985	0,6230
4	0,7080	0,7213
5	0,8102	0,7889
6	0,8613	0,8525
7	0,8759	0,8934
8	0,8978	0,9282
9	0,9051	0,9058
10	0,9124	0,9590
11	---	0,9672
12	0,9343	0,9754
13	0,9562	0,9918
14	0,9781	---
16	---	1,0000
17	0,9854	---
18	0,9927	---
22	1,0000	---

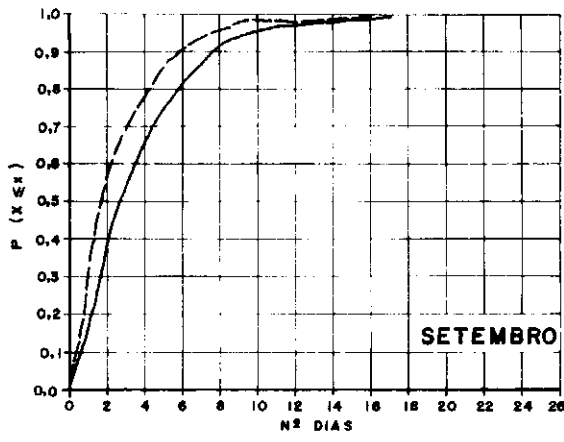


Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2414	0,3015
2	0,4414	0,4779
3	0,5517	0,6176
4	0,6897	0,7574
5	0,7793	0,8529
6	0,8414	0,8897
7	0,8966	---
8	0,9172	0,9412
9	0,9448	0,9485
10	0,9886	0,9559
11	0,9855	---
12	0,9862	0,9779
13	0,9931	---
14	---	0,9853
15	---	0,9926
17	---	1,0000
19	1,0000	---

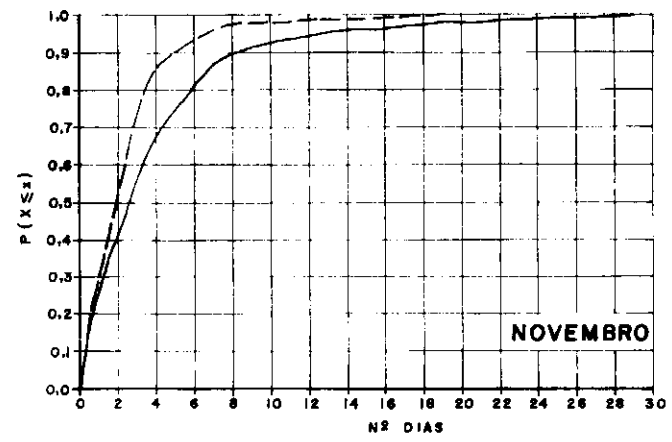
FIGURA B.2.2 - DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ACUMULADAS DO NÚMERO CONSECUTIVO DE DIAS CHUVOSOS E DE DIAS SECOS - BACIA DO RIO PELOTAS ATÉ PASSO DO NANDES

OBS.: AS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS QUE NÃO APARECEM NA TABELA FORAM OBTIDAS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR

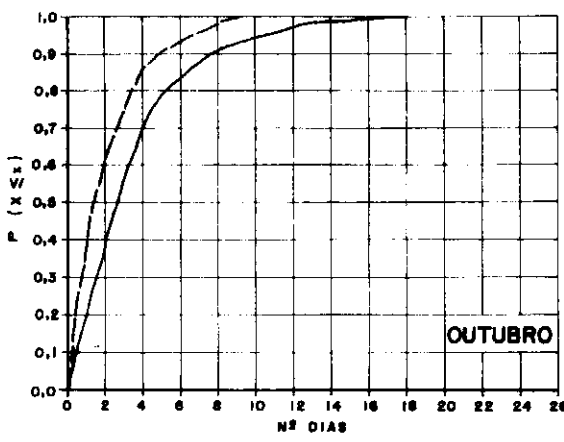
LEGENDA  
 — DIAS CHUVOSOS  
 - - - DIAS SECOS



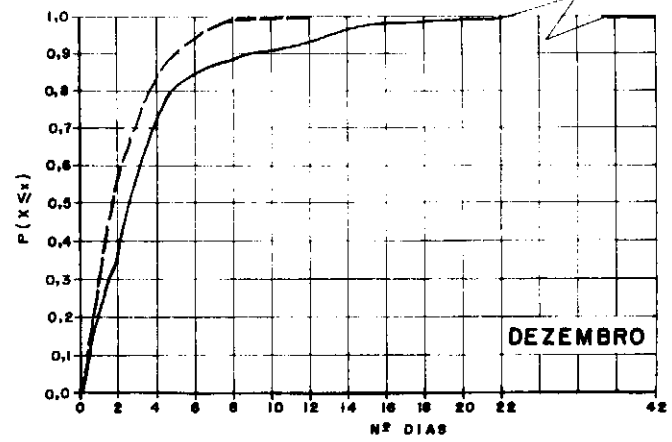
Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,1429	0,3876
2	0,3609	0,5659
3	0,5564	0,7209
4	0,6692	0,8062
5	0,7519	0,8682
6	0,8271	0,9225
7	0,8722	0,9497
8	0,9323	0,9690
9	0,9474	0,9845
10	0,9549	---
11	0,9699	---
12	0,9850	---
13	0,9925	---
15	---	0,9922
16	---	1,0000
17	1,0000	---



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2313	0,3493
2	0,4284	0,5753
3	0,5578	0,7571
4	0,6735	0,8630
5	0,7551	0,9247
6	0,8095	0,9521
7	0,8776	0,9589
8	0,9184	0,9863
9	0,9252	---
10	0,9388	---
11	0,9456	---
12	0,9524	0,9932
14	0,9660	---
15	0,9796	---
19	0,9864	1,0000
22	0,9932	---
29	1,0000	---



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2089	0,3937
2	0,3924	0,6375
3	0,5570	0,7750
4	0,7089	0,8812
5	0,8038	0,9187
6	0,8228	0,9437
7	0,8881	0,9750
8	0,9177	0,9875
9	0,9367	1,0000
10	0,9494	---
11	0,9557	---
12	0,9684	---
13	0,9873	---
16	0,9937	---
18	1,0000	---

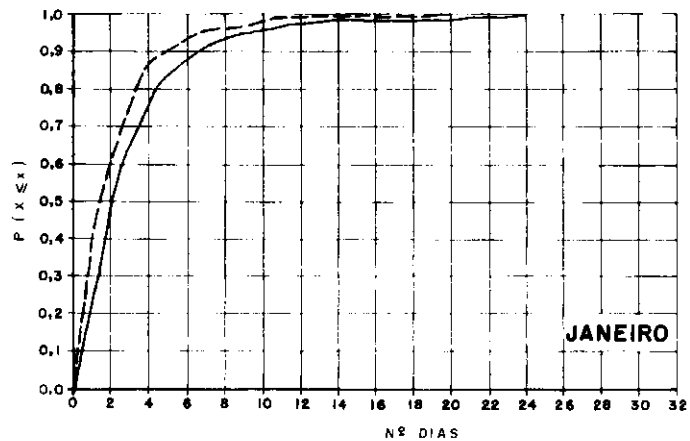


Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2190	0,3741
2	0,3869	0,6043
3	0,5912	0,7626
4	0,7299	0,8633
5	0,8175	0,9209
6	0,8394	0,9496
7	0,8813	0,9712
8	0,8905	0,9928
9	0,8978	---
10	0,9124	---
11	0,9343	---
12	0,9416	1,0000
13	0,9562	---
14	0,9781	---
16	0,9854	---
21	0,9927	---
42	1,0000	---

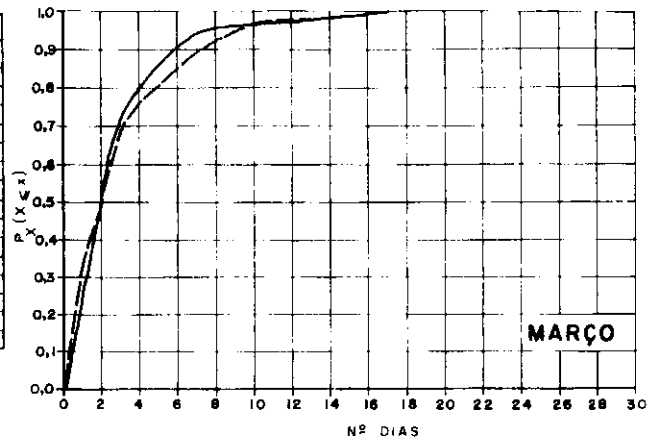
FIGURA B.2.3 - DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ACUMULADAS DO NÚMERO CONSECUTIVO DE DIAS CHUVOSOS E DE DIAS SECOS - BACIA DORIO PELOTAS ATÉ PASSO DO NANDES

OBS: AS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS QUE NÃO APARECEM NA TABELA FORAM OBTIDAS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR

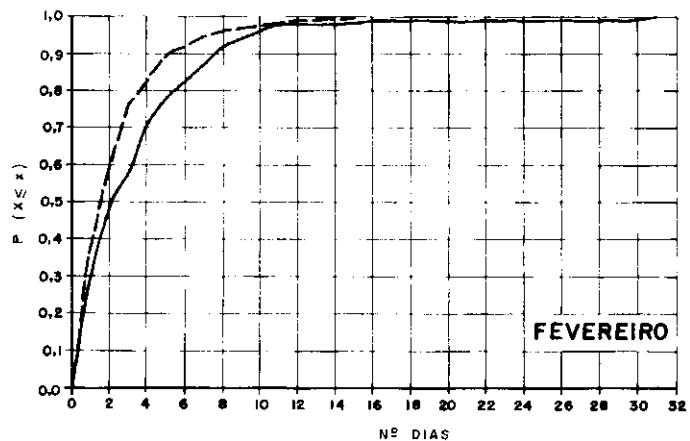
LEGENDA  
 ——— DIAS CHUVOSOS  
 - - - - DIAS SECOS



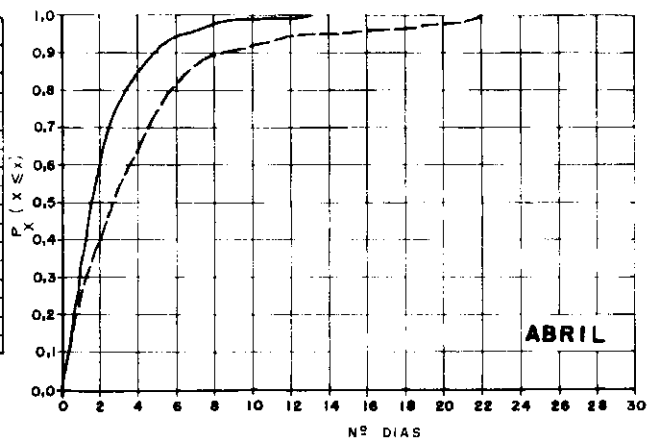
Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2682	0,4257
2	0,5028	0,6215
3	0,6704	0,7797
4	0,7598	0,8870
5	0,8436	0,9096
6	0,8827	0,9435
7	0,9218	0,9661
8	0,9385	---
9	0,9497	---
10	0,9609	0,9887
11	---	0,9944
12	0,9777	---
13	0,9888	---
20	0,9944	1,0000
24	1,0000	---



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2407	0,3684
2	0,5185	0,5265
3	0,7407	0,6901
4	0,8025	0,7719
5	0,8765	0,8129
6	0,9198	0,8596
7	0,9506	0,9064
8	0,9691	0,9357
9	---	0,9474
10	0,9753	0,9708
11	0,9815	---
12	0,9877	0,9825
13	---	0,9883
14	0,9938	0,9942
15	---	---
16	---	1,0000
17	1,0000	---



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,3106	0,3961
2	0,5155	0,5974
3	0,5963	0,7792
4	0,7267	0,8312
5	0,7764	0,9091
6	0,8261	0,9156
7	0,8920	0,9545
8	0,9255	0,9675
9	0,9441	0,9740
10	0,9627	0,9805
11	0,9876	0,9870
12	---	0,9935
13	---	1,0000
18	0,9938	---
31	1,0000	---

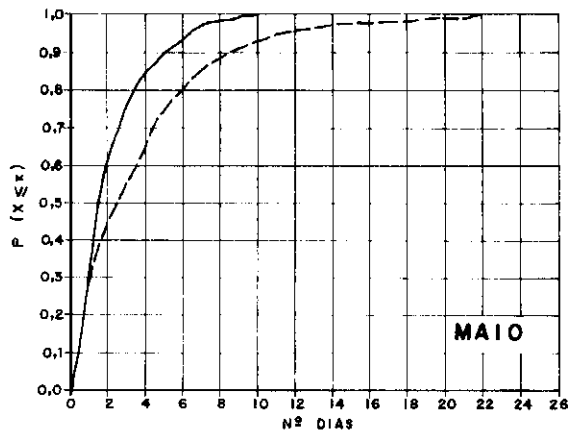


Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,3419	0,2825
2	0,6462	0,4125
3	0,7806	0,5687
4	0,8516	0,6563
5	0,9290	0,7562
6	0,9484	0,8250
7	0,9613	0,8687
8	0,9871	0,8937
9	0,9935	0,9125
10	---	0,9187
11	---	0,9375
12	---	0,9500
13	1,0000	0,9662
14	---	---
15	---	---
16	---	0,9625
17	---	0,9688
18	---	---
19	---	0,9750
20	---	0,9812
21	---	---
22	---	1,0000

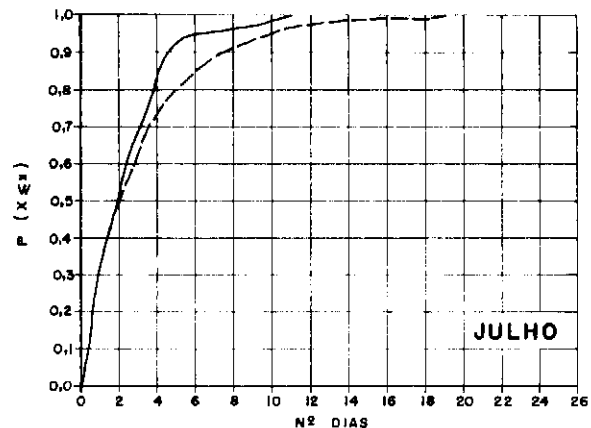
FIGURA B.3.1 - DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ACUMULADAS DO NÚMERO CONSECUTIVO DE DIAS CHUVOSOS E DE DIAS SECOS - BACIA DO RIO PASSO FUNDO ATÉ PASSO FUNDO

OBS.: AS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS QUE NÃO APARECEM NA TABELA FORAM OBTIDAS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR

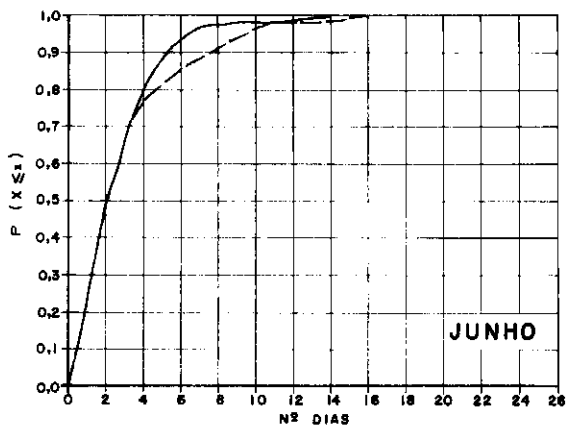
LEGENDA  
 — DIAS CHUVOSOS  
 - - - DIAS SECOS



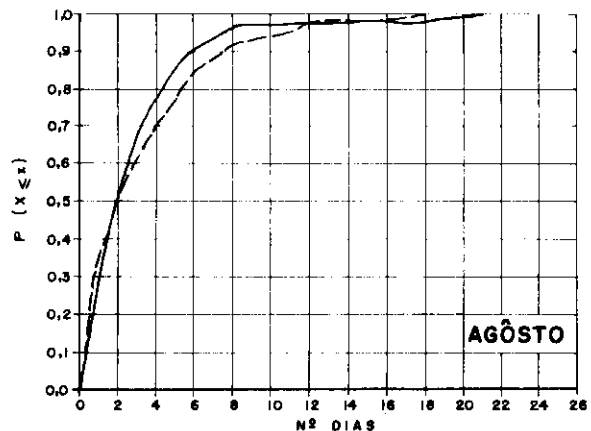
Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,3922	0,2813
2	0,6405	0,4562
3	0,7778	0,5687
4	0,8582	0,6563
5	0,9020	0,7562
6	0,9346	0,8000
7	0,9739	0,8500
8	0,9869	0,8937
9	0,9935	0,9187
10	1,0000	0,9375
11		0,9500
12		0,9625
13		0,9688
14		0,9750
17		0,9812
19		0,9937
22		1,0000



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,3353	0,3235
2	0,5685	0,5176
3	0,7168	0,6235
4	0,8555	0,7471
5	0,9308	0,8000
6	0,9485	0,8529
7	0,9538	0,8941
8	0,9653	0,9118
9	0,9711	0,9176
10	0,9884	0,9529
11	1,0000	0,9765
13		0,9824
14		0,9882
15		0,9941
19		1,0000



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2575	0,2787
2	0,5090	0,5094
3	0,6826	0,6667
4	0,8084	0,7736
5	0,9042	0,8176
6	0,9401	0,8616
7	0,9701	0,8679
8	0,9760	0,9119
9		0,9497
10	0,9880	0,9686
11		0,9811
13	0,9940	0,9874
14	1,0000	
15		0,9937
16		1,0000

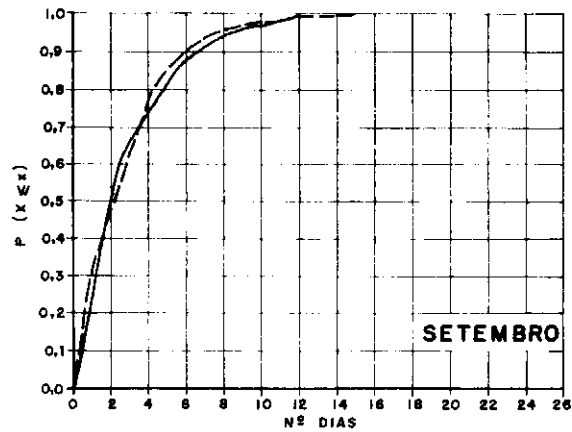


Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2875	0,3416
2	0,5250	0,4907
3	0,6750	0,6211
4	0,7875	0,7081
5	0,8687	0,7764
6	0,9125	0,8634
7	0,9437	0,8944
8	0,9750	0,9255
9		0,9317
11		0,9503
12	0,9812	0,9814
13		0,9938
18	0,9875	1,0000
19	0,9937	
21	1,0000	

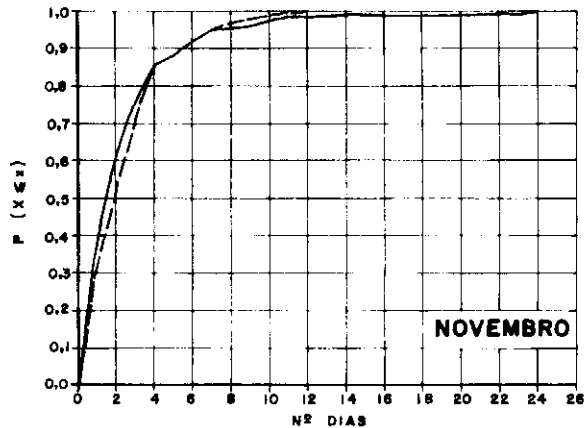
FIGURA B.3.2 - DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ACUMULADAS DO NÚMERO CONSECUTIVO DE DIAS CHUVOSOS E DE DIAS SECOS - BACIA DO RIO PASSO FUNDO ATÉ PASSO FUNDO

OBS.: AS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS QUE NÃO APARECEM NA TABELA FORAM OBTIDAS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR

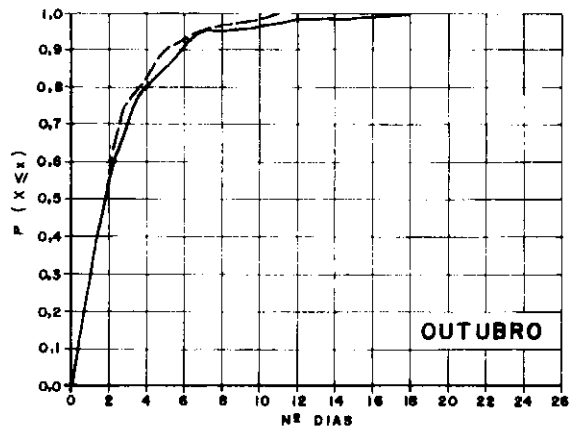
LE GENDA  
 — DIAS CHUVOSOS  
 - - - DIAS SECOS



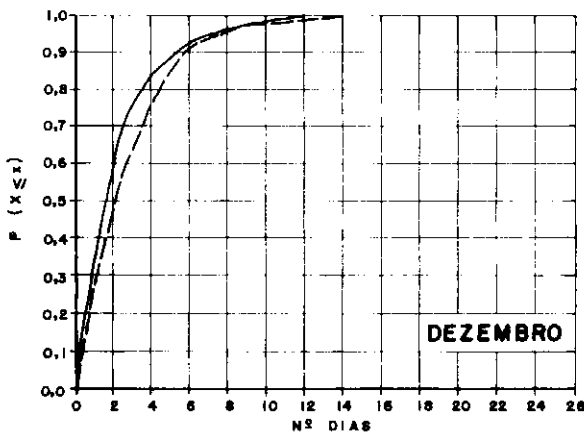
Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2547	0,3270
2	0,5280	0,4843
3	0,6770	0,6226
4	0,7453	0,7736
5	0,8199	0,8679
6	0,8820	0,9119
7	0,9193	0,9497
8	0,9441	0,9623
9	0,9627	0,9686
10	0,9689	0,9874
11	0,9752	—
12	1,0000	0,9937
16	—	1,0000



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,4221	0,3262
2	0,6432	0,5401
3	0,7789	0,7112
4	0,8643	0,8503
5	0,8995	0,8824
6	0,9296	0,9251
7	0,9548	0,9485
8	0,9598	0,9733
9	0,9848	0,9893
10	0,9799	0,9947
11	0,9849	—
12	—	1,0000
16	0,9899	—
19	0,9950	—
24	1,0000	—



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,3280	0,3422
2	0,5914	0,5668
3	0,7634	0,7219
4	0,8387	0,8128
5	0,9140	0,8556
6	0,9355	0,9144
7	0,9570	0,9519
8	—	0,9679
9	0,9624	0,9786
10	0,9731	0,9893
11	0,9785	1,0000
12	0,9839	—
15	0,9892	—
16	0,9946	—
18	1,0000	—



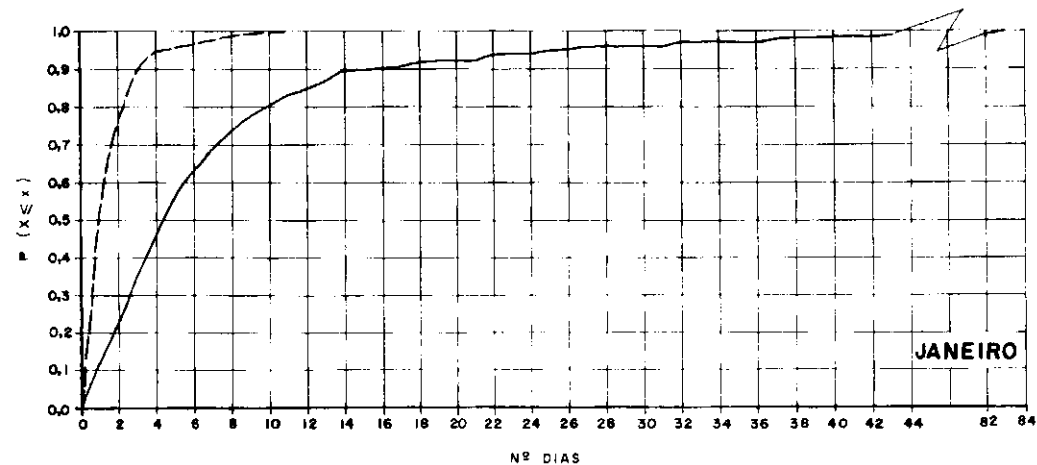
Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,3728	0,2707
2	0,5917	0,4972
3	0,7692	0,6464
4	0,8462	0,7569
5	0,8935	0,8508
6	0,9349	0,9116
7	0,9527	0,9448
8	0,9645	0,9558
9	0,9622	0,9724
10	—	0,9890
11	0,9941	—
12	1,0000	—
14	—	0,9945
18	—	1,0000

**FIGURA B.3.3 - DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ACUMULADAS DO NÚMERO CONSECUTIVO DE DIAS CHUVOSOS E DE DIAS SECOS - BACIA DO RIO PASSO FUNDO ATÉ PASSO FUNDO**

OBS: AS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS QUE NÃO APARECEM NA TABELA FORAM OBTIDAS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR

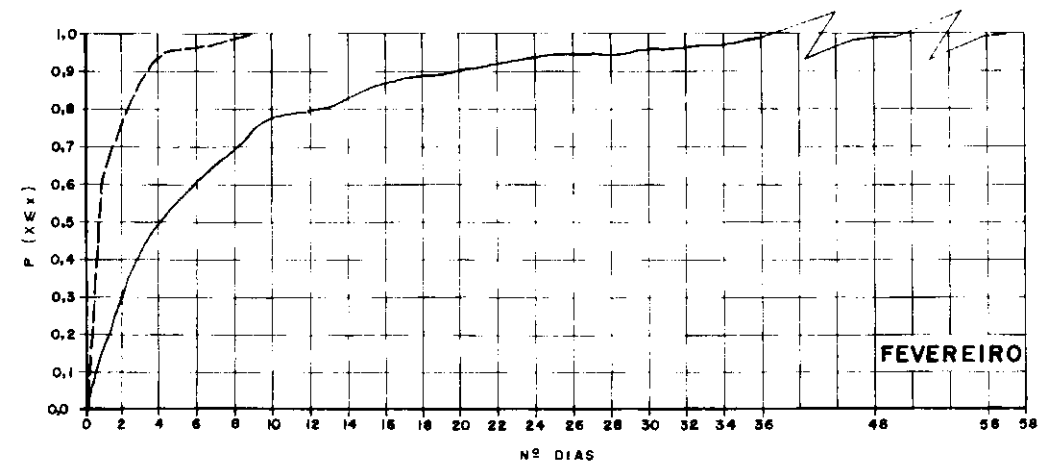
LEGENDA

— DIAS CHUVOSOS  
 - - - DIAS SECOS



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,1382	0,3461
2	0,2500	0,7632
3	0,3684	0,9079
4	0,4737	0,9474
5	0,5789	—
6	0,6447	0,9671
7	0,6908	0,9737
8	0,7434	0,9868
9	0,7829	0,9934
10	0,8026	—
11	0,8355	1,0000
12	0,8487	—
13	0,8750	—
14	0,9013	—
16	0,9079	—
18	0,9211	—

Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
20	0,9276	—
22	0,9408	—
25	0,9539	—
27	0,9605	—
32	0,9737	—
37	0,9803	—
39	0,9868	—
43	0,9934	—
83	1,0000	—



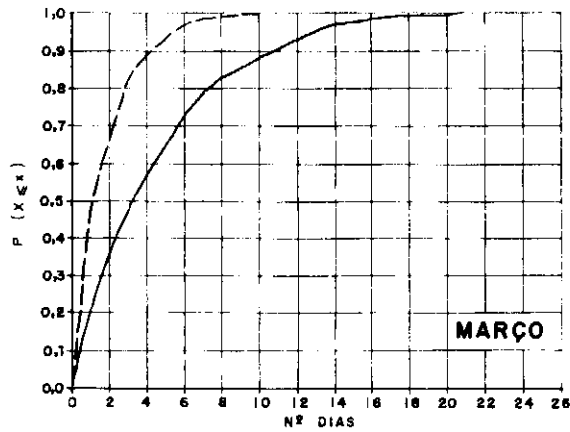
Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,1783	0,6183
2	0,3023	0,7557
3	0,4264	0,8626
4	0,5039	0,9313
5	0,5659	0,9542
6	0,6047	0,9618
7	0,6389	0,9693
8	0,6977	0,9847
9	0,7597	1,0000
10	0,7829	—
13	0,8062	—
14	0,8372	—
15	0,8527	—
16	0,8760	—
17	0,8837	—
18	0,8992	—

Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
20	0,9147	—
22	0,9225	—
23	0,9302	—
24	0,9457	—
29	0,9535	—
30	0,9612	—
32	0,9690	—
34	0,9767	—
35	0,9845	—
48	0,9922	—
57	1,0000	—

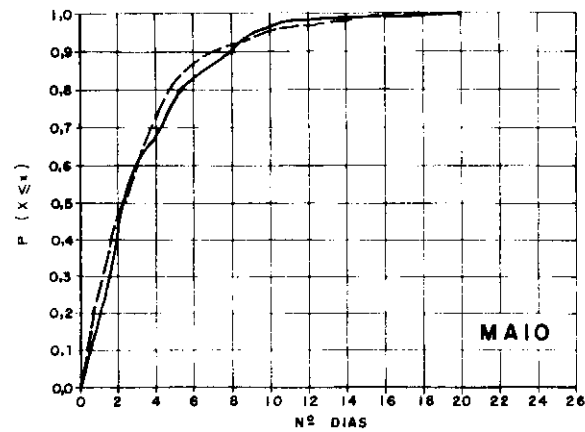
FIGURA B.4.1 - DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ACUMULADAS DO NÚMERO CONSECUTIVO DE DIAS CHUVOSOS E DE DIAS SECOS - BACIA DO RIO URUGUAI ATÉ ITA

OBS.: AS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS QUE NÃO APARECEM NA TABELA FORAM OBTIDAS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR

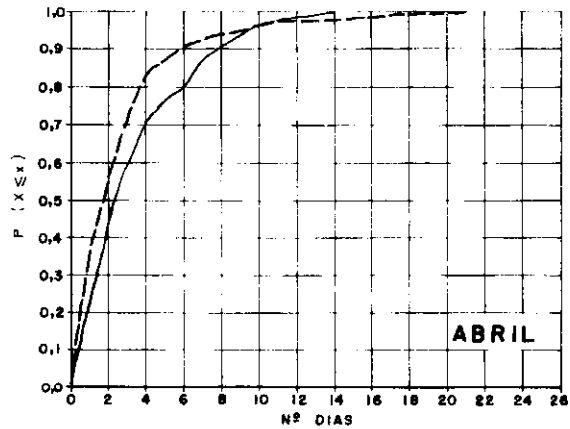
LEGENDA  
 — DIAS CHUVOSOS  
 - - - DIAS SECOS



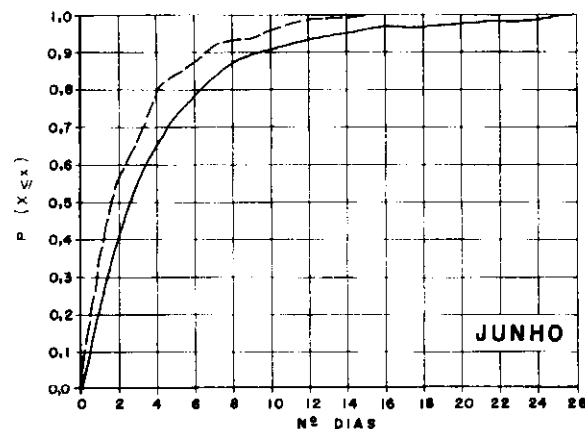
Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2099	0,4973
2	0,3591	0,6684
3	0,4807	0,8289
4	0,5746	0,8984
5	0,6464	0,9305
6	0,7348	0,9733
7	0,7901	0,9840
8	0,8343	0,9947
9	0,8808	
10	0,8895	1,0000
11	0,9061	
12	0,9392	
13	0,9558	
14	0,9724	
15	0,9779	
16	0,9834	
17	0,9890	
18	0,9945	
21	1,0000	



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2077	0,2979
2	0,4317	0,4767
3	0,6284	0,6117
4	0,6885	0,7340
5	0,7923	0,8351
6	0,8415	0,8723
7	0,8743	0,9086
8	0,9126	0,9202
9	0,9583	0,9362
10	0,9672	0,9521
11	0,9891	0,9681
13	0,9945	0,9734
14		0,9787
15		0,9840
16		0,9894
17		1,0000
20	1,0000	



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2500	0,3719
2	0,4479	0,5528
3	0,6042	0,7387
4	0,7135	0,8442
5	0,7760	0,8794
6	0,8021	0,9196
7	0,8854	
8	0,9115	0,9447
9	0,9427	0,9598
10	0,9583	0,9698
11	0,9740	0,9749
12	0,9896	
13	0,9948	
14	1,0000	0,9799
15		0,9849
17		0,9899
18		0,9950
21		1,0000

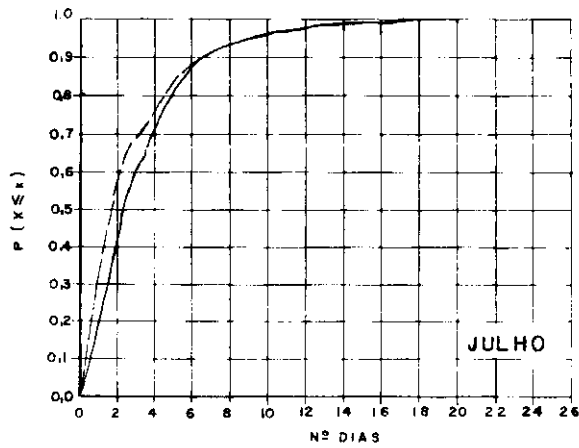


Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2116	0,3333
2	0,4233	0,5847
3	0,5661	0,6667
4	0,6508	0,8033
5	0,7302	0,8415
6	0,7831	0,8743
7	0,8307	0,9235
8	0,8783	0,9344
9	0,8995	0,9399
10	0,9101	0,9617
11	0,9259	0,9727
12	0,9312	0,9836
13	0,9471	0,9945
14	0,9577	
15	0,9630	1,0000
16	0,9683	
18	0,9735	
19	0,9788	
20	0,9841	
24	0,9894	
25	0,9947	
26	1,0000	

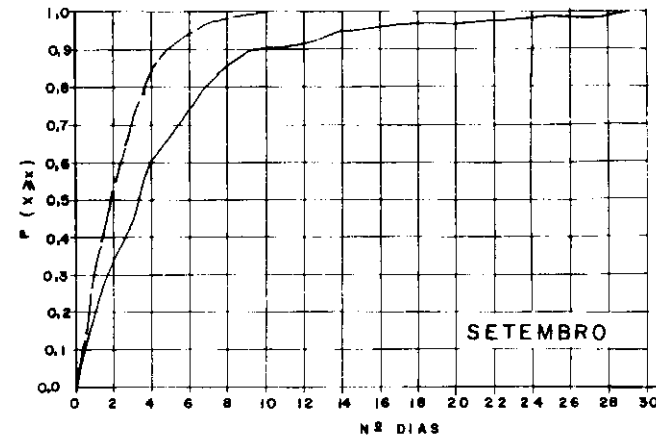
**FIGURA B.4.2 - DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ACUMULADAS DO NÚMERO CONSECUTIVO DE DIAS CHUVOSOS E DE DIAS SECOS - BACIA DO RIO URUGUAI ATÉ ITÁ**

OBS: AS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS QUE NÃO APARECEM NA TABELA FORAM OBTIDAS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR

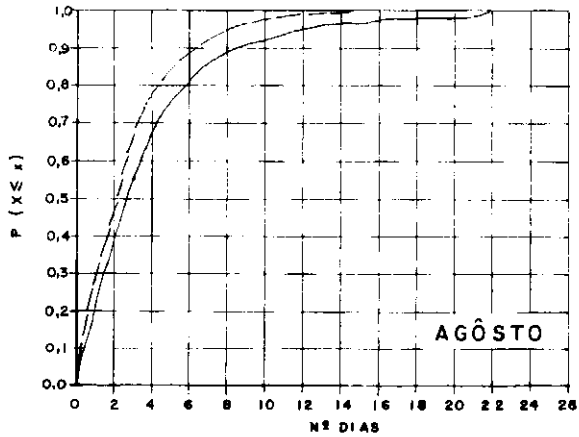
**LEGENDA**  
 — DIAS CHUVOSOS  
 - - - DIAS SECOS



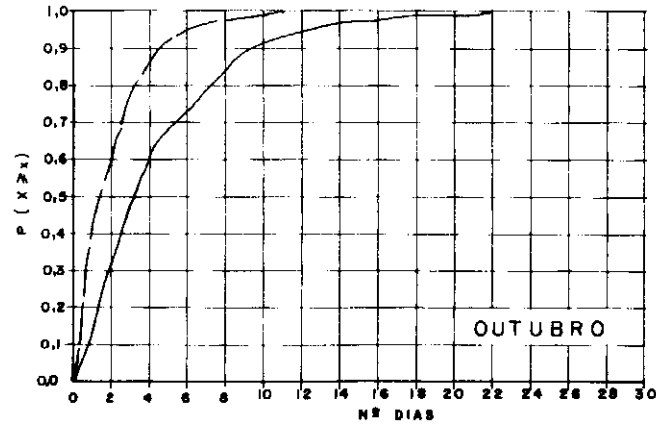
Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,1823	0,3351
2	0,4375	0,5928
3	0,6146	0,7010
4	0,7396	0,7680
5	0,8177	0,8337
6	0,8802	0,8969
7	0,9271	0,9175
8	0,9375	0,9433
9	0,9531	0,9639
10	0,9635	0,9691
11	0,9740	0,9742
12	0,9896	0,9485
13	0,9948	0,9897
15	—	0,9948
18	—	1,0000
19	1,0000	—



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2099	0,3333
2	0,3591	0,5238
3	0,4530	0,7282
4	0,6133	0,8571
5	0,6851	0,9167
6	0,7569	0,9464
7	0,8122	0,9702
8	0,8674	0,9881
9	0,8950	0,9940
10	0,9006	1,0000
11	0,9061	—
12	0,9116	—
13	0,9337	—
14	0,9558	—
16	0,9613	—
18	0,9669	—
21	0,9779	—
22	0,9834	—
24	0,9890	—
28	0,9945	—
29	1,0000	—



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2234	0,2684
2	0,4096	0,4632
3	0,5479	0,6421
4	0,6596	0,7737
5	0,7606	0,8474
6	0,8191	0,8947
7	0,8777	0,9211
8	0,8989	0,9526
9	0,9202	0,9737
10	0,9309	0,9789
11	0,9468	0,9895
12	0,9628	0,9947
14	0,9734	—
15	—	1,0000
16	0,9787	—
17	0,9840	—
18	0,9894	—
22	1,0000	—



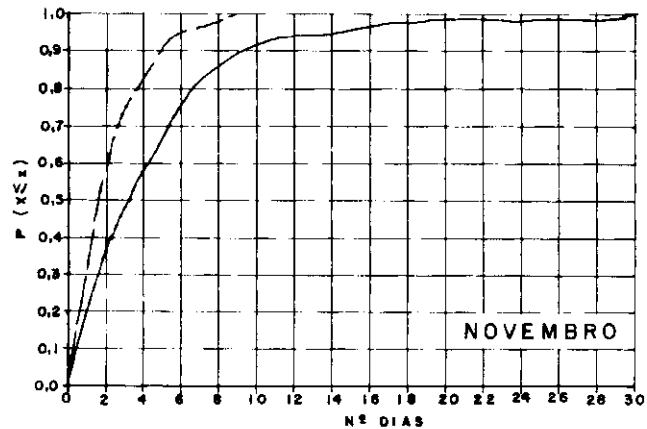
Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,1186	0,4205
2	0,3402	0,6359
3	0,4897	0,7590
4	0,6237	0,8821
5	0,6959	0,9385
6	0,7371	0,9487
7	0,7938	0,9795
8	0,8608	—
9	0,8866	0,9846
10	0,9124	0,9949
11	0,9278	1,0000
12	0,9485	—
13	0,9639	—
14	0,9742	—
15	0,9794	—
17	0,9897	—
18	0,9748	—
22	1,0000	—

FIGURA B.4.3 - DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ACUMULADAS DO NÚMERO CONSECUTIVO DE DIAS CHUVOSOS E DE DIAS SECOS - BACIA DO RIO URUGUAI ATÉ ITÁ

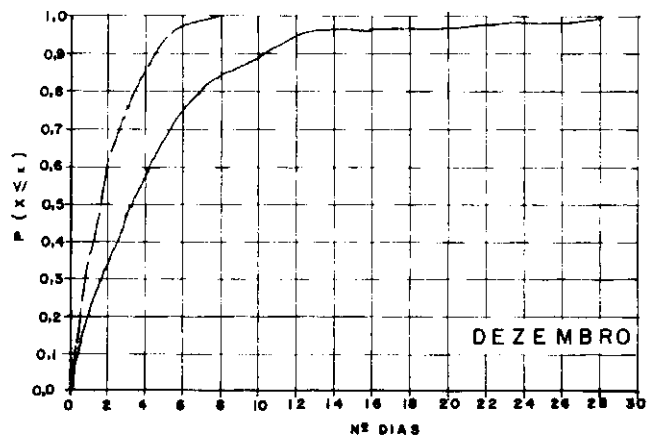
OBS.: AS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS QUE NÃO APARECEM NA TABELA FORAM OBTIDAS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR

LEGENDA  
 — DIAS CHUVOSOS  
 - - - DIAS SECOS





Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2054	0,3481
2	0,3730	0,5967
3	0,4757	0,7514
4	0,5946	0,8343
5	0,6703	0,9227
6	0,7730	0,9558
7	0,8108	0,9669
8	0,8649	0,9834
9	0,8811	1,0000
10	0,9243	
11	0,9297	
12	0,9459	
14	0,9568	
15	0,9676	
16	0,9730	
17	0,9784	
19	0,9838	
23	0,9892	
29	0,9946	
30	1,0000	



Nº DIAS	P (X ≤ x)	
	DIAS CHUVOSOS	DIAS SECOS
1	0,2155	0,3667
2	0,3702	0,6167
3	0,4751	0,7722
4	0,5912	0,8667
5	0,6851	0,9444
6	0,7514	0,9889
7	0,8122	0,9944
8	0,8398	1,0000
9	0,8674	
10	0,8895	
11	0,9227	
12	0,9503	
13	0,9613	
15	0,9669	
19	0,9724	
20	0,9779	
21	0,9834	
22	0,9890	
23	0,9945	
28	1,0000	

FIGURA B.4.4 - DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ACUMULADAS DO NÚMERO CONSECUTIVO DE DIAS CHUVOSOS E DE DIAS SECOS - BACIA DO RIO URUGUAI ATÉ ITÁ

OBS.: AS FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS QUE NÃO APARECEM NA TABELA FORAM OBTIDAS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR

LEGENDA  
 ——— DIAS CHUVOSOS  
 - - - DIAS SECOS

## APÊNDICE C

CURVAS EMPÍRICAS E TEÓRICAS DAS FREQUÊNCIAS RELATIVAS  
ACUMULADAS DAS PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS

ESQUEMA DE NUMERAÇÃO DAS FIGURAS: x.y.z

x - relativo ao apêndice

y - relativo à bacia hidrográfica

1 - Canoas

2 - Pelotas

3 - Passo Fundo

4 - Uruguai

z - número da figura

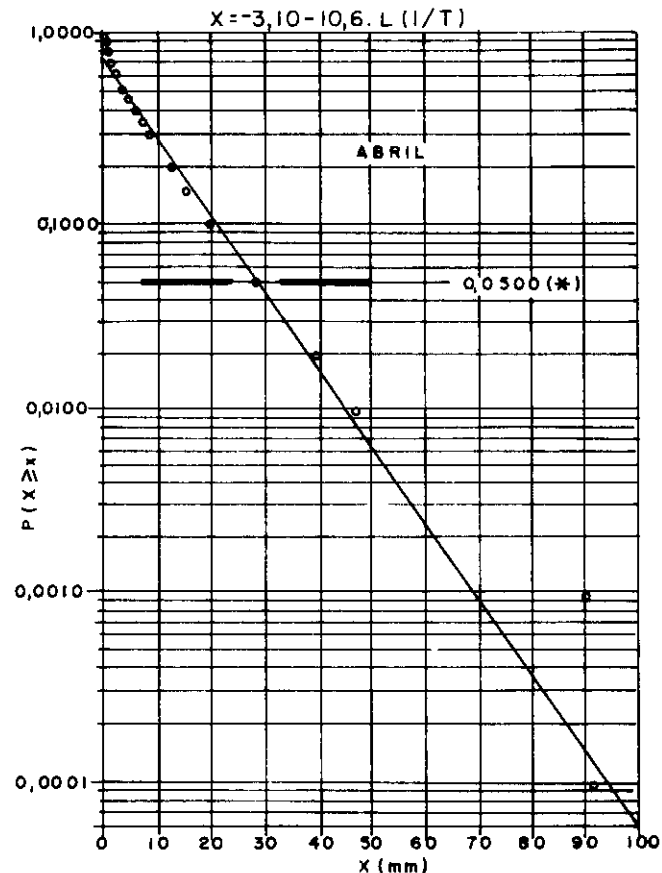
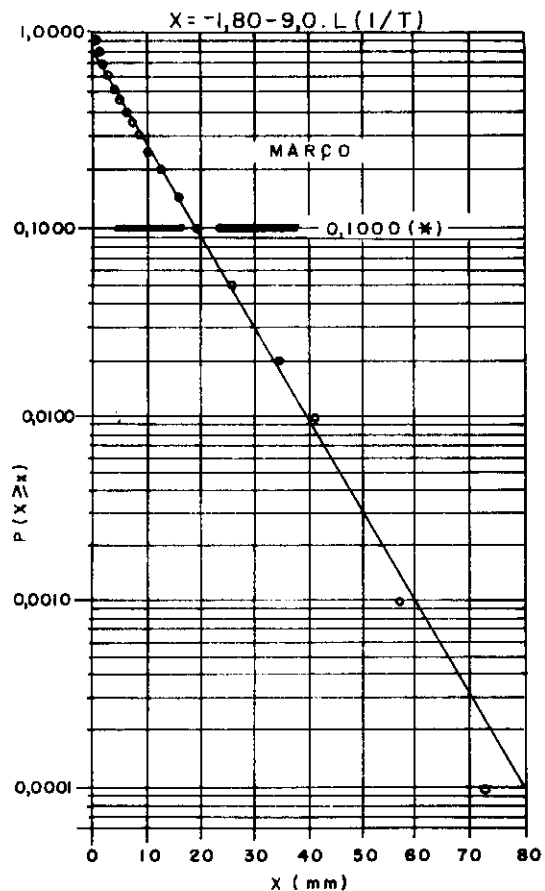
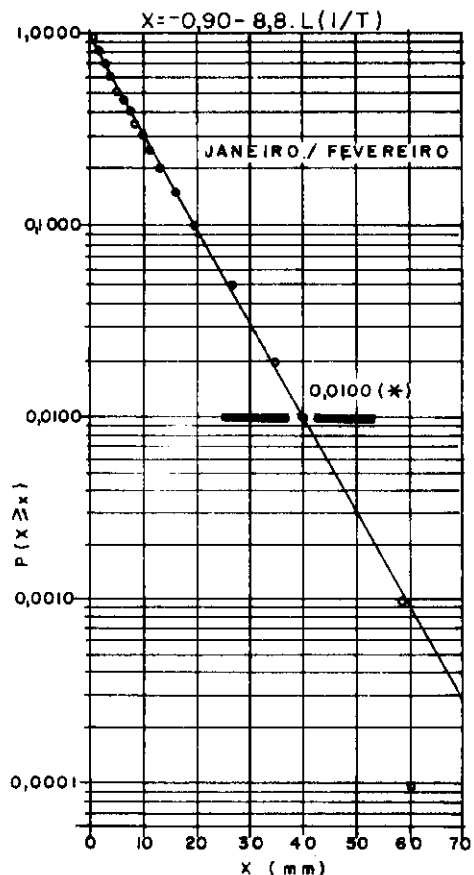


FIGURA C.1.1 — DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS — BACIA DO RIO CANOAS ATÉ COLÔNIA SANTANA  
PERÍODO DOS DADOS: 1925 a 1986

(\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.

$I/T = P(X \geq x)$

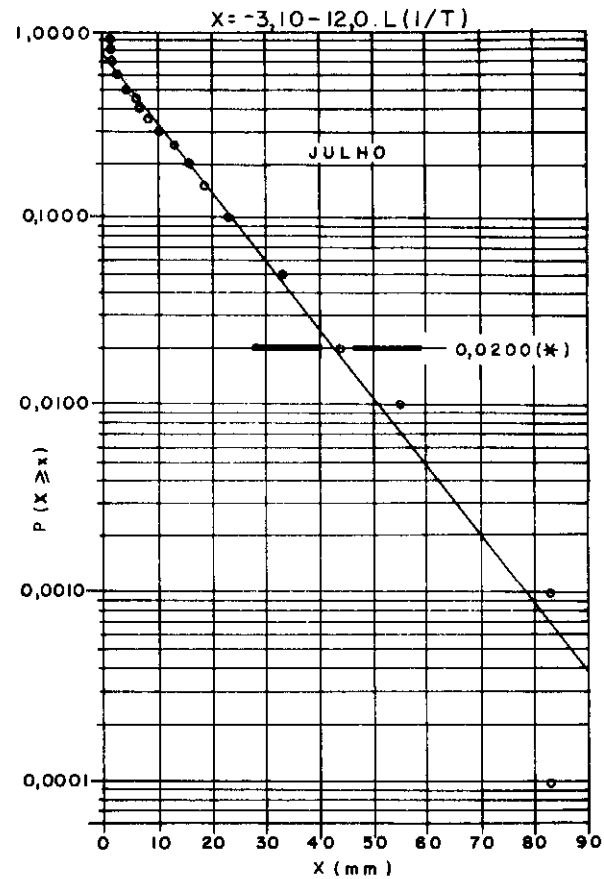
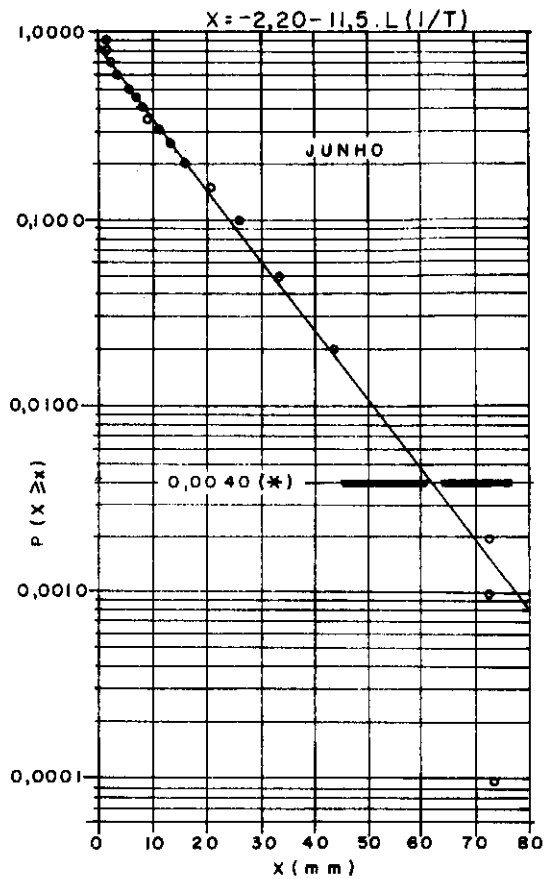
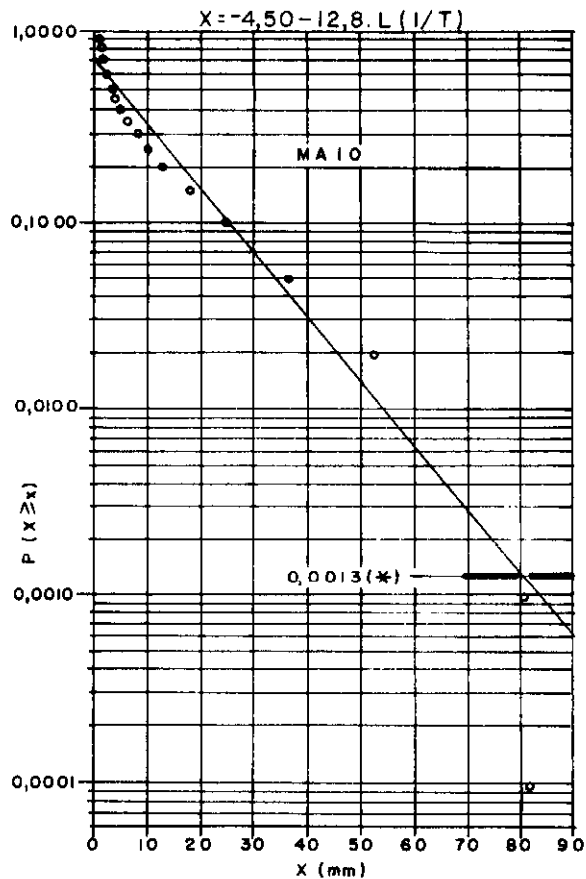


FIGURA C.1.2 — DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS — BACIA DO RIO CANOAS ATÉ COLÔNIA SANTANA  
 PERÍODO DOS DADOS: 1925 a 1986  
 (\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO  
 UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.  
 $1/T = P(X \geq x)$

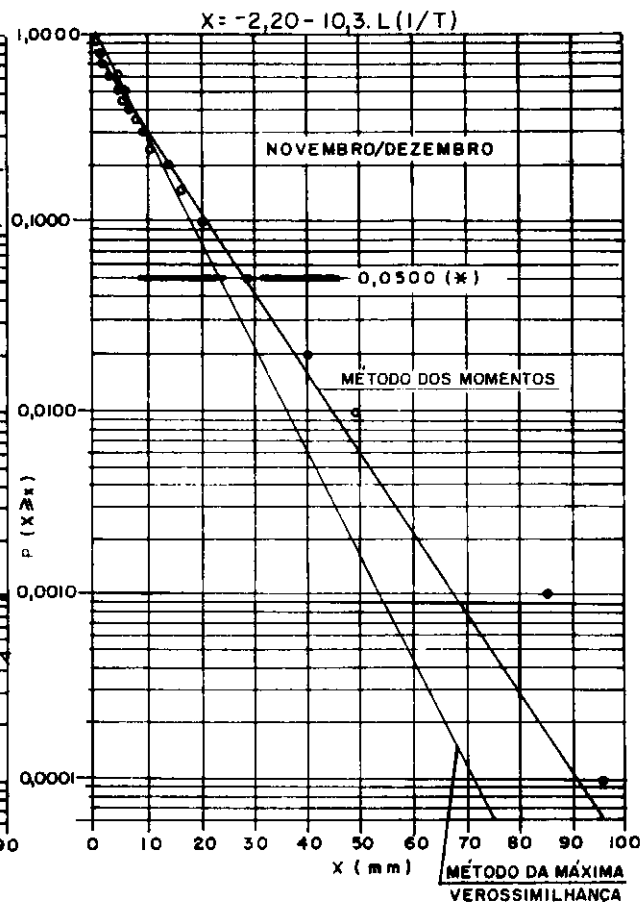
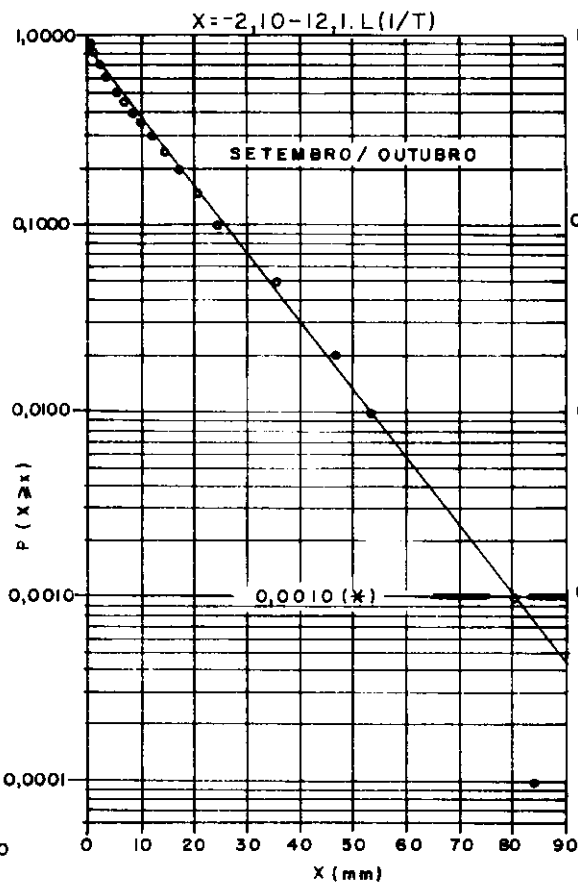
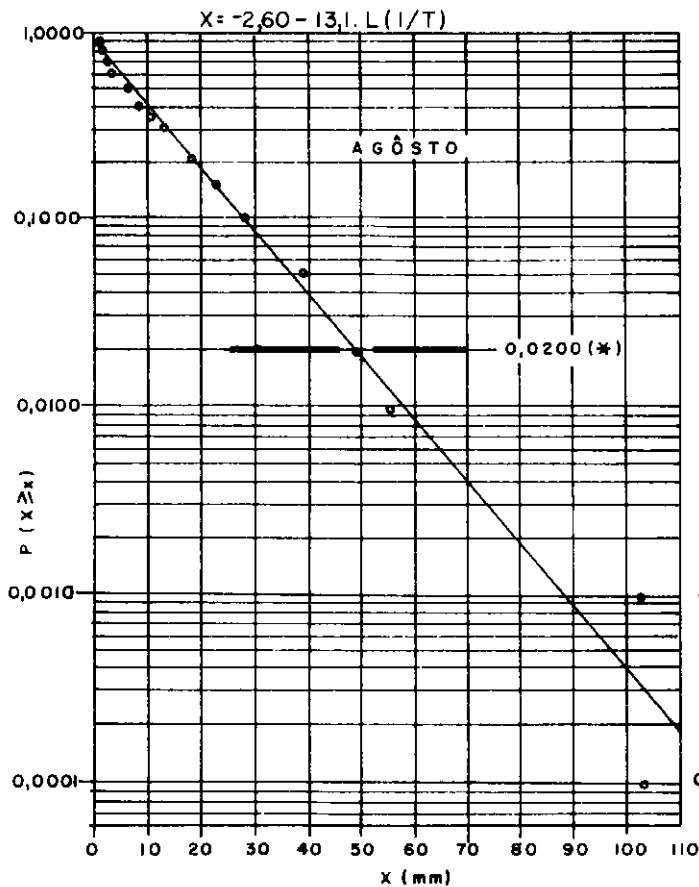


FIGURA C.1.3 - DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS - BACIA DO RIO CANOAS ATÉ COLÔNIA SANTANA

PERÍODO DOS DADOS: 1925 a 1986

(\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.

$I/T = P ( X \geq x )$

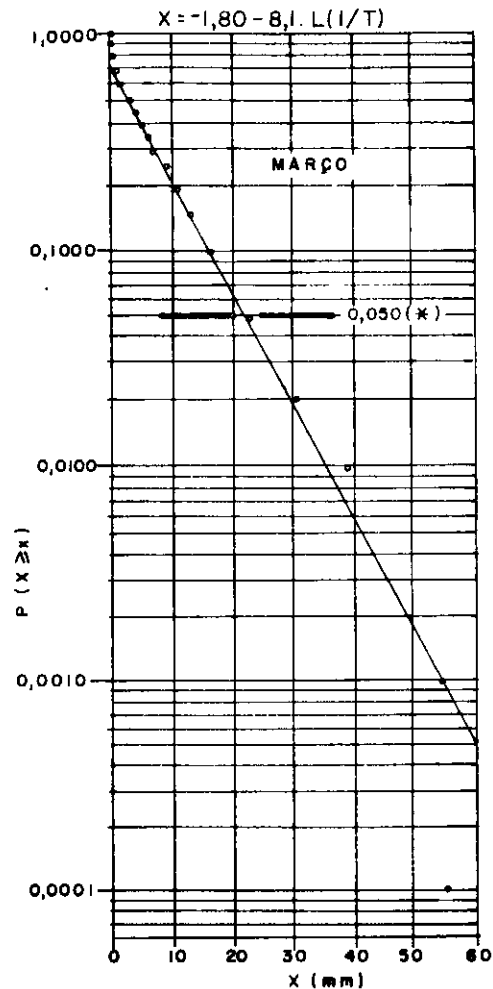
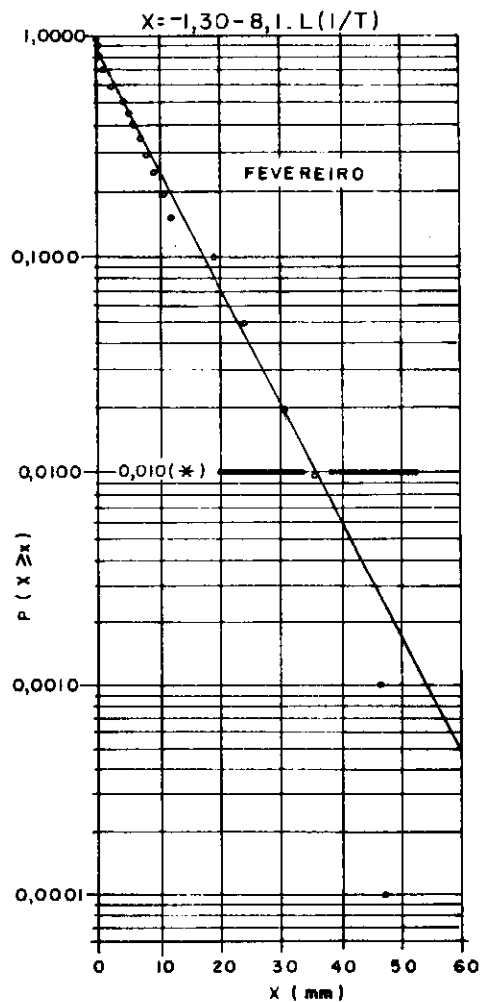
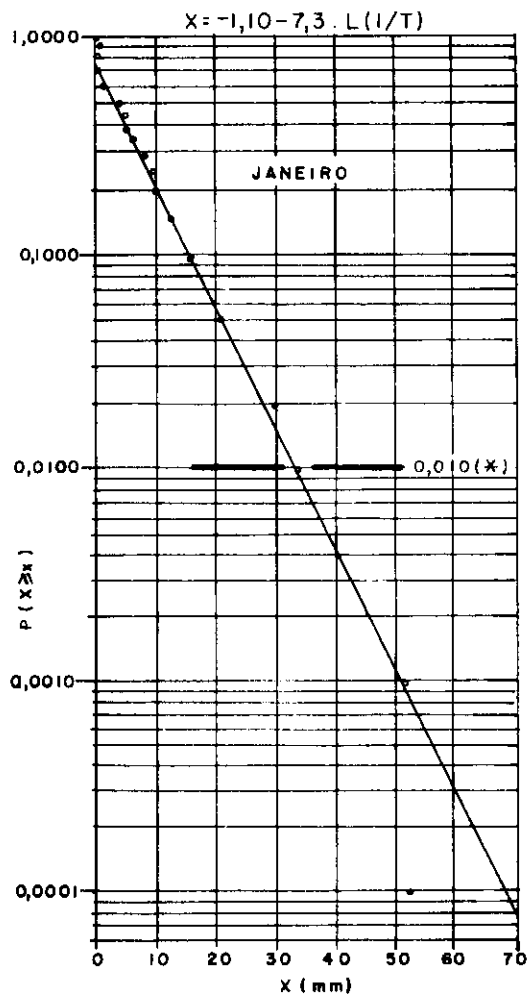


FIGURA C. 2.1 — DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS — BACIA DO RIO PELOTAS ATÉ PASSO DO NANDES PERÍODO DOS DADOS 1952 a 1983

(\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.  $I/T = P (X \geq x)$

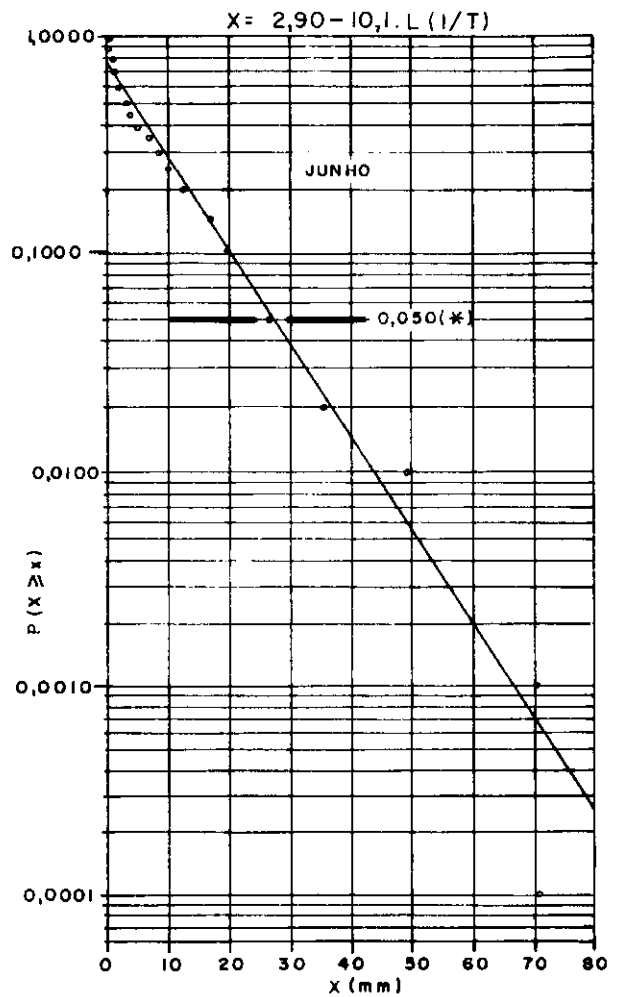
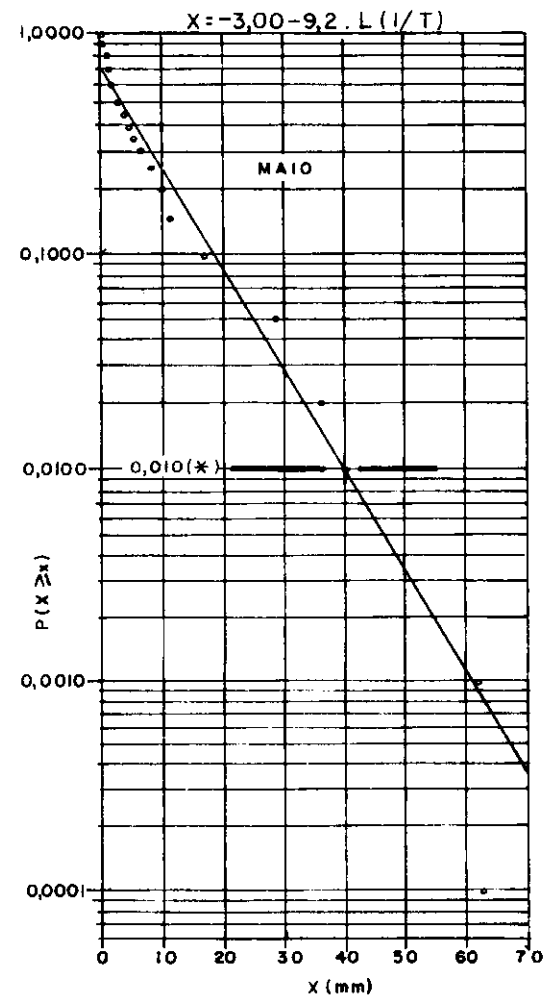
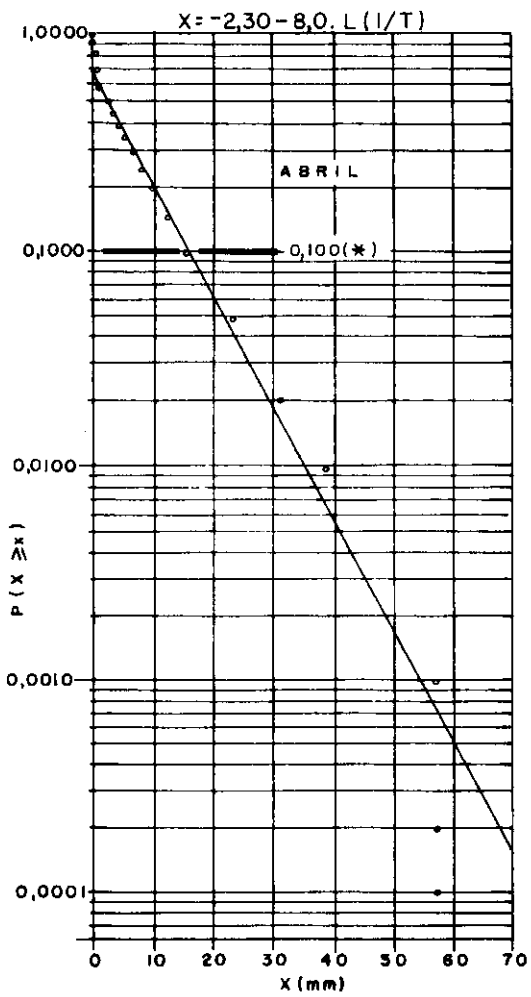


FIGURA C.2.2 — DISTRIBUIÇÃO ACUMULADAS DAS CHUVAS DIÁRIAS — BACIA DO RIO PELotas ATÉ PASSO DO NANDES PERIODO DOS DADOS 1952 a 1983.  
 (\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.  $I/T = P(X \geq x)$

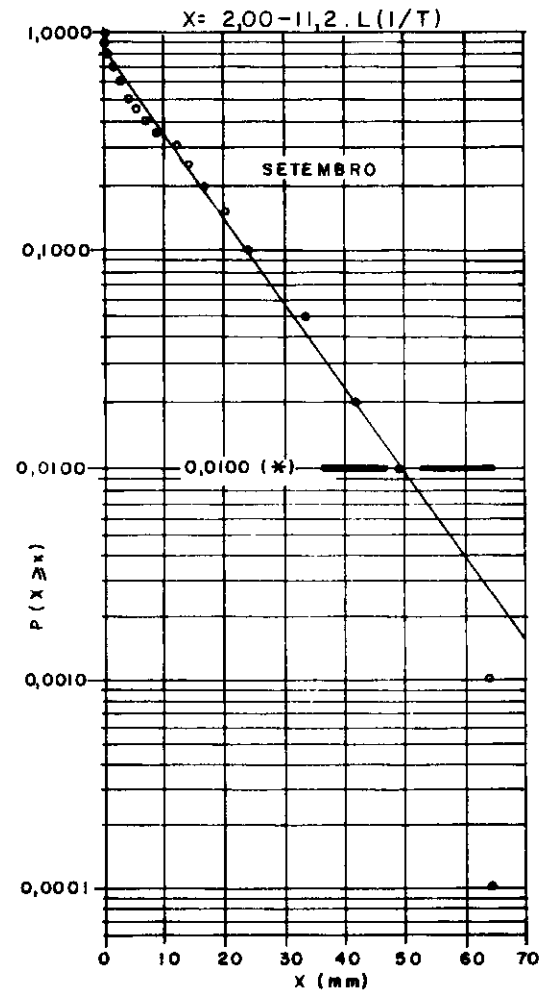
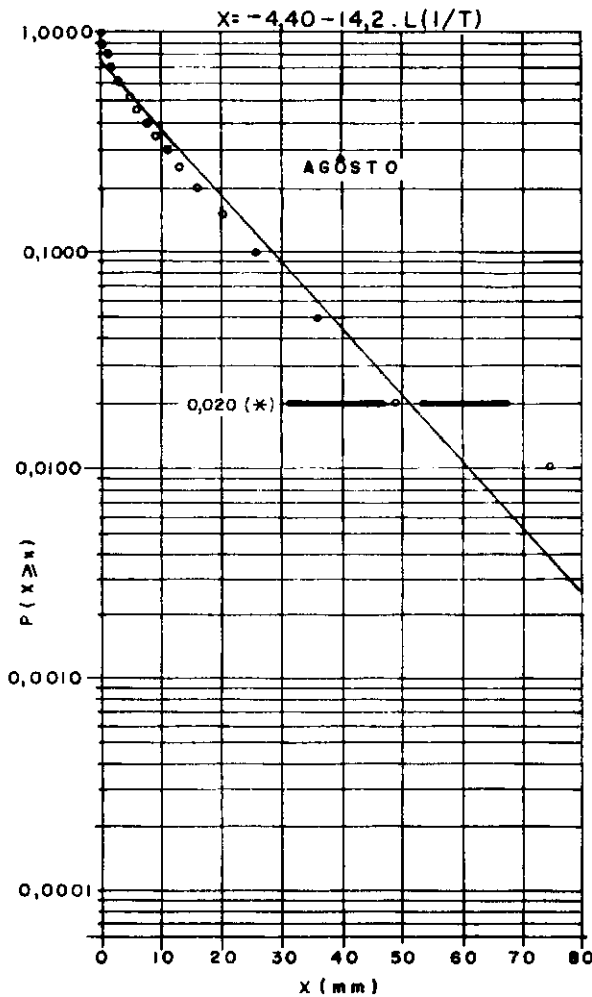
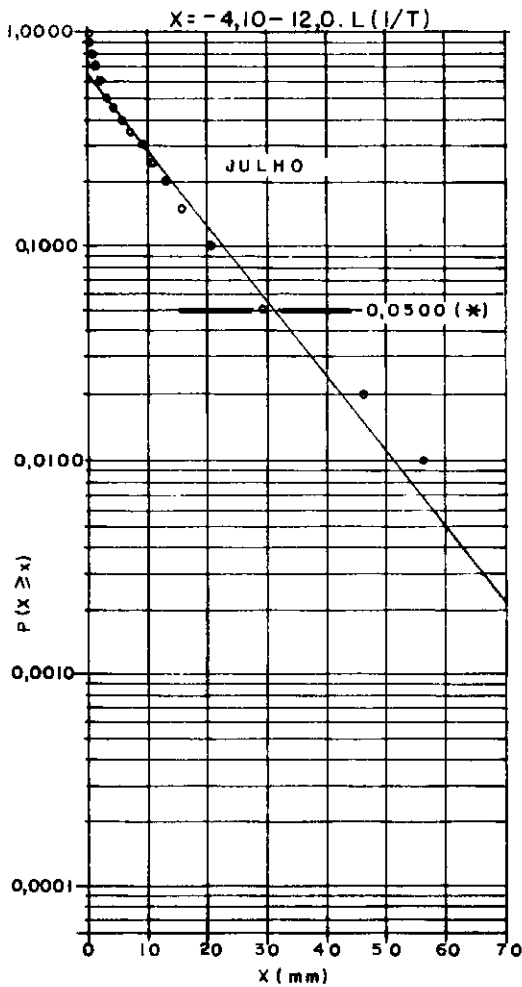


FIGURA C.2.3 - DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS - BACIA DORIO PELotas ATÉ PASSO DO NANDES  
 PERÍODO DOS DADOS 1952 a 1983  
 (\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO  
 UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.  
 $1/T = P(X \geq x)$



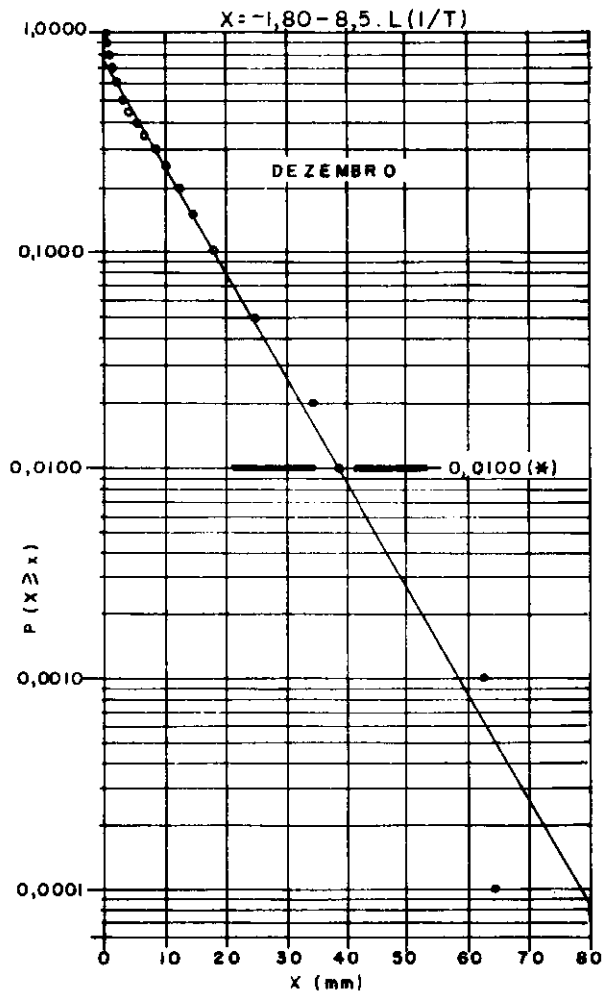
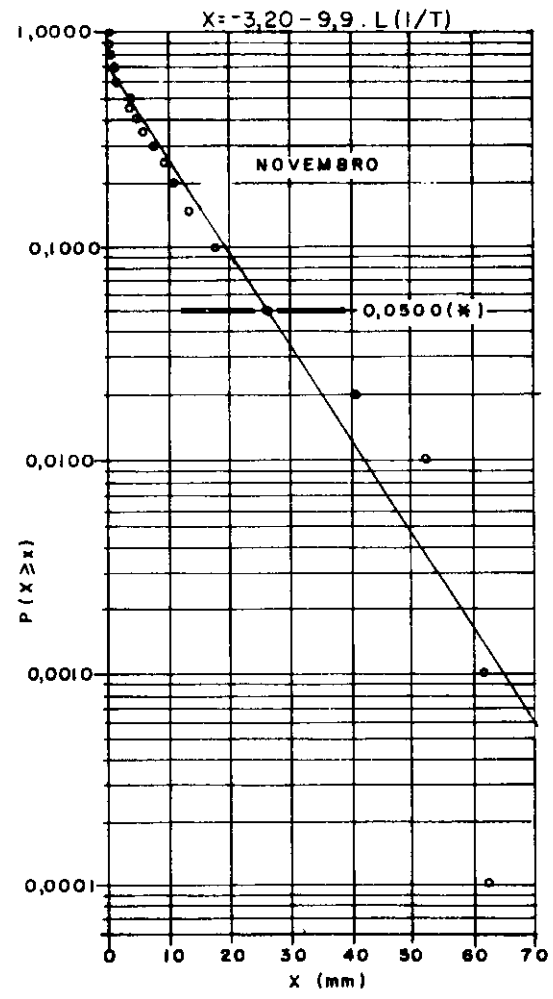
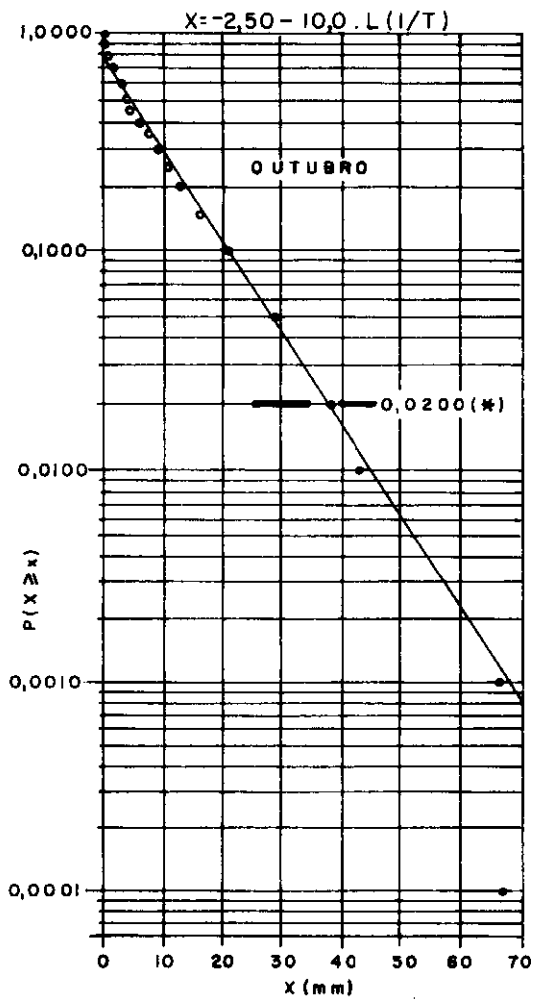


FIGURA C. 2.4 — DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS — BACIA DO RIO PELOTAS ATÉ PASSO DO NANDES PERIODOS DOS DADOS 1952 a 1983

(\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.  $I/T = P(X \geq x)$

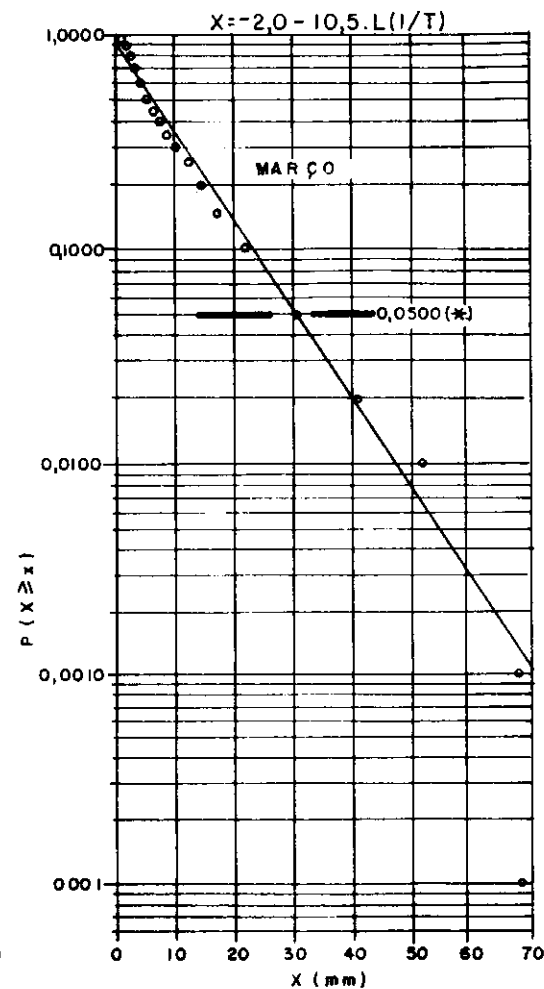
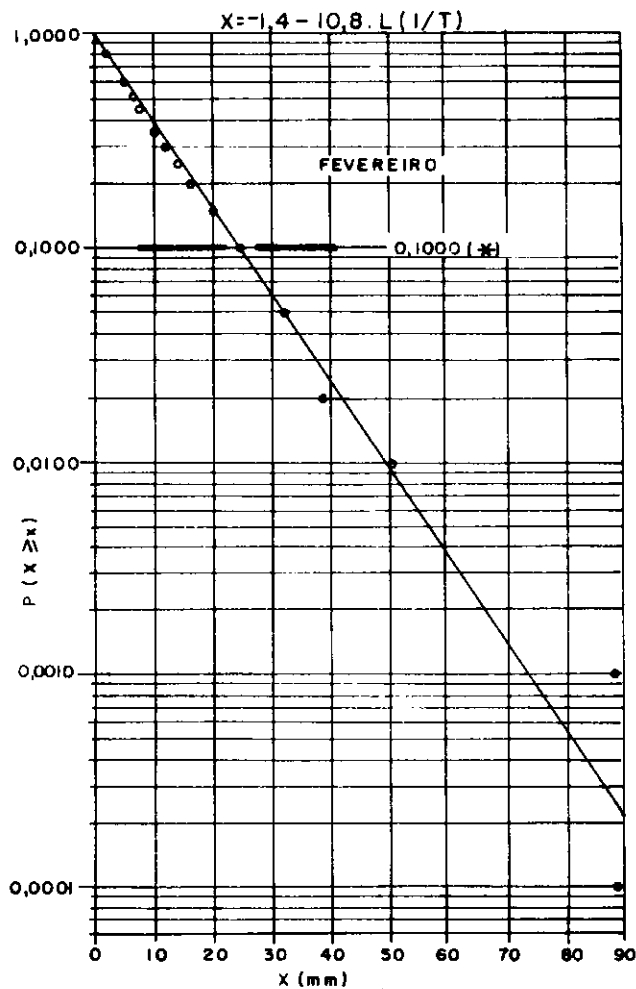
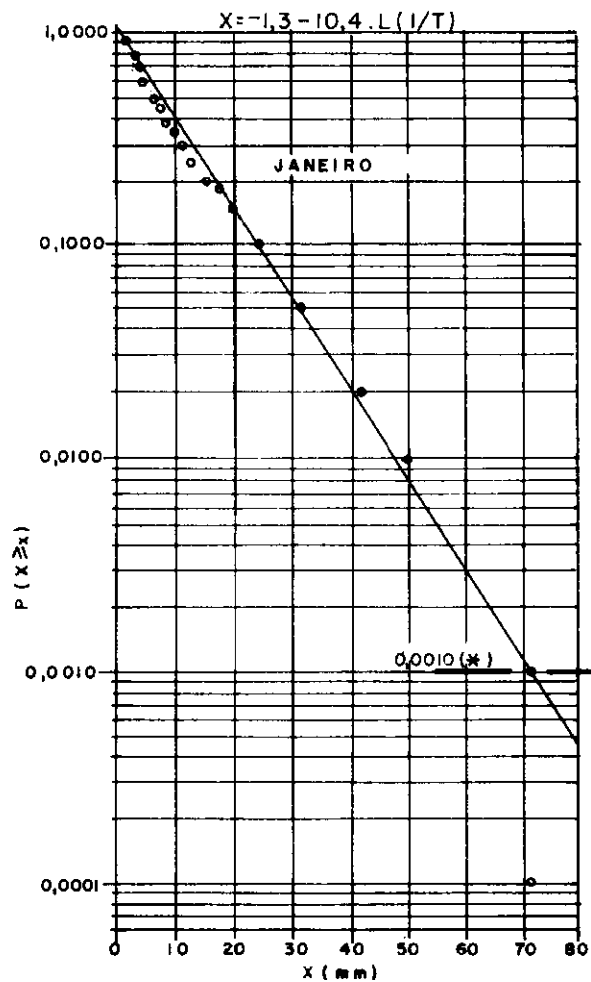


FIGURA C.3.1 — DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS — BACIA DO RIO PASSO FUNDO ATÉ PASSO FUNDO PERÍODO DOS DADOS 1950 a 1984.

(\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.  $1/T = P(X \geq x)$

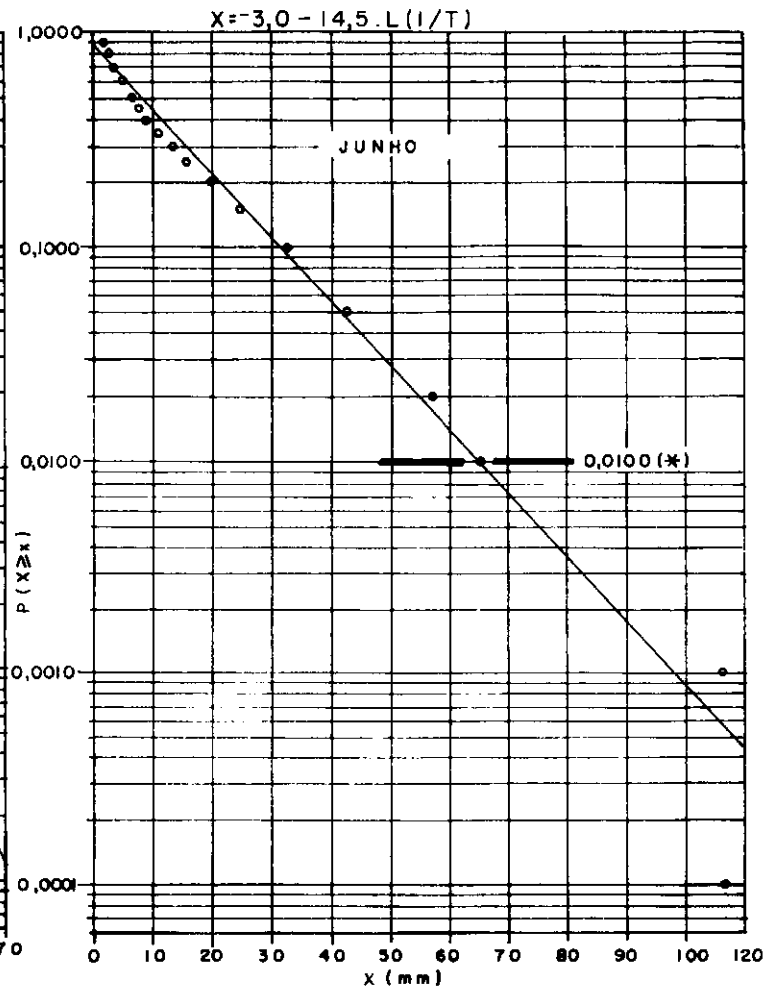
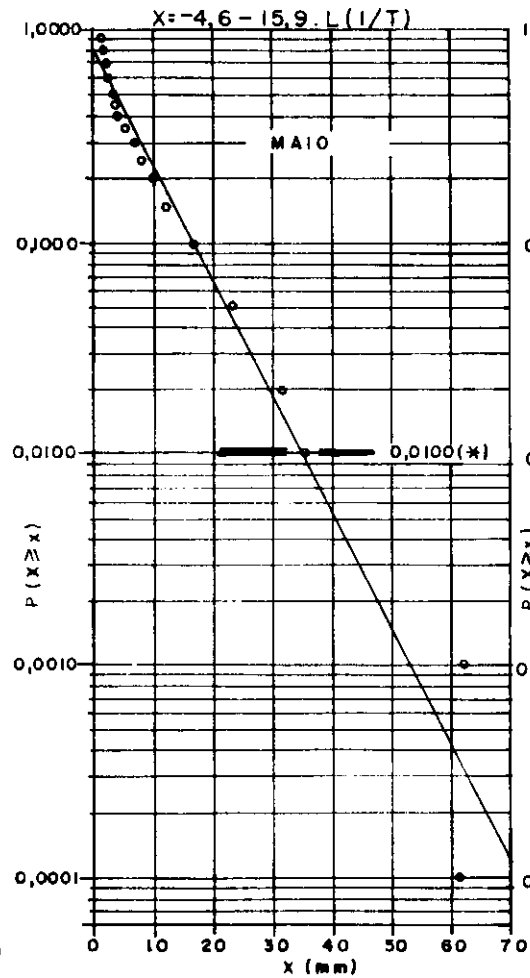
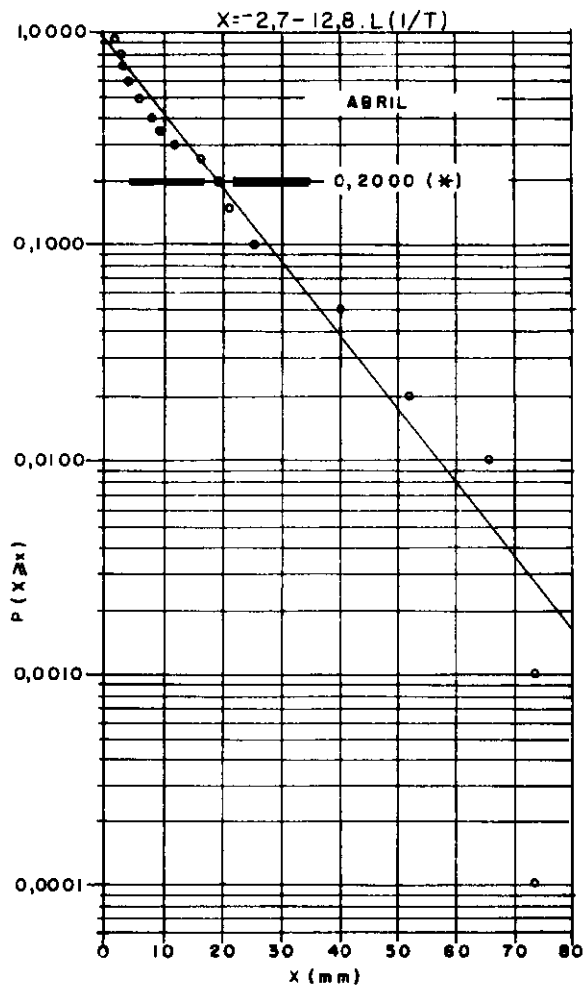


FIGURA C.3.2 – DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS – BACIA DO RIO PASSO FUNDO ATÉ PASSO FUNDO PERÍODO DOS DADOS 1950 a 1984

(\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.

$I/T = P(X \geq x)$

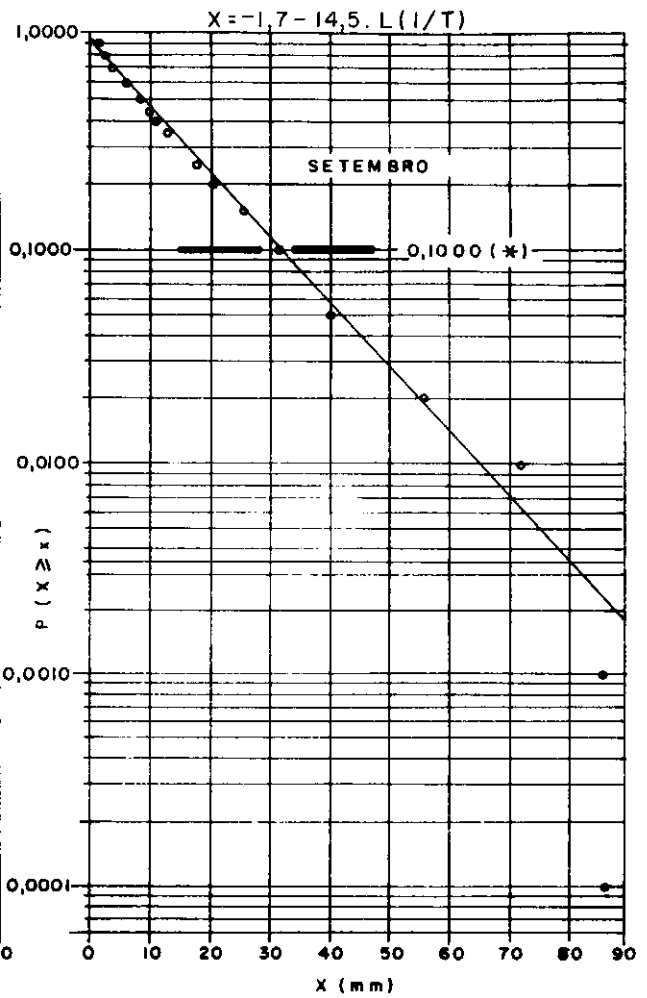
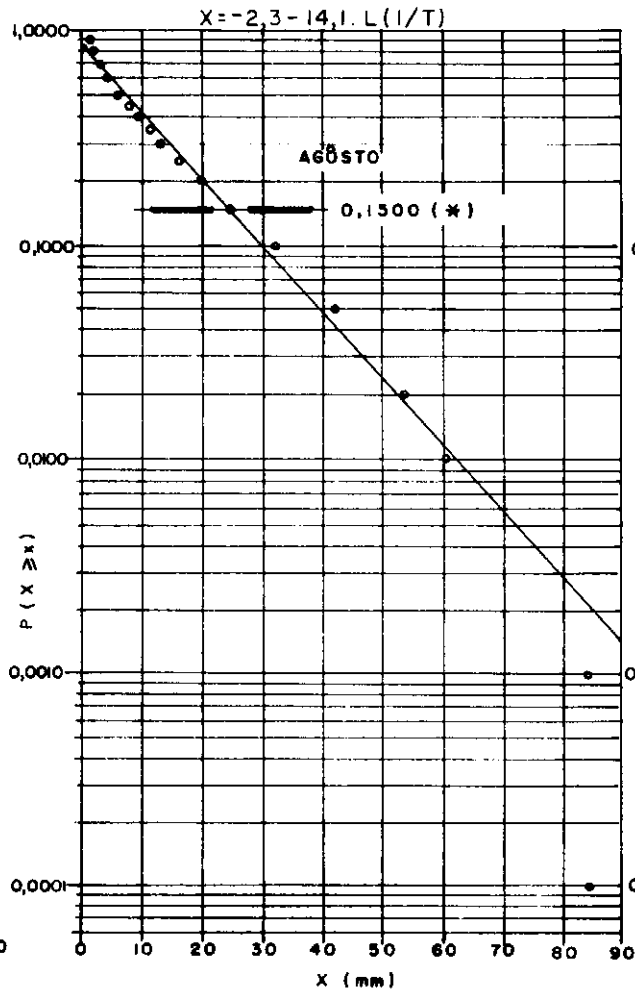
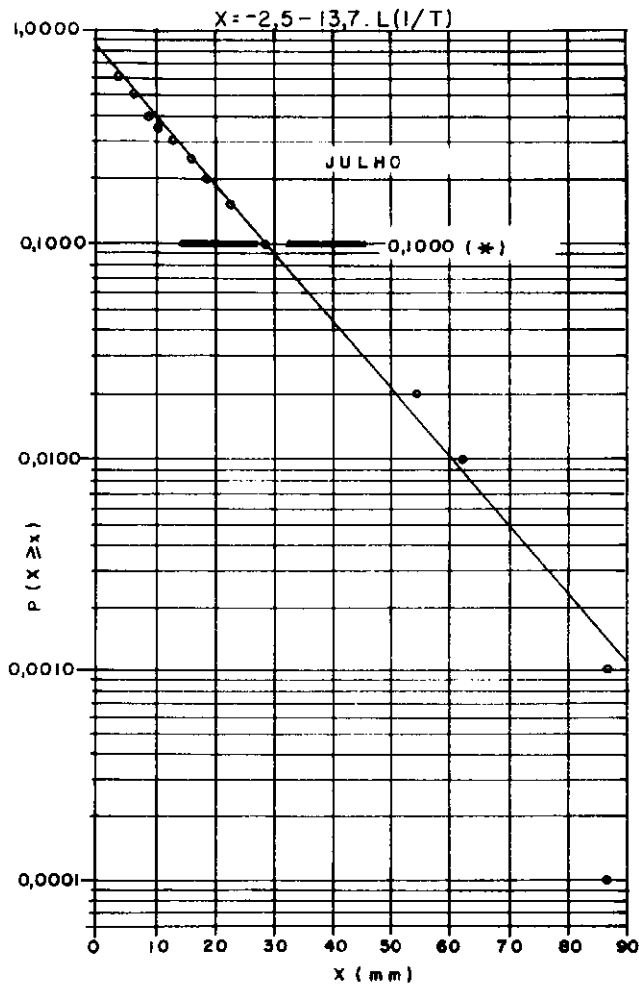


FIGURA C.3.3 - DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS - BACIA DO RIO PASSO FUNDO ATÉ PASSO FUNDO PERÍODO DOS DADOS 1950 a 1984.

(\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.

$$1/T = P(X \geq x)$$

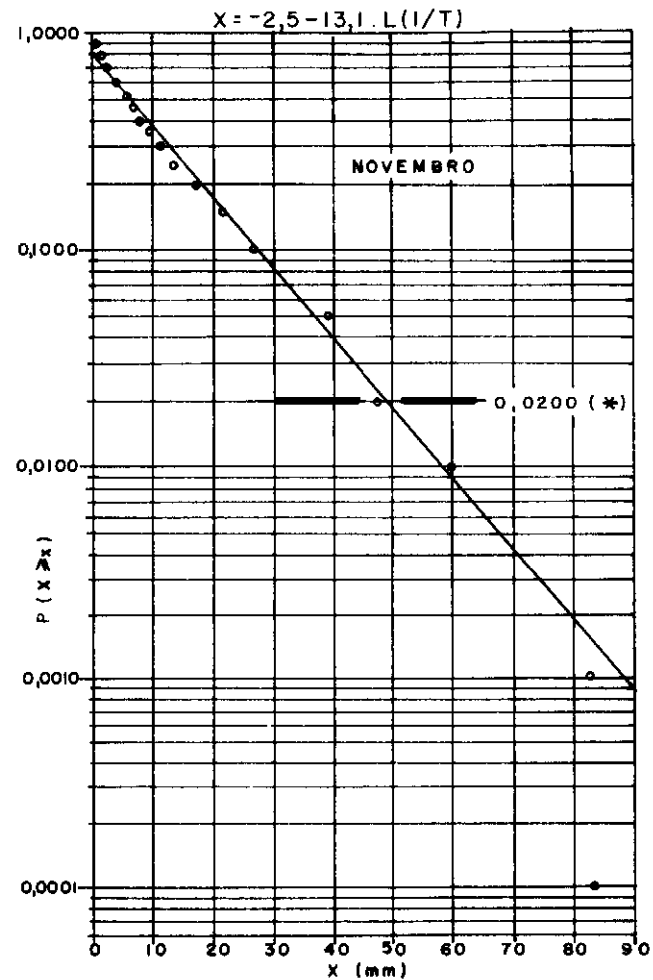
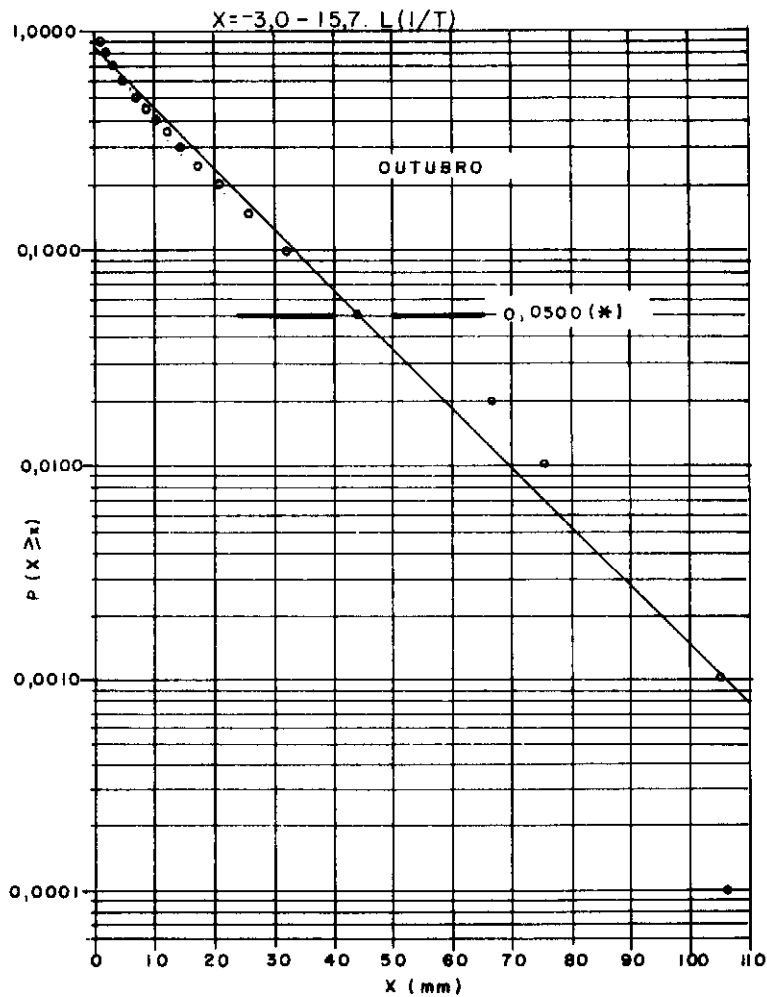


FIGURA C.3.4 — DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS — BACIA DO RIO PASSO FUNDO ATÉ PASSO FUNDO PERÍODO DOS DADOS 1950 a 1984.  
 (\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.  
 $I/T = P(X \geq x)$

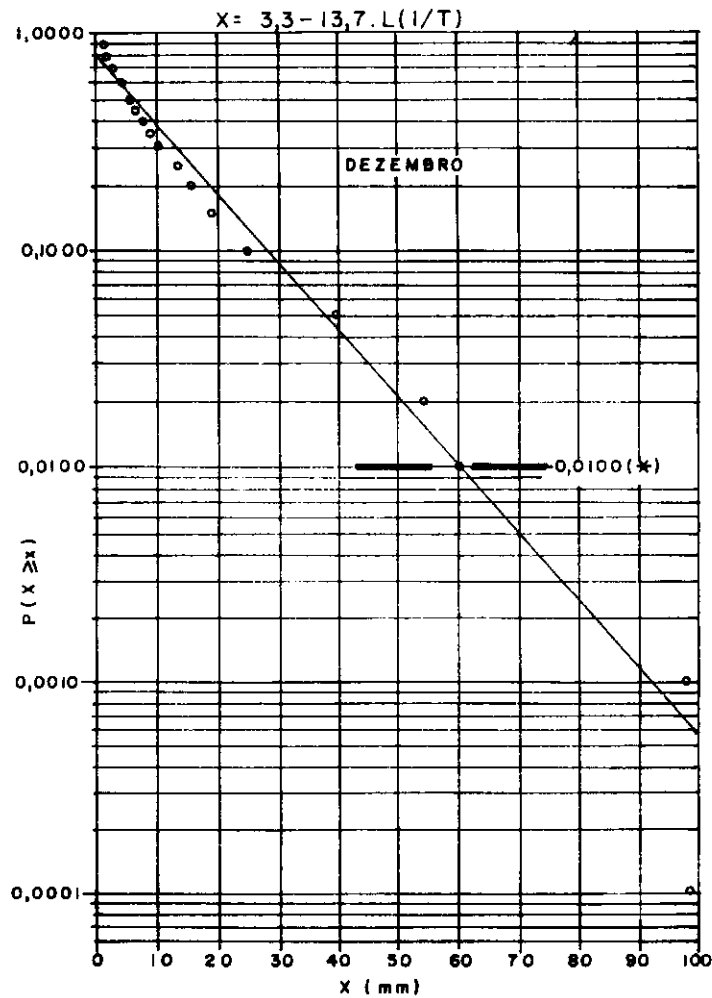


FIGURA C.3.5 — DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS — BACIA DO RIO PASSO FUNDO ATÉ PASSO FUNDO PERÍODO DOS DADOS 1950 a 1984.

(\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.  $1/T = P(X \geq x)$

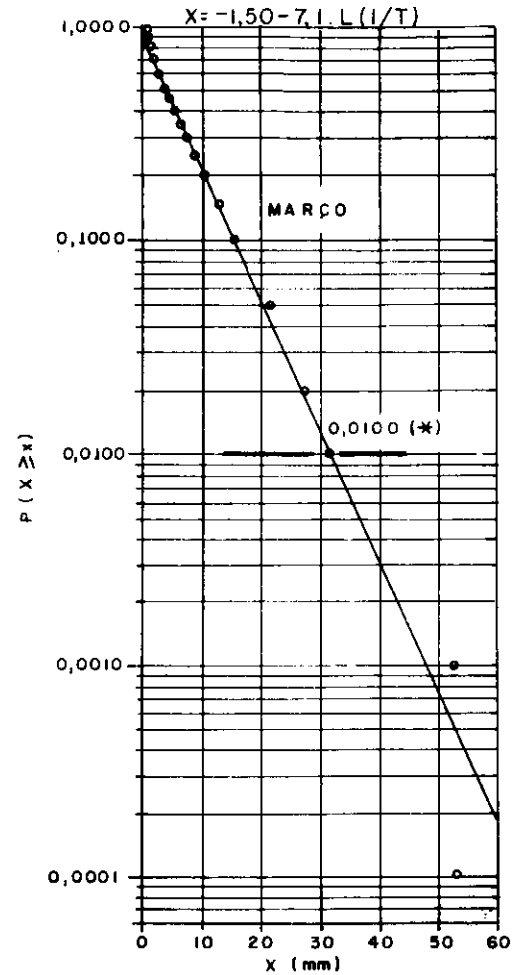
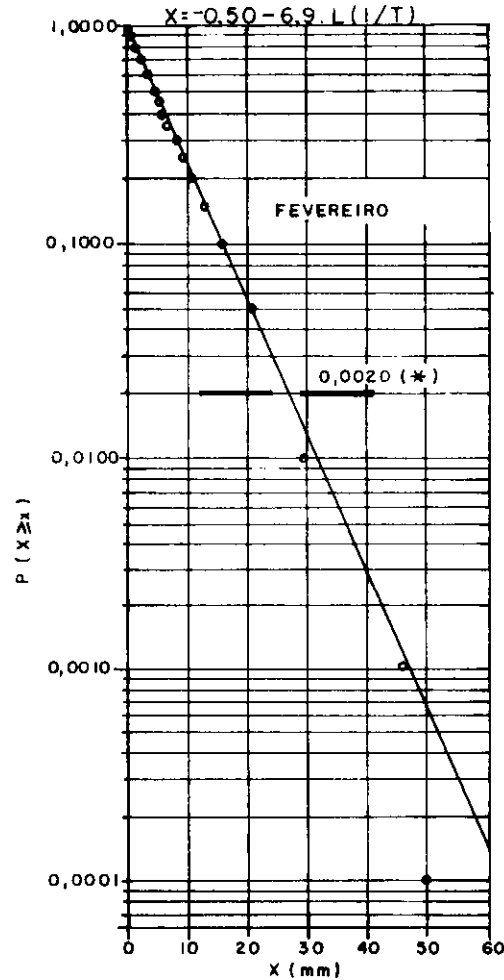
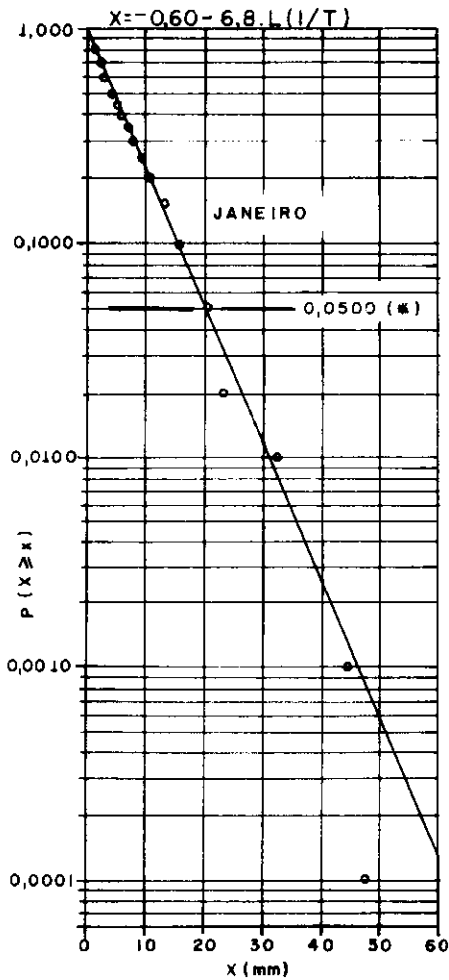


FIGURA C.4.1 — DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS — BACIA DO RIO URUGUAI ATÉ ITÁ  
PERÍODO DOS DADOS: 1940 a 1984

(\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO  
UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.

$$I/T = P(X \geq x)$$

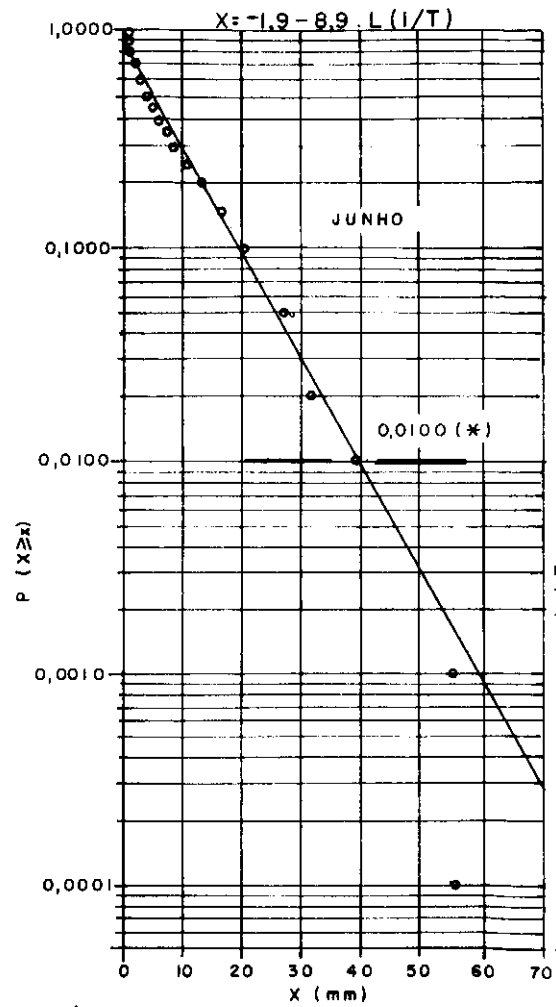
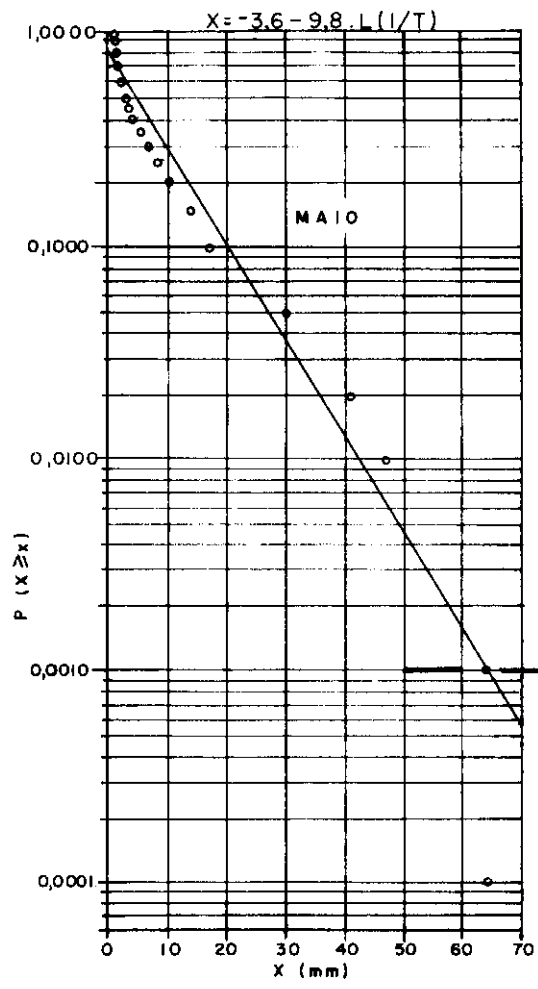
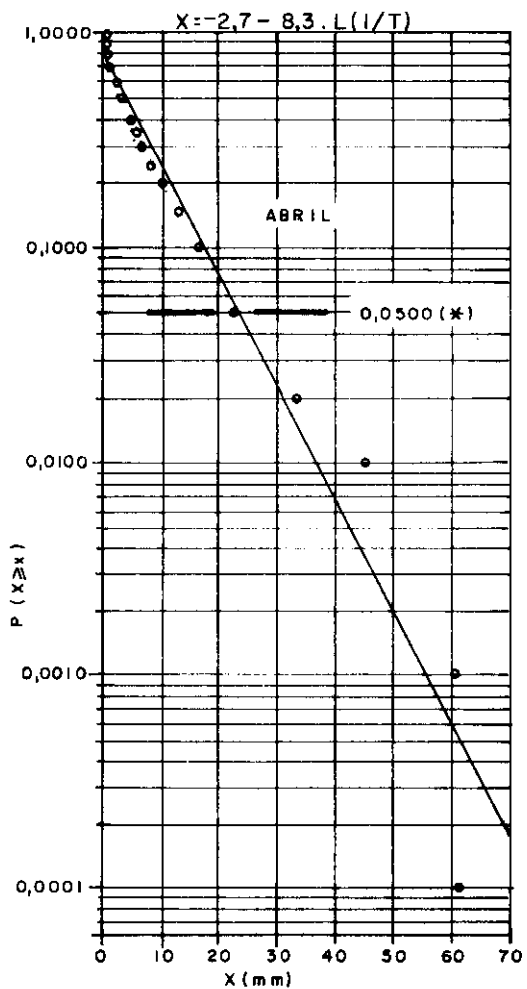


FIGURA C.4.2 — DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS— BACIA DO RIO URUGUAI ATÉ ITÁ  
 PERIODO DOS DADOS: 1940 a 1984  
 (\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO  
 UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.  $I/T = P(X \geq x)$



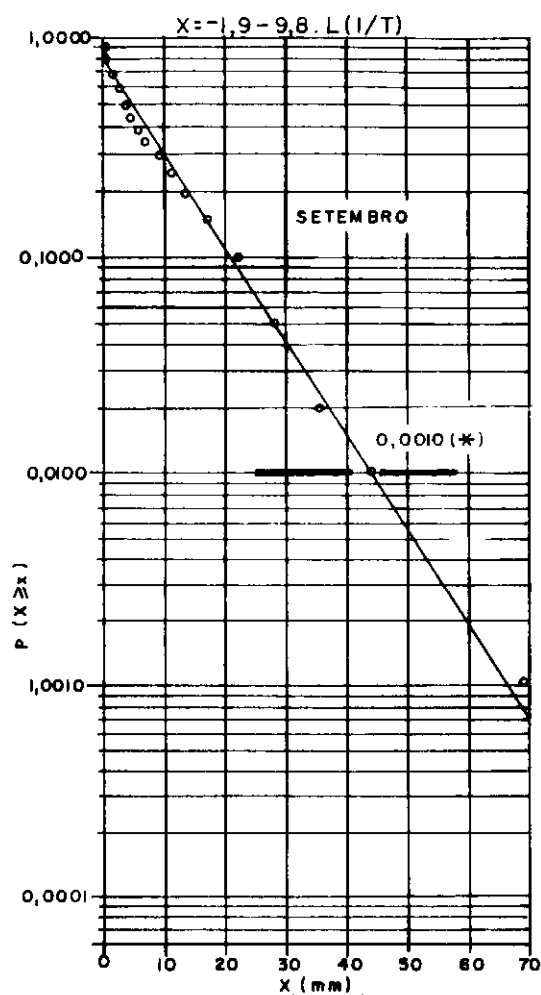
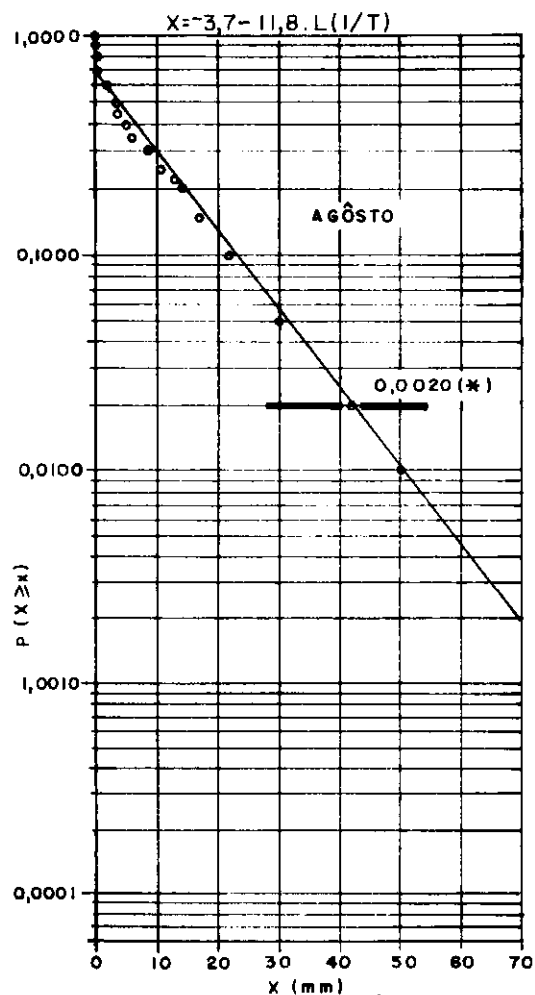
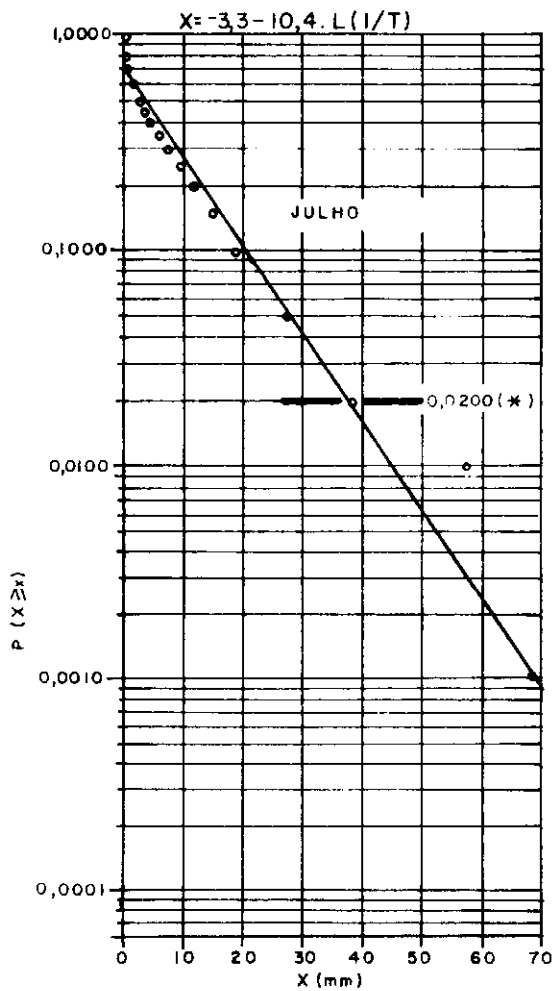


FIGURA C.4.3 — DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS — BACIA DO RIO URUGUAI ATÉ ITÁ  
PERÍODO DOS DADOS: 1940 a 1984

(\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.  
 $I/T = P(X \geq x)$

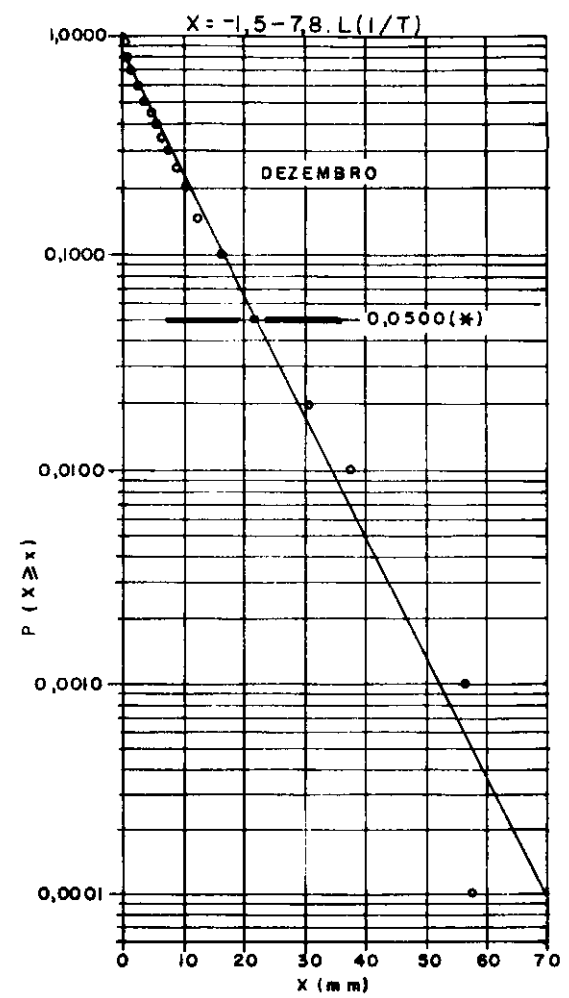
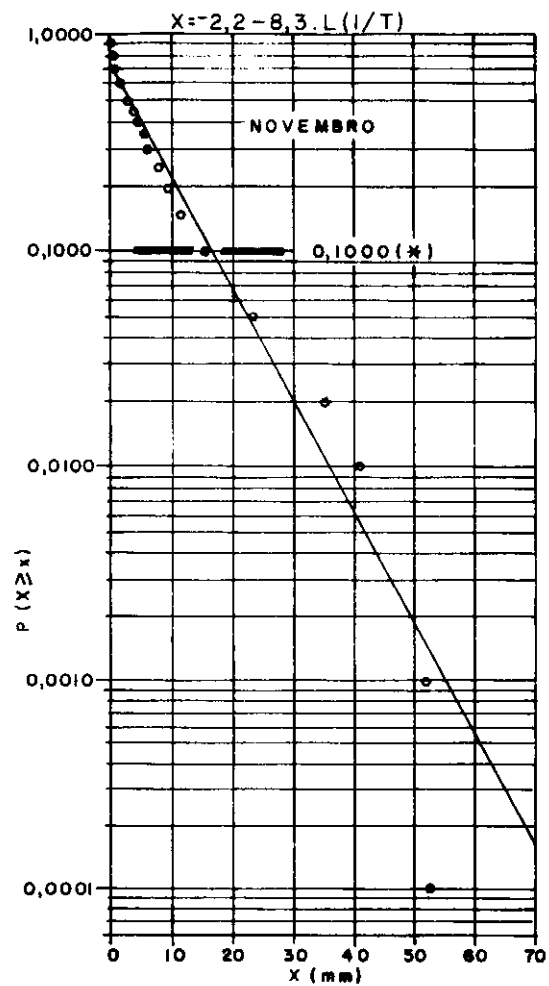
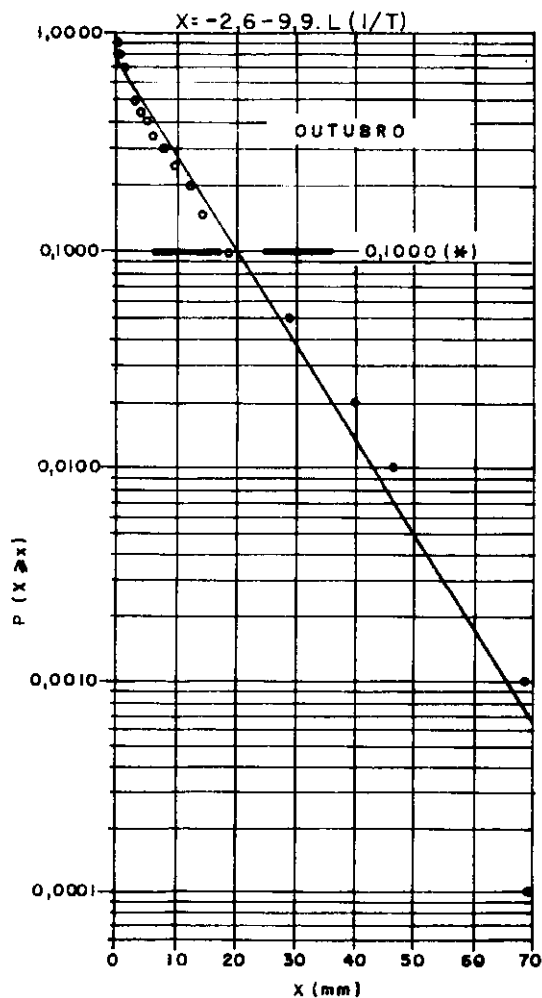


FIGURA C.4.4 — DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DAS CHUVAS DIÁRIAS — BACIA DO RIO URUGUAI ATÉ ITÁ  
PERÍODO DOS DADOS: 1940 a 1984.

(\*) PONTO DE SEPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS E TEÓRICAS QUANDO AMBAS SÃO  
UTILIZADAS CONJUNTAMENTE.  $1/T = P(X \geq x)$

## APÊNDICE D

RESUMO COMPARATIVO DOS RESULTADOS DOS CASOS  
PROCESSADOS COM O MODELO PROPOSTO

ESQUEMA DE NUMERAÇÃO DAS TABELAS: x.y.z

x - relativo ao apêndice

y - relativo à bacia hidrográfica

- 1 - Canoas
- 2 - Pelotas
- 3 - Passo Fundo
- 4 - Uruguai

z - número da tabela

MODELO	Nº Médio Anual de Dias Chuvosos			Totais Médios Anuais Precipitados (mm)			Totais Anuais Precipitados (mm)	
	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo Maximorum	Mínimo Minimorum
Série Histórica	-	176,8	-	-	1.515,5	-	2.557,5	987,8
Caso 1: IND, EMP	180,0	176,3	172,5	1.562,1	1.515,0	1.470,3	2.166,7	898,3
Caso 2: IND, EXP2	179,9	176,5	172,3	1.624,6	1.559,2	1.489,9	2.234,6	925,5
Caso 3: IND, EMP/EXP2	180,0	176,3	172,5	1.555,2	1.508,8	1.464,0	2.149,3	893,0
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	180,8	176,7	172,1	1.558,3	1.518,9	1.472,3	2.258,0	913,3
Caso 5: AR1, r(5), EMP/EXP2	180,4	176,5	172,1	1.861,1	1.530,4	1.462,2	2.635,3	888,9
Caso 5a: (*)	180,8	176,8	172,7	1.560,9	1.518,9	1.470,2	2.291,3	895,2
Caso 6: AR1, r(6), EMP/EXP2	179,4	176,9	172,1	1.552,1	1.514,6	1.452,1	2.293,6	901,1
Caso 7: AR1, r(7), EMP/EXP2	179,9	177,1	172,1	1.562,3	1.514,8	1.454,7	2.343,2	868,6
Caso 8: AR1, r(8), EMP/EXP2	179,3	176,5	172,1	1.555,8	1.515,4	1.467,8	2.189,2	912,6
Caso 8a: (*)	180,2	176,4	172,8	1.582,3	1.515,6	1.453,9	2.311,4	910,7
Caso 9: AR1, r(9), EMP/EXP2	180,5	176,8	172,1	1.571,8	1.522,0	1.458,4	2.256,2	882,0
Caso 9a: (*)	180,7	177,1	173,9	1.861,6	1.558,3	1.480,7	3.047,2	861,8
Caso 9b: (*)	178,7	176,1	171,8	1.572,9	1.509,2	1.454,9	2.317,6	884,2

Tabela D.1.1 - Bacia do Rio Canoas até Colônia Santana  
 Números Médios Anuais de Dias Chuvosos e Totais Médios Anuais Precipitados Observados na Série Histórica e em 33 Séries Geradas de 62 anos cada (2046 anos).

Obs.: O Max. Maximorum e o Min. Minimorum das Séries Sintéticas são os Valores Observados em 2046 anos.

EMP = distribuição empírica

IND = precipitações diárias independentes

r = coeficientes de auto-correlação amostrais

(\*) idem caso anterior mudando as sementes iniciais dos geradores de números aleatórios.

EXP2 = distribuição exponencial 2 parâmetros

AR1 = precipitações diárias geradas com o Modelo AR(1)

r(i) = coeficientes de auto-correlação utilizados no caso "i"

MODELO	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25	30
Série Histórica	10.961	7.464	5.080	2.556	1.433	704	472	271	107	40	10
Caso 1: IND, EMP	10.928	7.416	5.032	2.519	1.399	677	451	253	92	31	6
Caso 2: IND, EXP2	10.945	7.445	5.061	2.539	1.407	680	453	253	91	31	5
Caso 3: IND, EMP/EXP2	10.928	7.416	5.032	2.519	1.399	677	451	253	92	31	6
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	10.957	7.446	5.047	2.515	1.390	663	435	241	85	29	6
Caso 5: AR1, r(5), EMP/EXP2	10.943	7.435	5.042	2.503	1.379	658	435	244	89	30	6
Caso 5a: (*)	10.964	7.463	5.078	2.550	1.414	678	450	251	87	28	5
Caso 6: AR1, r(6), EMP/EXP2	10.968	7.457	5.067	2.537	1.413	682	452	254	90	30	6
Caso 7: AR1, r(7), EMP/EXP2	10.977	7.479	5.089	2.559	1.427	694	462	260	94	31	6
Caso 8: AR1, r(8), EMP/EXP2	10.941	7.429	5.033	2.505	1.383	654	428	238	85	28	5
Caso 8a: (*)	10.935	7.431	5.039	2.503	1.377	655	432	239	86	29	5
Caso 9: AR1, r(9), EMP/EXP2	10.964	7.455	5.065	2.532	1.399	664	433	237	83	27	5
Caso 9a: (*)	10.977	7.473	5.080	2.541	1.414	690	464	267	101	36	7
Caso 9b: (*)	10.918	7.417	5.034	2.514	1.394	666	441	244	83	27	4

Tabela D.1.2 - Bacia do Rio Canoas até Colônia Santana

Número de Sequências de Dias Chuvosos Observados na Série Histórica e os Correspondentes Valores Médios Obtidos em 33 Séries Sintéticas de 62 Anos Cada Uma.

IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.1.1.

MODELO	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	4	5	7	10	12	15	20	25
Série Histórica	11.684	8.197	5.854	4.212	3.030	1.583	616	328	136	23	1
Caso 1: IND, EMP	11.716	8.204	5.859	4.205	3.013	1.560	597	309	120	15	0
Caso 2: IND, EXP2	11.700	8.201	5.866	4.216	3.207	1.575	607	315	123	15	0
Caso 3: IND, EMP/EXP2	11.716	8.204	5.859	4.205	3.013	1.560	597	309	120	15	0
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	11.688	8.177	5.845	4.201	3.018	1.572	603	313	120	14	0
Caso 5: AR1, r(5), EMP/EXP2	11.701	8.193	5.864	4.216	3.032	1.585	614	321	125	16	0
Caso 5a: (*)	11.680	8.179	5.850	4.205	3.019	1.566	598	312	121	15	0
Caso 6: AR1, r(6), EMP/EXP2	11.677	8.166	5.834	4.193	3.010	1.563	598	310	117	14	0
Caso 7: AR1, r(7), EMP/EXP2	11.668	8.170	5.837	4.191	3.009	1.566	605	319	125	16	0
Caso 8: AR1, r(8), EMP/EXP2	11.703	8.191	5.852	4.204	3.023	1.571	605	314	119	15	0
Caso 8a: (*)	11.710	8.206	5.870	4.218	3.029	1.576	604	315	125	17	0
Caso 9: AR1, r(9), EMP/EXP2	11.680	8.171	5.834	4.187	3.008	1.560	598	308	116	14	0
Caso 9a: (*)	11.667	8.163	5.824	4.184	3.009	1.566	602	312	119	14	0
Caso 9b: (*)	11.727	8.226	5.884	4.227	3.031	1.569	597	308	120	15	0

Tabela D.1.3 - Bacia do Rio Canoas até Colônia Santana

Número de Sequências de Dias Secos Observados na Série Histórica e os Correspondentes Valores Médios Obtidos em 33 Séries Sintéticas de 62 anos cada uma.

IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.1.1.

MODELO	DURACÃO (DIAS)							
	1	2	3	5	7	10	12	15
Série Histórica	103,0	164,0	210,7	284,2	371,0	396,8	439,4	455,1
Caso 1: IND, EMP	103,0	151,7	179,4	201,4	226,7	267,8	303,2	337,5
Caso 2: IND, EXP2	131,0	158,2	181,0	203,1	241,7	264,9	293,4	319,0
Caso 3: IND, EMP/EXP2	131,0	145,2	179,9	204,6	227,6	268,8	304,1	347,1
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	124,5	191,5	199,5	229,1	247,5	310,0	335,0	400,6
Caso 5: AR1, r(5), EMP/EXP2	138,7	197,0	223,5	274,4	276,0	320,3	338,0	365,7
Caso 5a: (*)	147,8	194,3	236,5	265,8	280,2	368,7	411,4	445,5
Caso 6: AR1, r(6), EMP/EXP2	116,9	202,4	214,8	292,2	385,5	419,2	440,2	474,2
Caso 7: AR1, r(7), EMP/EXP2	132,1	205,0	231,4	279,3	279,3	341,2	421,0	476,0
Caso 8: AR1, r(8), EMP/EXP2	181,8 146,7	220,4 214,5	251,9 319,0	303,1 349,1	303,8 351,5	344,5 404,3	377,0 407,3	402,4 417,2
Caso 8a: (*)	144,7 127,9	202,4 233,2	253,7 268,7	268,6 315,4	353,9 339,1	380,3 380,0	386,3 420,0	394,2 476,8
Caso 9: AR1, r(9), EMP/EXP2	130,1 156,5	209,9 203,7	239,8 250,8	301,2 331,3	341,0 379,3	390,7 391,3	407,3 397,5	436,5 429,5
Caso 9a: (*)	161,6 179,9	227,6 229,4	275,2 274,4	349,0 333,6	360,1 406,3	559,1 434,7	646,6 435,6	691,8 497,8
Caso 9b: (*)	179,0 140,3	246,8 199,3	247,3 244,1	295,6 262,0	319,5 269,5	354,2 343,7	384,2 352,7	403,9 396,6

Tabela D.1.4 - Bacia do Rio Canoas até Colônia Santana  
Precipitações Máximas Anuais Extremas (mm), para as Durações Indicadas, Ocorridas na Série  
Histórica e em 1.000 anos Consecutivos Gerados.  
IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.1.1.

MODELO	DURAÇÃO (DIAS)							
	1	2	3	5	7	10	12	15
Caso 1: IND, EMP	1,333	1,981	1,969	2,584	2,763	2,310	2,412	2,222
Caso 2: IND, EXP2	0,840	2,198	2,203	2,736	2,947	2,326	2,466	2,142
Caso 3: IND, EMP/EXP2	1,084	2,122	2,165	2,614	2,870	2,341	2,456	2,245
CASO 4: AR1, r, EMP/EXP2	0,825	1,515	1,478	1,988	2,196	1,760	1,865	1,615
Caso 5: AR1, r(5), EMP/EXP2	0,855	1,400	1,203	1,602	1,678	1,334	1,563	1,192
Caso 5a: (*)	0,878	1,171	1,104	1,739	1,944	1,533	1,838	1,516
Caso 6: AR1, r(6), EMP/EXP2	0,916	1,245	1,119	1,567	1,569	1,113	1,388	1,187
Caso 7: AR1, r(7), EMP/EXP2	0,855	1,117	0,966	1,396	1,518	1,157	1,373	1,126
Caso 8: AR1, r(8), EMP/EXP2	0,779 0,932	0,847 0,924	0,676 0,673	1,136 1,109	1,195 1,287	0,945 0,861	1,036 1,120	0,943 0,881
Caso 8a: (*)	0,825 0,718	0,994 0,848	0,780 0,703	1,312 1,144	1,378 1,203	0,991 0,853	1,235 1,022	1,032 0,940
Caso 9: AR1, r(9), EMP/EXP2	0,702 0,771	0,732 0,877	0,711 0,757	0,983 1,075	1,065 1,073	0,846 0,813	1,036 0,944	0,864 0,857
Caso 9a: (*)	0,939 1,026	0,652 0,568	0,777 0,885	1,046 1,015	0,834 0,765	0,813 0,721	0,708 0,549	0,725 0,578
Caso 9b: (*)	0,748 0,756	0,885 0,911	0,696 0,710	1,152 1,129	1,038 1,157	0,752 0,953	0,967 1,235	0,818 1,017

Tabela D.1.5 - Bacia do Rio Canoas até Colônia Santana

Resultados do Teste de KOLMOGOROV - SMIRNOV - Z(calculados)

Hipótese Ho: As Chuvas Máx. Anuais Obs. e Geradas, p/as Durações Indicadas, têm mesma Distribuição de Probabilidades.

Obs.: Os testes foram realizados considerando os 62 anos da série histórica e os primeiros 1000 anos gerados. Quando os quadros estão duplamente preenchidos os testes foram também realizados com os dados gerados dos anos 1001 a 2000.

Z(critico) = 1,224 (0,10); Z(critico) = 1,358 (0,05); Z(critico) = 1,628 (0,01).

IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.1.1.



Ano Inicial	Ano Final	DURAÇÃO (DIAS)							
		1	2	3	5	7	10	12	15
Série Histórica		103,0	164,0	210,7	284,2	371,0	396,8	439,4	455,1
1925	1986								
1	1.000	132,0	203,4	267,6	379,2	380,2	399,1	405,0	427,5
1.001	2.000	135,0	210,4	264,0	306,2	340,0	361,3	362,0	408,7
2.001	3.000	124,7	177,2	205,0	249,5	293,5	375,3	396,2	414,8
3.001	4.000	133,6	200,5	233,3	274,8	314,8	343,9	354,7	432,1
4.001	5.000	127,6	177,0	250,3	342,1	382,5	387,6	416,9	502,1
5.001	6.000	133,5	175,8	224,9	274,8	280,9	374,7	420,0	439,8
6.001	7.000	177,5	227,0	258,5	296,2	375,9	478,2	517,5	637,2
7.001	8.000	141,2	254,1	296,4	355,3	373,7	403,4	423,7	454,8
8.001	9.000	152,0	176,9	231,5	300,0	365,1	391,7	394,0	403,5
9.001	10.000	139,1	194,2	233,8	307,9	317,1	340,9	360,1	402,5

Tabela D.1.6 - Bacia do Rio Canoas até Colônia Santana - Caso 9

Chuvas Máximas Anuais Extremas (mm), para as Durações Indicadas, Ocorridas na Série Histórica (62 anos) e em cada 1.000 anos Gerados.

Foram Gerados Continuamente 10.044 anos (162 séries de 62 anos).

SÉRIES SINTÉTICAS		DURAÇÃO (DIAS)							
Ano Inicial	Ano Final	1	2	3	5	7	10	12	15
1	1.000	0,680	0,825	0,718	1,182	1,271	0,929	1,158	0,958
1.001	2.000	0,848	0,957	0,760	1,083	1,075	0,846	1,036	0,843
2.001	3.000	0,947	0,786	0,680	1,007	1,057	0,851	0,983	0,864
3.001	4.000	0,901	0,915	0,749	1,067	1,120	0,737	0,960	0,711
4.001	5.000	0,825	1,077	0,867	1,240	1,355	0,990	1,212	1,065
5.001	6.000	0,741	0,938	0,718	1,067	0,897	0,777	0,883	0,742
6.001	7.000	1,011	0,514	0,694	0,969	0,900	0,790	0,944	0,690
7.001	8.000	0,725	0,878	0,702	1,094	1,317	0,859	1,174	0,927
8.001	9.000	0,924	1,094	0,936	1,312	1,332	1,004	1,304	1,003
9.001	10.000	0,725	0,719	0,734	1,106	1,082	0,800	1,021	0,897

Tabela D.1.7 - Bacia do Rio Canoas até Colônia Santana - Caso 9

Resultados do Teste de KOLMOGOROV - SMIRNOV - Z(calculado)

Hipótese H<sub>0</sub>: As Chuvas Máx. Anuais Obs. e Geradas, para as Durações Indicadas, têm mesma Distribuição de Probabilidades.

Obs.: Foram considerados os 62 anos históricos e cada 1.000 anos gerados dos 10.044 anos gerados (162 séries de 62 anos).

Z(critico) = 1,224 (0,10); Z(critico) = 1,358 (0,05); Z(critico) = 1,628 (0,01).

MODELO	Nº Médio Anual de Dias Chuvosos			Totais Médios Anuais Precipitados (mm)			Totais Anuais Precipitados (mm)	
	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo Maximorum	Mínimo Minimorum
Série Histórica	-	212,3	-	-	1.520,3	-	2.636,7	887,7
Caso 1: IND, EMP	217,0	212,0	206,3	1.584,0	1.534,5	1.439,8	2.263,4	916,7
Caso 2: IND, EXP2	219,4	212,1	205,7	1.655,2	1.579,0	1.512,8	2.244,1	995,0
Caso 3: IND, EMP/EXP2	218,1	212,3	205,7	1.577,0	1.518,2	1.461,8	2.160,3	1.008,1
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	217,8	212,4	205,3	1.579,6	1.511,1	1.425,2	2.156,9	949,1
Caso 4a: (*)	218,4	212,4	205,8	1.600,6	1.508,6	1.402,5	2.221,3	929,1
Caso 4b: (*)	218,2	212,2	205,1	1.584,0	1.507,3	1.422,9	2.248,3	938,4

Tabela D.2.1 - Bacia do Rio Pelotas até Passo do Nandes

Números Médios Anuais de Dias Chuvosos e Totais Médios Anuais Precipitados Observados na Série Histórica e em 63 Séries Geradas de 32 anos cada (2.016 anos).

Obs.: O Máx. Maximorum e o Min. Minimorum das Séries Sintéticas são os Valores Observados em 2.016 anos.

EMP = distribuição empírica

IND = precipitações diárias independentes

r = coeficientes de auto-correlação amostrais

(\*) idem caso anterior mudando as sementes iniciais dos geradores de números aleatórios.

EXP2 = distribuição exponencial 2 parâmetros

AR1 = precipitações diárias geradas com o Modelo AR(1)

r(i) = coeficientes de auto-correlação utilizados no caso "i"

MODELO	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25	30
Série Histórica	6.795	5.173	3.918	2.265	1.388	715	479	272	122	65	30
Caso 1: IND, EMP	6.783	5.150	3.889	2.227	1.349	675	438	234	99	47	17
Caso 2: IND, EXP2	6.787	5.156	3.896	2.237	1.354	673	434	229	94	43	16
Caso 3: IND, EMP/EXP2	6.793	5.164	3.903	2.238	1.350	671	433	228	94	43	16
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	6.796	5.161	3.898	2.235	1.354	675	437	234	100	47	18
Caso 4a: (*)	6.797	5.159	3.890	2.225	1.341	669	434	233	99	47	18
Caso 4b: (*)	6.790	5.158	3.895	2.227	1.342	667	430	226	90	39	14

Tabela D.2.2 - Bacia do Rio Pelotas até Passo do Nandes

Número de Sequências de Dias Chuvosos Observados na Série Histórica e os Correspondentes Valores Médios Observados nas 63 Séries Sintéticas Geradas para Testes do Modelo.

IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.2.1.

MODELO	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	4	5	7	10	12	15	20	25
Série Histórica	4.893	3.271	2.240	1.533	1.062	548	225	128	49	7	0
Caso 1: IND, EMP	4.904	3.272	2.235	1.522	1.045	521	197	105	35	4	0
Caso 2: IND, EXP2	4.900	3.269	2.229	1.518	1.044	521	194	103	35	4	0
Caso 3: IND, EMP/EXP2	4.894	3.265	2.229	1.515	1.038	520	197	105	34	4	0
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	4.891	3.256	2.217	1.505	1.032	517	195	102	32	3	0
Caso 4a: (B)	4.890	3.252	2.216	1.506	1.034	518	199	108	37	4	0
Caso 4b: (*)	4.897	3.266	2.230	1.517	1.042	522	200	108	37	4	0

Tabela D.2.3 - Bacia do Rio Pelotas até Passo do Nandes

Número de Sequências de Dias Secos Observados na Série Histórica e os Correspondentes Valores Médios Observados em 63 Séries Sintéticas Geradas para Testes dos Modelos.

IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.2.1.

	DURACÃO (DIAS)							
	1	2	3	5	7	10	12	15
Série Histórica	119,3	200,0	274,6	330,9	378,5	406,8	470,8	484,7
Caso 1: IND, EMP	119,2	197,1	233,2	251,0	265,5	348,9	352,2	355,9
Caso 2: IND, EXP2	140,0	168,7	194,0	213,7	247,2	328,4	360,7	419,4
Caso 3: IND, EMP/EXP2	140,0	168,7	205,0	210,7	222,1	259,8	293,3	321,9
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	133,2 146,7	199,6 230,2	227,1 250,1	316,2 271,0	331,0 309,2	391,0 348,5	403,4 386,5	409,6 386,5
Caso 4a: (*)	178,7 123,7	218,5 220,9	253,6 246,1	301,5 271,0	336,7 303,0	374,6 339,8	384,9 352,8	423,1 375,7
Caso 4b: (*)	135,1 132,1	222,4 199,2	307,8 258,8	353,2 326,1	361,0 353,1	367,7 466,5	395,4 466,5	450,5 479,9

Tabela D.2.4 - Bacia do Rio Pelotas até Passo do Nandes

Precipitações Máximas Anuais Extremas (mm), para as Durações Indicadas, Ocorridas na Série Histórica e em 1.000 anos Consecutivos Gerados.

IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.2.1.

MODELO	DURAÇÃO (DIAS)							
	1	2	3	5	7	10	12	15
Caso 1: IND, EMP	1,675	0,910	1,103	1,282	1,509	1,623	1,527	1,282
Caso 2: IND, EXP2	0,884	1,342	1,581	1,645	1,892	1,828	1,712	1,412
Caso 3: IND, EMP/EXP2	0,995	1,470	1,732	1,747	2,065	2,124	1,906	1,746
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	0,650 0,789	0,849 0,704	0,635 0,647	1,020 0,942	1,069 1,094	1,182 1,104	1,115 0,942	0,809 0,787
Caso 4a: (*)	0,748 0,693	0,771 0,863	0,636 0,642	0,963 1,061	1,077 1,172	1,110 1,399	1,048 1,249	0,859 0,955
Caso 4b: (*)	0,878 0,656	0,743 0,704	0,753 0,587	1,091 0,826	1,236 1,000	1,285 1,116	1,226 1,087	0,954 0,820

Tabela D.2.5 - Bacia do Rio Pelotas até Passo do Nandes

Resultados do Teste de KOLMOGOROV - SMIRNOV - Z(calculados)

Hipótese H<sub>0</sub>: As Chuvas Máx. Anuais Obs. e Geradas, p/as Durações Indicadas, têm mesma Distribuição de Probabilidades.

Obs.: Os testes foram realizados considerando os 32 anos da série histórica e os primeiros 1000 anos gerados. Quando os quadros estão duplamente preenchidos os testes foram também realizados com os dados gerados dos anos 1001 a 2000.

Z(critico) = 1,224 (0,10); Z(critico) = 1,358 (0,05); Z(critico) = 1,628 (0,01).

IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.2.1.

MODELO	Nº Médio Anual de Dias Chuvosos			Totais Médios Anuais Precipitados (mm)			Totais Anuais Precipitados (mm)	
	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo Maximorum	Mínimo Minimorum
Série Histórica	-	173,7	-	-	1.867,7	-	2.742,4	1.198,5
Caso 1: IND, EMP								
Caso 2: IND, EXP2	180,2	173,7	168,8	1.980,7	1.911,2	1.829,2	2.852,4	1.217,0
Caso 3: IND, EMP/EXP2	182,4	173,9	168,8	1.956,6	1.861,2	1.796,4	2.891,6	1.055,6
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	177,3	173,4	168,8	1.937,7	1.848,5	1.781,9	2.626,2	1.008,1
Caso 5: AR1, r(5), EMP/EXP2	177,3	173,5	168,8	1.932,9	1.849,8	1.738,3	2.761,2	1.057,6
Caso 6: AR1, r(6), EMP/EXP2	178,5	173,7	168,8	1.937,7	1.859,1	1.778,2	2.796,2	1.050,3

Tabela D.3.1 - Bacia do Rio Passo Fundo até Barragem Passo Fundo

Números Médios Anuais de Dias Chuvosos e Totais Médios Anuais Precipitados Observados na Série Histórica e em 60 Séries Geradas de 35 anos cada (2.100 anos).

Obs.: O Máx. Maximorum e o Min. Minimorum das Séries Sintéticas são os Valores Observados em 2.100 anos.

EMP = distribuição empírica

IND = precipitações diárias independentes

r = coeficientes de auto-correlação amostrais

EXP2 = distribuição exponencial 2 parâmetros

AR1 = precipitações diárias geradas com o Modelo AR(1)

r(i) = coeficientes de auto-correlação utilizados no caso "i"

(\*) idem caso anterior mudando as sementes iniciais dos geradores de números aleatórios.



MODELO	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25	30
Série Histórica	6.081	4.055	2.675	1.227	606	249	145	78	25	7	2
Caso 1: IND, EMP											
Caso 2: IND, EXP2	6.077	4.030	2.639	1.188	568	213	113	55	14	1	2
Caso 3: IND, EMP/EXP2	6.085	4.049	2.664	1.211	581	219	116	56	15	2	0
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	6.067	4.033	2.647	1.194	569	213	115	55	14	2	0
Caso 5: AR1, r(5), EMP/EXP2	6.071	4.034	2.648	1.198	573	215	115	54	13	1	0
Caso 6: AR1, r(6), EMP/EXP2	6.081	4.042	2.653	1.200	574	213	114	56	15	2	0

Tabela D.3.2 - Bacia do Rio Passo Fundo até Barragem Passo Fundo

Número de Sequências de Dias Chuvosos Observados na Série Histórica e os Correspondentes Valores Médios Observados nas 60 Séries Sintéticas Geradas para Testes do Modelo.

IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.3.1.

MODELO	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	4	5	7	10	12	15	20	25
Série Histórica	6.703	4.677	3.317	2.344	1.672	872	347	188	85	14	0
Caso 1: IND, EMP											
Caso 2: IND, EXP2	6.705	4.657	3.289	2.309	1.633	835	315	163	69	11	0
Caso 3: IND, EMP/EXP2	6.697	4.661	3.299	2.318	1.642	841	320	167	70	10	0
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	6.716	4.681	3.317	2.339	1.663	858	329	170	70	11	0
Caso 5: AR1, r(5), EMP/EXP2	6.712	4.675	3.312	2.334	1.659	852	322	165	69	10	0
Caso 6: AR1, r(6), EMP/EXP2	6.702	4.664	3.298	2.324	1.649	847	322	167	70	11	0

Tabela D.3.3 - Bacia do Passo Fundo até Barragem Passo Fundo

Número de Sequências de Dias Secos Observados na Série Histórica e os Correspondentes Valores Médios Observados em 60 Séries Sintéticas Geradas para Testes dos Modelos.

IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.3.1.

	DURACÃO (DIAS)							
	1	2	3	5	7	10	12	15
Série Histórica	123,7	154,9	206,9	253,8	293,4	340,5	381,6	400,5
Caso 1: IND, EMP								
Caso 2: IND, EXP2	176,8	227,0	231,6	289,4	320,1	392,6	405,3	428,2
Caso 3: IND, EMP/EXP2	176,8	227,0	231,6	291,3	315,9	386,4	396,2	418,6
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	155,8	228,6	260,3	293,7	405,6	508,7	512,4	532,1
Caso 5: AR1, r(5), EMP/EXP2	155,8	220,3	229,7	328,7	451,0	494,4	501,4	566,4
Caso 6: AR1, r(6), EMP/EXP2	155,8 189,0	222,8 218,0	235,2 291,9	297,8 342,0	366,2 412,3	464,9 451,9	495,7 467,8	512,5 493,3

Tabela D.3.4 - Bacia do Rio Passo Fundo até Barragem Passo Fundo

Precipitações Máximas Anuais Extremas (mm), para as Durações Indicadas, Ocorridas na Série Histórica e em 1.000 anos Consecutivos Gerados.

IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.3.1

MODELO	DURAÇÃO (DIAS)							
	1	2	3	5	7	10	12	15
Caso 1: IND, EMP								
Caso 2: IND, EXP2	0,625	1,508	1,865	1,897	1,742	1,740	1,860	1,122
Caso 3: IND, EMP/EXP2	0,457	1,583	1,868	1,886	1,876	1,914	2,058	1,262
CASO 4: AR1, r, EMP/EXP2	0,788	0,996	1,277	1,258	1,335	1,402	1,593	0,960
Caso 5: AR1, r(5), EMP/EXP2	0,637	0,798	1,179	1,159	1,184	1,222	1,401	0,890
Caso 6: AR1, r(6), EMP/EXP2	0,631 0,620	0,679 0,737	0,940 1,009	0,961 0,996	1,071 1,164	0,989 1,042	1,185 1,224	0,832 0,907

Tabela D.3.5 - Bacia do Rio Passo Fundo até Barragem Passo Fundo

Resultados do Teste de KOLMOGOROV - SMIRNOV - Z(calculados)

Hipótese H<sub>0</sub>: As Chuvas Máx. Anuais Obs. e Geradas, p/as Durações Indicadas, têm mesma Distribuição de Probabilidades.

Obs.: Os testes foram realizados considerando os 35 anos da série histórica e os primeiros 1000 anos gerados. Quando os quadros estão duplamente preenchidos os testes foram também realizados com os dados gerados dos anos 1001 a 2000.

Z(critico) = 1,224 (0,10); Z(critico) = 1,358 (0,05); Z(critico) = 1,628 (0,01).

IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.3.1.

MODELO	Nº Médio Anual de Dias Chuvosos			Totais Médios Anuais Precipitados (mm)			Totais Anuais Precipitados (mm)	
	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo Maximorum	Mínimo Minimorum
Série Histórica	-	233,2	-	-	1.543,3	-	2.688,4	1.038,2
Caso 1: IND, EMP								
Caso 2: IND, EXP2	236,8	233,2	229,0	1.652,0	1.608,6	1.560,4	2.222,6	1.069,6
Caso 3: IND, EMP/EXP2	236,8	232,9	228,6	1.564,6	1.531,2	1.489,3	2.128,3	974,7
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	237,5	233,1	228,7	1.594,1	1.540,3	1.496,4	2.278,1	999,5
Caso 5: AR1, r(5), EMP/EXP2	238,0	233,1	227,8	1.593,4	1.539,1	1.490,8	2.194,3	975,5
Caso 6: AR1, r(6), EMP/EXP2	238,8	233,3	227,3	1.603,8	1.535,5	1.487,1	2.228,9	904,2
Caso 7: AR1, r(7), EMP/EXP2	236,4	232,9	229,5	1.604,6	1.535,2	1.472,1	2.262,5	974,4
Caso 7a: (*)	236,6	232,9	228,4	1.592,4	1.532,7	1.477,0	2.565,3	959,6
Caso 8: AR1, r(8), EMP/EXP2	236,7	233,3	228,4	1.948,8	1.565,9	1.492,7	2.952,8	928,9
Caso 8a: (*)	237,0	232,6	227,1	1.602,3	1.536,6	1.464,9	2.279,1	894,1

Tabela D.4.1 - Bacia do Rio Uruguai até Itá

Números Médios Anuais de Dias Chuvosos e Totais Médios Anuais Precipitados Observados na Série Histórica e em 45 Séries Geradas de 45 anos cada (2.025 anos).

Obs.: O Máx. Maximorum e o Min. Minimorum das Séries Sintéticas são os Valores Observados em 2.025 anos.

EMP = distribuição empírica

IND = precipitações diárias independentes

r = coeficientes de auto-correlação amostrais

(\*) idem caso anterior mudando as sementes iniciais dos geradores de números aleatórios.

EXP2 = distribuição exponencial 2 parâmetros

AR1 = precipitações diárias geradas com o Modelo AR(1)

r(i) = coeficientes de auto-correlação utilizados no caso "i"

MODELO	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25	30
Série Histórica	10.495	8.347	6.622	4.249	2.812	1.625	1.187	781	438	252	155
Caso 1: IND, EMP											
Caso 2: IND, EXP2	10.493	8.338	6.603	4.206	2.760	1.565	1.123	720	382	207	119
Caso 3: IND, EMP/EXP2	10.479	8.330	6.600	4.216	2.773	1.575	1.131	724	384	210	121
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	10.489	8.334	6.606	4.231	2.792	1.589	1.147	742	400	218	123
Caso 5: AR1, r(5), EMP/EXP2	10.491	8.334	6.606	4.220	2.773	1.582	1.146	744	406	225	131
Caso 6: AR1, r(6), EMP/EXP2	10.496	8.333	6.598	4.203	2.752	1.552	1.109	711	381	206	115
Caso 7: AR1, r(7), EMP/EXP2	10.482	8.331	6.603	4.221	2.773	1.578	1.139	735	399	220	126
Caso 7a: (*)	10.480	8.322	6.588	4.210	2.770	1.576	1.134	730	391	215	123
Caso 8: AR1, r(8), EMP/EXP2	10.496	8.343	6.608	4.227	2.784	1.583	1.140	735	396	221	129
Caso 8a: (*)	10.469	8.306	6.571	4.182	2.744	1.557	1.117	716	382	206	117

Tabela D.4.2 - Bacia do Rio Uruguai até Itá

Número de Sequências de Dias Chuvosos Observados na Série Histórica e os Correspondentes Valores Médios observados nas 45 Series Sintéticas Geradas para Testes do Modelo.

IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.4.1.

MODELO	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	4	5	7	10	12	15	20	25
Série Histórica	5.942	3.794	2.477	1.610	1.055	495	171	88	33	2	0
Caso 1: IND, EMP											
Caso 2: IND, EXP2	5.942	3.788	2.468	1.598	1.041	481	162	01	29	1	0
Caso 3: IND, EMP/EXP2	5.956	3.807	2.485	1.614	1.054	490	166	83	29	1	0
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	5.946	3.792	2.468	1.597	1.044	485	164	83	28	0	0
Caso 5: AR1, r(5), EMP/EXP2	5.944	3.788	2.468	1.600	1.043	485	163	80	27	0	0
Caso 6: AR1, r(6), EMP/EXP2	5.939	3.777	2.460	1.593	1.039	481	161	80	27	0	0
Caso 7: AR1, r(7), EMP/EXP2	5.953	3.802	2.483	1.618	1.061	503	173	87	31	1	0
Caso 7a: (*)	5.955	3.797	2.471	1.600	1.044	482	161	79	27	0	0
Caso 8: AR1, r(8), EMP/EXP2	5.939	3.786	2.465	1.596	1.041	483	165	84	29	1	0
Caso 8a: (*)	5.967	3.805	2.480	1.609	1.052	489	165	81	28	0	0

Tabela D.4.3 - Bacia do Rio Uruguai até Itá

Número de Sequências de Dias Secos Observados na Série Histórica e os Correspondentes Valores Médios Observados em 45 Séries Sintéticas Geradas para Testes dos Modelos.

IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.4.1.

	DURACÃO (DIAS)							
	1	2	3	5	7	10	12	15
Série Histórica	100,2	161,4	214,5	284,8	387,9	418,8	465,8	480,5
Caso 1: IND, EMP								
Caso 2: IND, EXP2	138,7	167,6	178,8	215,6	229,3	246,6	268,8	293,4
Caso 3: IND, EMP/EXP2	138,7	167,6	177,4	213,0	243,4	261,9	261,9	284,1
Caso 4: AR1, r, EMP/EXP2	113,3	180,4	216,7	254,7	288,5	324,1	376,8	416,4
Caso 5: AR1, r(5), EMP/EXP2	107,1	146,7	182,7	253,2	345,5	398,8	402,5	412,8
Caso 6: AR1, r(6), EMP/EXP2	139,8 118,6	160,4 201,0	201,6 266,0	242,3 336,4	287,1 366,3	337,4 391,7	394,4 404,3	420,2 404,3
Caso 7: AR1, r(7), EMP/EXP2	111,3 105,7	202,2 152,3	255,8 189,1	255,8 267,1	265,7 274,1	330,5 298,9	372,2 338,9	377,8 354,6
Caso 7a: (*)	155,1 131,4	253,8 199,6	280,8 261,0	336,7 325,8	391,9 374,6	442,3 435,9	453,1 457,1	462,7 490,2
Caso 8: AR1, r(8), EMP/EXP2	156,1 169,6	255,5 255,1	282,5 297,8	347,4 378,9	403,7 438,3	451,8 476,1	462,6 484,8	473,9 491,2
Caso 8a: (*)	103,0 117,2	185,4 198,6	215,6 243,7	289,0 281,7	317,2 289,8	357,1 316,7	391,8 329,5	426,8 397,2

Tabela D.4.4 - Bacia do Rio Uruguai até Itá

Precipitações Máximas Anuais Extremas (mm), para as Durações Indicadas, Ocorridas na Série Histórica e em 1.000 anos Consecutivos Gerados.

IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.1.4.



MODELO	DURAÇÃO (DIAS)							
	1	2	3	5	7	10	12	15
Caso 1: IND, EMP								
Caso 2: IND, EXP2	0,515	2,641	2,928	2,614	2,201	2,270	2,226	2,087
Caso 3: IND, EMP/EXP2	0,658	2,464	2,961	2,607	2,312	2,478	2,491	2,271
CASO 4: AR1, r, EMP/EXP2	0,561	1,471	1,786	1,354	1,085	1,358	1,327	1,201
Caso 5: AR1, r(5), EMP/EXP2	0,791	1,386	1,583	1,157	0,882	1,240	1,008	1,043
Caso 6: AR1, r(6), EMP/EXP2	0,627 0,844	1,217 1,222	1,353 1,458	0,862 1,131	0,770 0,908	1,075 1,041	0,894 0,956	0,886 0,958
Caso 7: AR1, r(7), EMP/EXP2	0,627 0,712	0,946 1,204	1,117 1,307	0,652 0,803	0,456 0,632	0,846 0,944	0,723 0,828	0,709 0,945
Caso 7a: (*)	0,890 0,771	1,137 1,124	1,393 1,386	0,855 0,882	0,632 0,672	0,872 0,982	0,805 0,848	0,755 0,761
Caso 8: AR1, r(8), EMP/EXP2	0,758 0,408	0,940 0,817	1,097 0,868	0,514 0,583	0,397 0,609	0,531 0,517	0,477 0,671	0,422 0,585
Caso 8a: (*)	0,680 0,660	0,966 0,948	1,091 1,012	0,596 0,521	0,419 0,403	0,695 0,695	0,533 0,625	0,709 0,591

Tabela D.4.5 - Bacia do Rio Uruguai até Itá

Resultados do Teste de KOLMOGOROV - SMIRNOV - Z(calculados)

Hipótese H<sub>0</sub>: As Chuvas Máx. Anuais Obs. e Geradas, p/as Durações Indicadas, têm mesma Distribuição de Probabilidades.

Obs.: Os testes foram realizados considerando os 45 anos da série histórica e os primeiros 1000 anos gerados. Quando os quadros estão duplamente preenchidos os testes foram também realizados com os dados gerados dos anos 1001 a 2000.

Z(critico) = 1,224 (0,10); Z(critico) = 1,358 (0,05); Z(critico) = 1,628 (0,01).

IND, EMP, EXP2, AR1, r, r(i), (\*) - vide significado na Tabela D.4.1.

APÊNDICE E

RESULTADOS DO MODELO PROPOSTO  
CASOS ESCOLHIDOS

ESQUEMA DE NUMERAÇÃO DAS TABELAS: x.y.z

x - relativo ao apêndice

y - relativo à bacia hidrográfica

1 - Canoas

2 - Pelotas

3 - Passo Fundo

4 - Uruguai

z - número da tabela

PRECIPITAÇÕES MENSAIS E ANUAIS - VALORES MÉDIOS DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DAS  
VALORES MÉDIOS DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS

SÉRIE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
HISTÓRICA 1925/1986	150.7	143.0	118.8	102.4	103.4	114.5	107.3	131.8	146.1	151.3	118.1	127.9	1515.5
SÉR. SINT.-VAL. MIN.	134.9	123.2	108.5	87.6	91.5	97.0	89.6	119.4	127.5	134.3	109.2	115.2	1458.4
SÉR. SINT.-VAL. MÉD.	150.2	141.4	120.8	100.9	104.7	114.4	108.2	132.6	146.4	154.1	121.7	126.8	1522.0
SÉR. SINT.-VAL. MÁX.	163.4	156.2	133.1	109.7	115.9	132.7	129.8	146.6	168.7	176.1	139.0	139.0	1571.8
SÉR. SINT.-D. PADRÃO	6.5	8.8	6.0	5.2	7.7	8.7	9.2	7.8	9.1	10.0	7.4	6.5	24.5

INTERVALOS DE 95% DE CONFIANÇA PARA AS MÉDIAS MENSAIS E ANUAL (CALCULADOS COM OS VALORES MÉDIOS DAS SÉRIES GERADAS)

LIMITE SUPERIOR	163.0	158.6	132.5	111.1	119.8	131.5	126.2	147.9	164.3	173.6	136.1	139.6	1569.9
LIMITE INFERIOR	137.5	124.2	109.0	90.6	89.7	97.4	90.1	117.2	128.5	134.5	107.2	114.0	1474.1

VALORES EXTREMOS, HISTÓRICOS E SINTÉTICOS, DAS PRECIPITAÇÕES MENSAIS E ANUAIS

SÉR. HISTÓR.-MÍNIMOS	14.7	30.7	32.8	5.6	5.9	4.1	24.2	2.6	19.4	44.0	13.4	14.0	987.8
SÉR. SINT.-MÍNIMOS	19.3	7.0	15.4	2.5	2.7	4.4	1.4	2.7	6.7	9.3	9.4	4.2	882.0
SÉR. HISTÓR.-MÁXIMOS	370.4	303.2	250.0	386.7	287.0	354.4	685.0	296.0	358.0	342.5	292.3	275.1	2557.5
SÉR. SINT.-MÁXIMOS	428.5	408.1	394.0	446.6	462.2	355.1	475.0	575.3	525.0	459.2	395.2	423.3	2256.2

Tabela E.1.1 - Baía do Rio Canoas (Colônia Santana) - Caso 9

Resumo Comparativo entre as Precipitações Históricas e Sintéticas  
Foram Geradas 33 Séries Sintéticas de 62 anos (2.046 anos)  
Precipitações em milímetros

NÚMERO DE DIAS CHUVOSOS - VALORES MÉDIOS DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DOS VALORES MÉDIOS DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS.

SÉRIE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
HISTÓRICA 1925/1986	19.4	18.0	16.5	13.6	12.4	12.4	12.1	12.5	14.5	15.2	14.2	16.1	176.8
SÉR. SINT.-VAL. MÍN.	17.6	16.8	16.1	12.4	11.6	11.2	11.6	11.8	13.1	13.9	14.4	15.0	172.1
SÉR. SINT.-VAL. MÉD.	19.0	17.8	16.8	13.4	12.4	12.2	12.3	12.6	14.4	15.1	15.1	15.8	176.8
SÉR. SINT.-VAL. MÁX.	19.8	18.5	18.0	14.5	13.3	13.4	13.7	13.8	15.6	16.0	16.0	16.5	180.5

NÚMERO DE SEQUÊNCIAS DE DIAS CHUVOSOS - VALORES DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS.

SÉRIE	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25	30
HISTÓRICA 1925/1986	10961	7464	5080	2556	1433	704	472	271	107	40	10
SÉR. SINT. - VAL. MÍN	10671	7164	4789	2306	1238	551	315	145	38	4	0
SÉR. SINT. - VAL. MÉD	10964	7455	5065	2532	1399	664	433	237	83	27	5
SÉR. SINT. - VAL. MÁX	11190	7679	5265	2676	1532	779	531	316	135	55	14

NÚMERO DE SEQUÊNCIAS DE DIAS SECOS - VALORES DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS.

SÉRIE	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	4	5	7	10	12	15	20	25
HISTÓRICA 1925/1986	11684	8187	5854	4212	3030	1583	616	328	136	23	1
SÉR. SINT. - VAL. MÍN	11456	7942	5550	3865	2674	1350	500	247	83	4	0
SÉR. SINT. - VAL. MÉD	11680	8171	5834	4187	3008	1560	598	308	116	14	0
SÉR. SINT. - VAL. MÁX	11974	8466	6090	4417	3210	1710	714	400	155	25	1

Tabela E.1.2 - Bacia do Rio Canoas (Colônia Santana)-Caso 9  
Resumo Comparativo entre as Ocorrências das Precipitações Históricas e Sintéticas  
Foram Geradas 33 Séries de 62 anos (2.046 anos)

PRECIPITAÇÕES MENSIS E ANUAIS - VALORES MÉDIOS DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DOS  
VALORES MÉDIOS DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS

SÉRIE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
HISTÓRICA 1925/1986	150.7	143.0	118.8	102.4	103.4	114.5	107.3	131.8	146.1	151.3	118.1	127.9	1515.5
SÉR. SINT.-VAL. MIN.	129.9	118.5	102.3	82.6	82.8	95.7	87.1	110.4	114.2	126.4	102.2	112.6	1416.2
SÉR. SINT.-VAL. MÉD.	149.5	139.9	120.4	99.4	104.6	114.0	107.7	135.8	144.4	152.2	121.2	126.3	1515.5
SÉR. SINT.-VAL. MÁX.	202.1	164.5	143.9	122.3	144.2	136.6	131.7	165.1	182.1	196.2	138.4	147.6	1865.2
SÉR. SINT.-D. PADRÃO	9.2	7.3	7.5	7.5	8.9	7.4	9.1	9.5	9.3	9.5	6.6	6.9	41.7

INTERVALOS DE 95% DE CONFIANÇA PARA AS MÉDIAS MENSIS E ANUAL (CALCULADOS COM OS VALORES MÉDIOS DAS SÉRIES GERADAS)

LIMITE SUPERIOR	167.6	154.2	135.1	114.0	122.1	128.6	125.5	154.4	162.7	170.7	134.2	139.9	1597.2
LIMITE INFERIOR	131.5	125.5	105.7	84.8	87.1	99.4	90.0	117.2	126.1	133.6	108.2	112.6	1433.9

VALORES EXTREMOS, HISTÓRICOS E SINTÉTICOS, DAS PRECIPITAÇÕES MENSIS E ANUAIS

SÉR. HISTÓR.-MÍNIMOS	14.7	30.7	32.8	5.6	5.9	4.1	24.2	2.6	19.4	44.0	13.4	14.0	987.8
SÉR. SINT.-MÍNIMOS	9.6	7.8	4.6	1.5	0.1	0.4	0.1	2.1	2.3	3.3	4.3	5.6	750.1
SÉR. HISTÓR.-MÁXIMOS	370.4	303.2	250.0	386.7	287.0	354.4	685.0	296.0	358.0	342.5	292.3	275.1	2557.5
SÉR. SINT.-MÁXIMOS	488.8	672.7	430.9	397.2	463.0	477.2	483.9	549.9	551.1	901.5	445.2	634.4	2858.1

Tabela F.1.3 - Bacia do Rio Canoas (Colônia Santana) - Caso 9c

Resumo Comparativo entre as Precipitações Históricas e Sintéticas  
Foram Geradas 162 Séries de 62 anos (10.044 anos)  
Precipitações em milímetros

NÚMERO DE DIAS CHUVOSOS - VALORES MÉDIOS DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DOS VALORES MÉDIOS DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS.

SÉRIE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
HISTÓRICA 1925/1986	19.4	10.0	16.5	13.6	12.4	12.4	12.1	12.5	14.5	15.2	14.2	16.1	176.8
SÉR. SINT.-VAL. MIN.	17.3	16.1	15.4	11.8	10.9	11.2	10.9	11.5	12.9	13.3	13.3	14.2	171.1
SÉR. SINT.-VAL. MÉD.	19.0	17.7	16.7	13.3	12.5	12.3	12.2	12.8	14.3	15.0	15.0	15.7	176.5
SÉR. SINT.-VAL. MÁX.	20.3	19.2	18.0	14.7	13.8	14.0	13.2	13.9	15.5	16.7	16.6	17.0	181.3

NÚMERO DE SEQUÊNCIAS DE DIAS CHUVOSOS - VALORES DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS.

SÉRIE	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25	30
HISTÓRICA 1925/1986	10961	7464	5080	2556	1433	704	472	271	107	40	10
SÉR. SINT. - VAL. MIN	10609	7143	4783	2252	1131	467	268	120	30	4	0
SÉR. SINT. - VAL. MÉD	10942	7436	5049	2524	1401	674	446	248	87	29	5
SÉR. SINT. - VAL. MÁX	11240	7759	5190	2835	1640	865	601	369	174	67	19

NÚMERO DE SEQUÊNCIAS DE DIAS SECOS - VALORES DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS.

SÉRIE	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	4	5	7	10	12	15	20	25
HISTÓRICA 1925/1986	11684	8187	5854	4212	3030	1583	616	328	136	23	1
SÉR. SINT. - VAL. MIN	11405	7901	5573	3940	2784	1370	471	224	69	2	0
SÉR. SINT. - VAL. MÉD	11703	8197	5860	4214	3025	1570	598	309	119	15	0
SÉR. SINT. - VAL. MÁX	12037	8570	6227	4586	3359	1826	731	426	205	33	2

Tabela E.1.4 - Baía do Rio Canoas (Colônia Santana) - Caso 9c

Resumo Comparativo entre as Ocorrências das Precipitações Históricas e Sintéticas  
Foram Geradas 162 Séries de 62 anos (10.044 anos)

PRECIPITAÇÕES MENSAIS E ANUAIS - VALORES MÉDIOS DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DOS VALORES MÉDIOS DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS

SÉRIE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
HISTÓRICA 1952/1983	140.6	142.7	123.2	86.8	88.5	112.1	124.6	150.8	162.4	143.2	116.7	128.8	1520.3
SÉR. SINT.-VAL. MIN.	116.1	119.7	104.5	65.5	67.4	86.0	90.9	119.7	135.7	113.8	100.4	107.3	1425.2
SÉR. SINT.-VAL. MÉD.	133.7	143.6	124.3	87.0	88.5	110.3	121.0	156.8	159.0	140.3	117.0	129.5	1511.1
SÉR. SINT.-VAL. MÁX.	153.4	163.4	143.2	101.7	107.3	127.0	146.9	184.9	181.0	160.0	137.9	154.3	1579.6
SÉR. SINT.-D. PADRÃO	7.1	9.1	8.6	7.5	9.4	9.7	11.4	11.9	10.3	9.5	8.4	8.6	31.8
INTERVALOS DE 95% DE CONFIANÇA PARA AS MÉDIAS MENSAIS E ANUAL (CALCULADOS COM OS VALORES MÉDIOS DAS SÉRIES GERADAS)													
LIMITE SUPERIOR	147.5	161.5	141.1	101.8	106.8	129.3	143.3	180.2	179.2	159.0	133.4	146.4	1573.5
LIMITE INFERIOR	119.8	125.7	107.5	72.2	70.2	91.2	98.7	133.5	138.9	121.6	100.6	112.5	1448.7
VALORES EXTREMOS, HISTÓRICOS E SINTÉTICOS, DAS PRECIPITAÇÕES MENSAIS E ANUAIS													
SÉR. HISTÓR.-MÍNIMOS	57.7	49.9	42.9	7.7	15.8	81.7	37.7	14.8	47.2	54.9	12.3	46.3	887.7
SÉR. SINT.-MÍNIMOS	23.7	5.8	17.6	3.5	3.3	1.8	3.8	4.1	8.2	16.1	12.6	16.8	949.1
SÉR. HISTÓR.-MÁXIMOS	256.3	262.4	263.7	201.2	245.0	261.7	705.2	411.5	378.4	294.2	281.4	294.9	2636.7
SÉR. SINT.-MÁXIMOS	327.7	405.2	308.3	294.7	279.9	390.8	402.5	532.2	372.3	377.7	331.6	362.3	2156.9

Tabela E.2.1 - Bacia do Rio Pelotas (Passo do Nandes) - Caso 4  
 Resumo Comparativo entre as Precipitações Históricas e Sintéticas  
 Foram Geradas 63 Séries de 32 anos (2.016 anos)  
 Precipitações em milímetros

NÚMERO DE DIAS CHUVOSOS - VALORES MÉDIOS DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DOS VALORES MÉDIOS DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS.

SÉRIE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
HISTÓRICA 1952/1983	22.7	20.0	19.6	15.1	14.2	15.5	15.7	15.3	17.7	19.0	17.4	19.3	212.3
SÉR. SINT.-VAL. MIN.	20.4	18.5	17.9	13.6	12.0	13.9	13.8	14.0	16.2	16.4	16.8	17.6	205.3
SÉR. SINT.-VAL. MÉD.	21.7	20.7	19.9	15.5	14.1	15.6	15.4	16.1	17.3	18.7	18.2	19.2	212.4
SÉR. SINT.-VAL. MÁX.	23.4	22.6	21.1	17.1	16.8	17.3	17.0	17.6	18.5	20.2	20.1	20.7	217.8

NÚMERO DE SEQUÊNCIAS DE DIAS CHUVOSOS - VALORES DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS.

SÉRIE	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25	30
HISTÓRICA 1952/1983	6795	5173	3918	2265	1388	715	479	272	122	65	30
SÉR. SINT. - VAL. MIN	6569	4920	3671	2067	1197	534	301	117	33	8	2
SÉR. SINT. - VAL. MED	6796	5161	3898	2235	1354	675	437	234	100	47	18
SÉR. SINT. - VAL. MAX	6971	5358	4087	2413	1556	868	621	399	225	122	53

NÚMERO DE SEQUÊNCIAS DE DIAS SECOS - VALORES DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS.

SÉRIE	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	4	5	7	10	12	15	20	25
HISTÓRICA 1952/1983	4893	3271	2240	1533	1062	548	225	128	49	7	0
SÉR. SINT. - VAL. MIN	4717	3099	2048	1332	889	411	130	60	15	0	0
SÉR. SINT. - VAL. MÉD	4891	3256	2217	1505	1032	517	195	102	32	3	0
SÉR. SINT. - VAL. MÁX	5119	3470	2419	1696	1180	608	263	148	56	10	0

Tabela E.2.2 - Bacia do Rio Pelotas (Passo do Nandes) - Caso 4

Resumo Comparativo entre as Ocorrências das Precipitações Históricas e Sintéticas  
Foram Geradas 63 Séries de 32 anos (2.016 anos)



PRECIPITAÇÕES MENSAIS E ANUAIS - VALORES MÉDIOS DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DOS VALORES MÉDIOS DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS

SÉRIE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
HISTÓRICA 1950/1984	162.0	156.3	130.0	116.8	131.7	157.2	153.1	169.9	196.6	198.6	140.1	155.5	1867.7
SÉR. SINT.-VAL. MIN.	139.7	128.8	101.0	93.4	99.2	131.2	122.8	131.3	151.2	171.6	131.4	121.7	1778.2
SÉR. SINT.-VAL. MÉD.	158.7	153.6	129.5	118.2	132.7	156.6	153.3	165.1	194.4	197.3	154.7	145.2	1859.1
SÉR. SINT.-VAL. MÁX.	186.8	187.6	145.8	135.1	164.6	179.7	189.2	196.9	232.1	230.3	180.4	168.8	1937.3
SÉR. SINT.-D. PADRÃO	10.4	10.2	10.9	9.4	11.4	10.5	14.4	14.2	13.4	14.0	11.5	9.9	41.9

INTERVALOS DE 95% DE CONFIANÇA PARA AS MÉDIAS MENSAIS E ANUAL (CALCULADOS COM OS VALORES MÉDIOS DAS SÉRIES GERADAS)

LIMITE SUPERIOR	179.2	173.6	150.9	136.6	155.0	177.2	181.5	193.0	220.6	224.7	177.1	164.6	1941.2
LIMITE INFERIOR	138.2	133.5	108.1	99.8	110.4	136.0	125.0	137.2	168.2	169.9	132.2	125.7	1776.9

VALORES EXTREMOS, HISTÓRICOS E SINTÉTICOS, DAS PRECIPITAÇÕES MENSAIS E ANUAIS

SÉR. HISTÓR.-MÍNIMOS	22.9	27.8	50.6	16.1	11.8	37.0	44.7	16.1	60.8	92.3	10.9	50.6	1198.5
SÉR. SINT.-MÍNIMOS	28.1	5.7	12.8	1.3	0.9	5.0	3.1	7.1	25.1	18.0	16.7	6.7	1050.3
SÉR. HISTÓR.-MÁXIMOS	325.6	307.7	205.4	269.4	394.4	425.2	618.5	436.5	427.1	467.5	309.2	416.8	2742.4
SÉR. SINT.-MÁXIMOS	435.5	400.9	366.4	429.1	449.4	569.4	579.6	556.0	601.1	629.4	492.8	401.4	2796.2

Tabela E.3.1 - Bacia do Rio Passo Fundo (Barragem Passo Fundo) - Caso 6  
 Resumo Comparativo entre as Precipitações Históricas e Sintéticas  
 Foram Geradas 60 Séries de 35 anos (2.100 anos)  
 Precipitações em milímetros

NÚMERO DE DIAS CHUVOSOS - VALORES MÉDIOS DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DOS VALORES MÉDIOS DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS.

SÉRIE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
HISTÓRICA 1950/1984	17.8	16.5	15.4	11.5	11.6	13.7	13.7	14.4	15.3	15.6	13.3	15.0	173.7
SÉR. SINT.-VAL. MIN.	15.7	14.7	14.2	10.0	10.3	12.2	12.0	12.8	13.5	13.7	12.7	13.1	168.0
SÉR. SINT.-VAL. MÉD.	17.5	16.2	15.5	11.6	11.7	13.6	13.8	14.4	15.1	15.5	14.6	14.4	173.7
SÉR. SINT.-VAL. MÁX.	18.8	17.7	17.0	13.1	13.5	14.9	15.1	16.2	16.4	17.2	16.6	15.6	178.5

NÚMERO DE SEQUÊNCIAS DE DIAS CHUVOSOS - VALORES DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS.

SÉRIE	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25	30
HISTÓRICA 1950/1984	6081	4055	2675	1227	606	249	145	78	25	7	2
SÉR. SINT. - VAL. MIN	5908	3802	2402	1016	456	145	54	19	3	0	0
SÉR. SINT. - VAL. MED	6081	4042	2653	1200	574	213	114	56	15	2	0
SÉR. SINT. - VAL. MAX	6246	4192	2804	1350	691	304	182	95	37	12	2

NÚMERO DE SEQUÊNCIAS DE DIAS SECOS - VALORES DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS.

SÉRIE	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	4	5	7	10	12	15	20	25
HISTÓRICA 1950/1984	6703	4677	3317	2344	1672	872	347	108	85	14	0
SÉR. SINT. - VAL. MIN	6538	4481	3108	2140	1494	723	238	102	25	1	0
SÉR. SINT. - VAL. MÉD	6702	4664	3298	2324	1649	847	322	167	70	11	0
SÉR. SINT. - VAL. MÁX	6876	4858	3504	2515	1817	962	411	233	116	26	0

Tabela E.3.2 - Bacia do Rio Passo Fundo (Barragem Passo Fundo) - Caso 6  
 Resumo Comparativo entre as Ocorrências das Precipitações Históricas e Sintéticas  
 Foram Geradas 60 Séries de 32 anos (2.016 anos)

PRECIPITAÇÕES MENSAIS E ANUAIS - VALORES MÉDIOS DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DOS VALORES MÉDIOS DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS

SÉRIE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
HISTÓRICA 1940/1984	150.9	144.6	125.3	94.9	101.5	118.5	122.1	139.1	148.5	150.2	116.1	131.7	1543.3
SÉR. SINT.-VAL. MIN.	138.1	125.3	110.8	73.9	84.9	100.2	103.6	108.0	130.8	132.6	98.1	109.2	1464.9
SÉR. SINT.-VAL. MÉD.	149.1	143.8	127.4	96.9	100.8	120.8	118.6	138.6	148.4	149.7	115.4	127.0	1536.6
SÉR. SINT.-VAL. MÁX.	168.1	159.0	140.6	114.5	116.9	149.1	137.4	167.2	173.5	175.5	129.7	146.0	1602.3
SÉR. SINT.-D. PADRÃO	6.8	8.0	7.2	8.6	7.3	10.0	8.9	11.4	9.1	11.0	6.8	7.6	31.1
INTERVALOS DE 95% DE CONFIANÇA PARA AS MÉDIAS MENSAIS E ANUAL (CALCULADOS COM OS VALORES MÉDIOS DAS SÉRIES GERADAS)													
LIMITE SUPERIOR	162.4	159.5	141.4	113.7	115.1	140.3	136.0	160.9	166.2	171.3	128.7	142.0	1597.5
LIMITE INFERIOR	135.7	128.2	113.4	80.1	86.6	101.2	101.3	116.3	130.5	128.2	102.1	112.1	1475.6
VALORES EXTREMOS, HISTÓRICOS E SINTÉTICOS, DAS PRECIPITAÇÕES MENSAIS E ANUAIS													
SÉR. HISTÓR.-MÍNIMOS	38.8	55.8	46.6	7.3	13.8	21.0	49.1	8.7	24.7	69.4	17.5	28.0	1038.2
SÉR. SINT.-MÍNIMOS	27.2	23.4	14.3	3.6	3.5	4.8	3.9	8.8	15.9	13.4	7.2	19.1	894.1
SÉR. HISTÓR.-MÁXIMOS	295.7	277.8	241.3	216.2	281.6	243.5	705.0	333.7	357.1	349.8	314.8	278.1	2688.4
SÉR. SINT.-MÁXIMOS	382.0	424.3	322.4	302.0	406.4	413.5	434.9	453.2	481.1	388.9	382.9	364.8	2279.1

Tabela E.4.1 - Bacia do Rio Uruguai (Itá) - caso 8a  
 Resumo Comparativo entre as Precipitações Históricas e Sintéticas  
 Foram Geradas 45 Séries de 45 anos (2.025 anos)  
 Precipitações em milímetros

NÚMERO DE DIAS CHUVOSOS - VALORES MÉDIOS DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DOS VALORES MÉDIOS DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS.

SÉRIE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
HISTÓRICA 1940/1984	24.3	22.7	22.2	16.9	16.2	16.9	17.3	17.2	18.9	20.7	19.1	20.9	233.2
SÉR. SINT.-VAL. MÍN.	22.7	21.2	20.9	15.5	14.3	15.2	15.6	15.7	17.9	19.5	17.9	19.6	227.1
SÉR. SINT.-VAL. MÉD.	23.7	22.5	22.6	17.4	15.9	17.1	17.0	17.0	19.0	20.6	19.3	20.5	232.6
SÉR. SINT.-VAL. MÁX.	24.8	23.9	24.1	19.1	17.4	18.7	18.3	18.4	20.4	21.8	20.8	22.0	237.0

NÚMERO DE SEQUÊNCIAS DE DIAS CHUVOSOS - VALORES DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS.

SÉRIE	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	5	7	10	12	15	20	25	30
HISTÓRICA 1940/1984	10495	8347	6622	4249	2812	1625	1187	781	438	252	155
SÉR. SINT. - VAL. MÍN	10219	8029	6287	3908	2475	1321	903	542	252	102	49
SÉR. SINT. - VAL. MÉD	10469	8306	6571	4182	2744	1557	1117	716	382	206	117
SÉR. SINT. - VAL. MÁX	10667	8533	6810	4440	2943	1717	1279	856	498	309	209

NÚMERO DE SEQUÊNCIAS DE DIAS SECOS - VALORES DA SÉRIE HISTÓRICA E VALORES MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DAS SÉRIES SINTÉTICAS GERADAS.

SÉRIE	DURAÇÃO (DIAS)										
	1	2	3	4	5	7	10	12	15	20	25
HISTÓRICA 1940/1984	5942	3794	2477	1610	1055	495	171	88	33	2	0
SÉR. SINT. - VAL. MÍN	5769	3636	2316	1463	911	393	111	46	15	0	0
SÉR. SINT. - VAL. MÉD	5967	3805	2480	1609	1052	489	165	81	28	0	0
SÉR. SINT. - VAL. MÁX	6217	4028	2673	1773	1207	597	230	130	50	4	0

Tabela E.4.2 - Bacia do Rio Uruguai (Itá)-Caso 8a  
Resumo Comparativo entre as Ocorrências das Precipitações Históricas e Sintéticas  
Foram Geradas 45 Séries de 45 anos (2.025 anos)

APÊNDICE F

CURVAS EMPÍRICAS DE FREQUÊNCIAS RELATIVAS ACUMULADAS  
DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS ANUAIS OBSERVADAS E GERADAS

ESQUEMA DE NUMERAÇÃO DAS FIGURAS: x.y.z

x - relativo ao apêndice

y - relativo à bacia hidrográfica

1 - Canoas

2 - Pelotas

3 - Passo Fundo

4 - Uruguai

z - número da figura

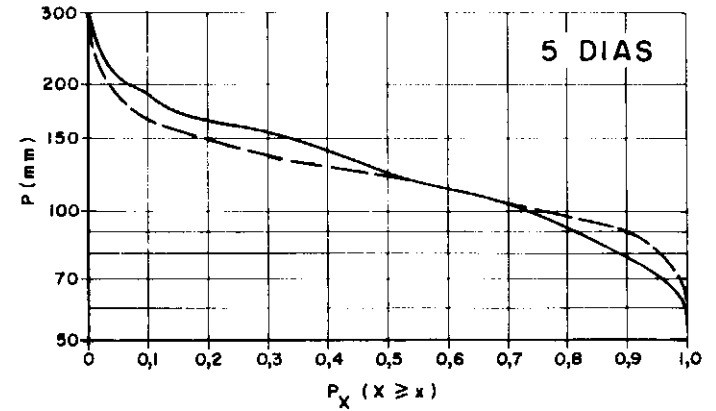
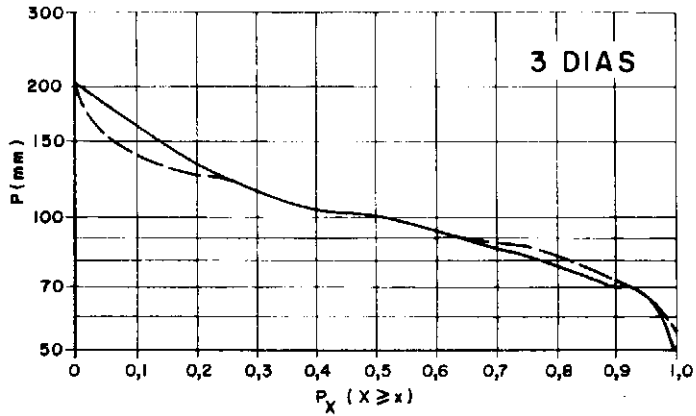
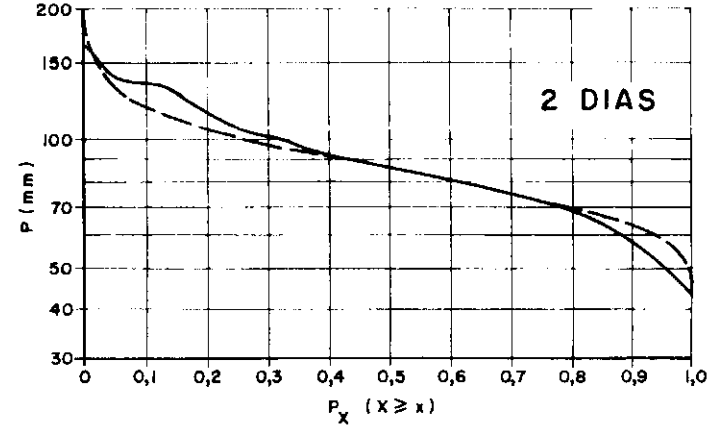
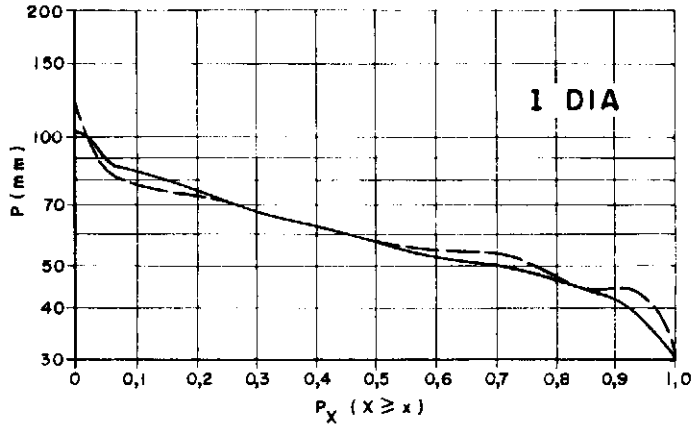


FIGURA F.1.1 — CURVAS EMPÍRICAS DE FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DAS CHUVAS DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS PARA AS DURAÇÕES INDICADAS — BACIA DO RIO CANOAS ATÉ COLÔNIA SANTANA  
 ——— DADOS HISTÓRICOS (1925 a 1986) — — — DADOS GERADOS (ANOS 1 a 1000) CASO 9

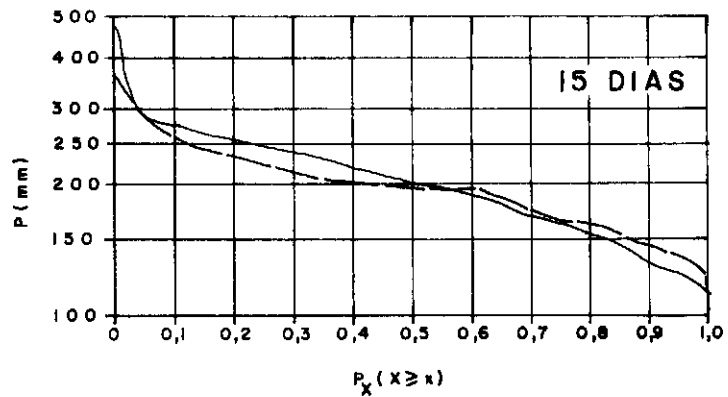
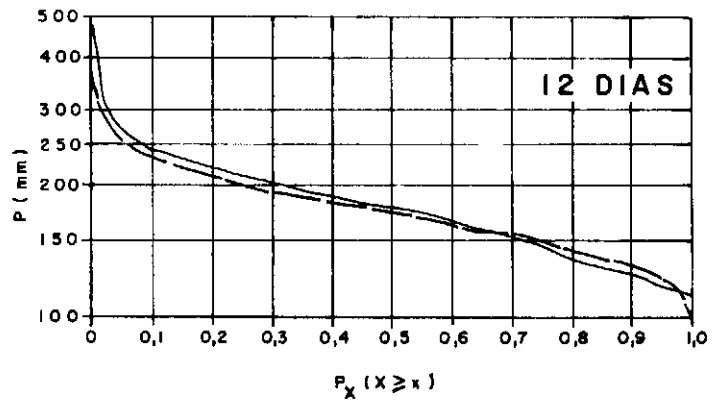
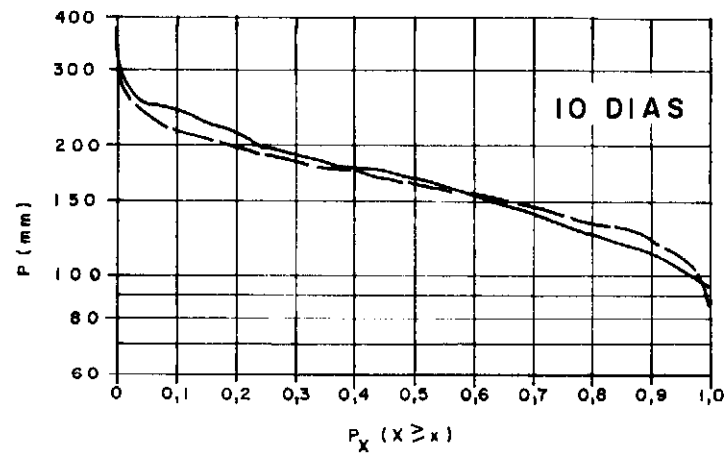
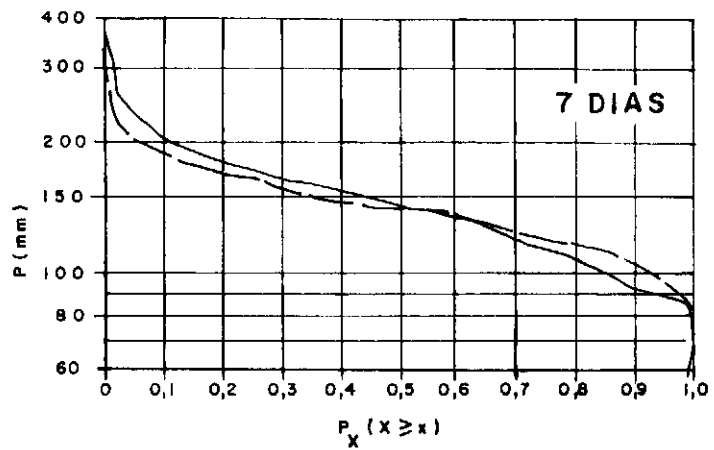


FIGURA F.1.2 — CURVAS EMPÍRICAS DE FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DAS CHUVAS DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS PARA AS DURAÇÕES INDICADAS — BACIA DO RIO CANOAS ATÉ COLÔNIA SANTANA  
 ——— DADOS HISTÓRICOS (1925 a 1986) — — — DADOS GERADOS (ANOS 1 a 1000) CASO 9

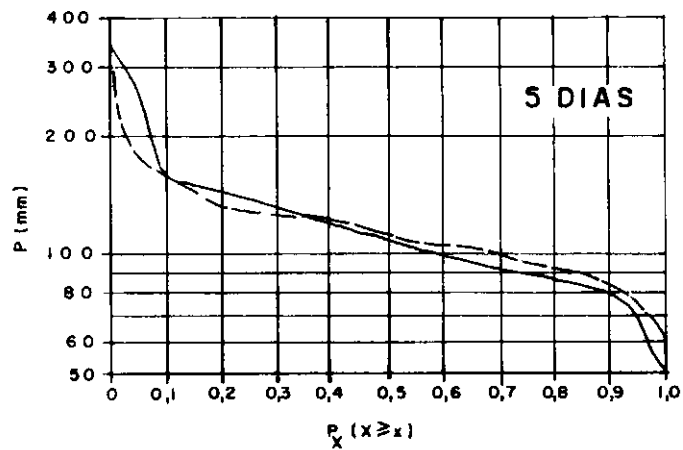
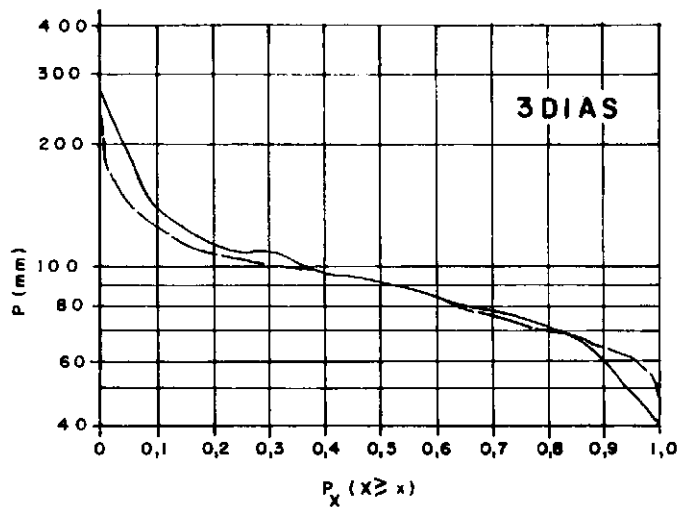
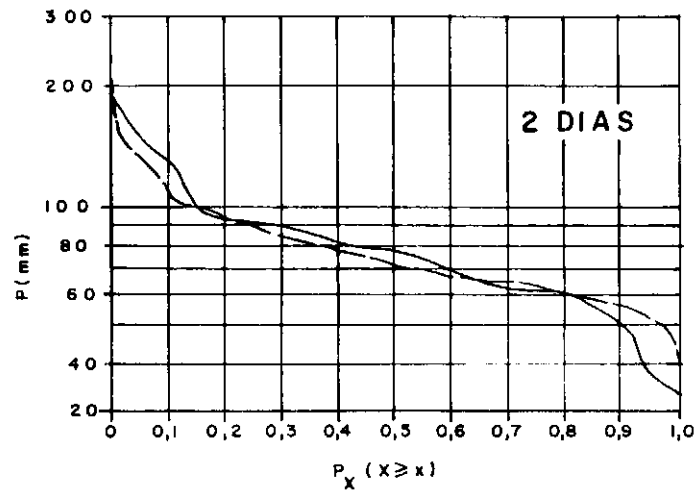
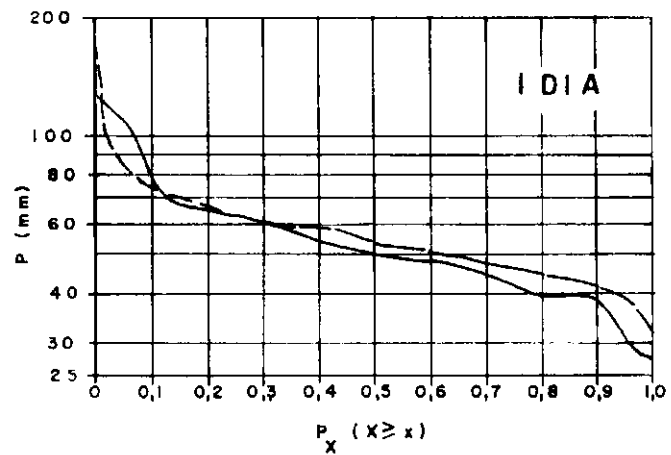


FIGURA F.2.1 — CURVAS EMPÍRICAS DE FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DAS CHUVAS DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS PARA AS DURAÇÕES INDICADAS — BACIA DO RIO PELotas ATÉ PASSO DO NANDES  
 ——— DADOS HISTÓRICOS (1940 a 1983) — — — DADOS GERADOS (ANOS 1 a 1000) CASO 4 A



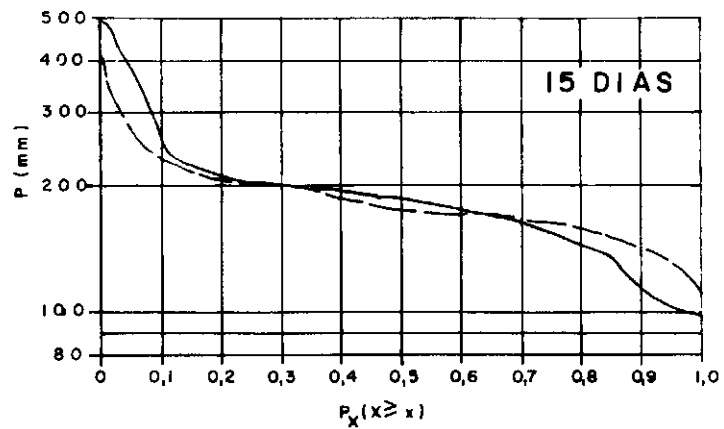
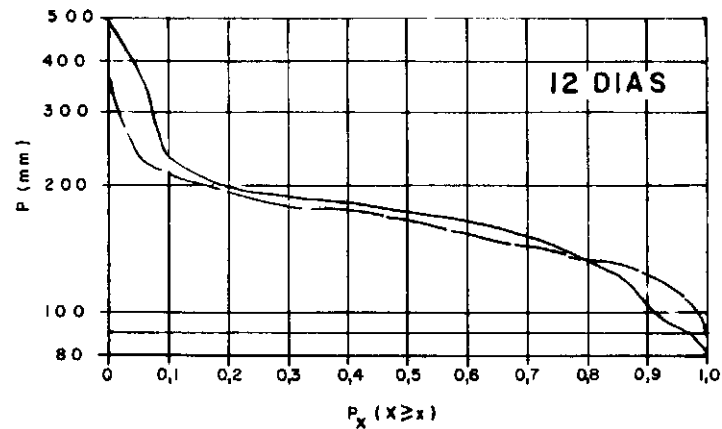
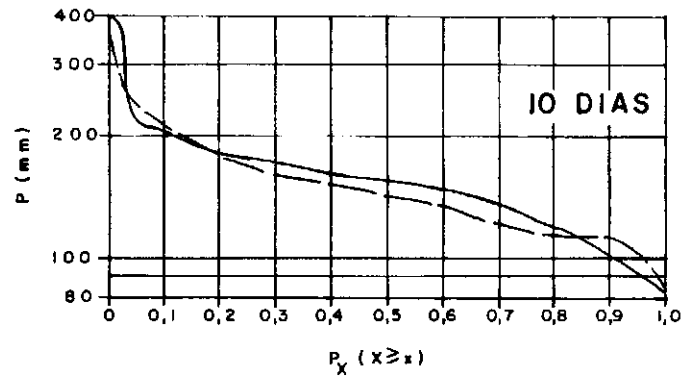
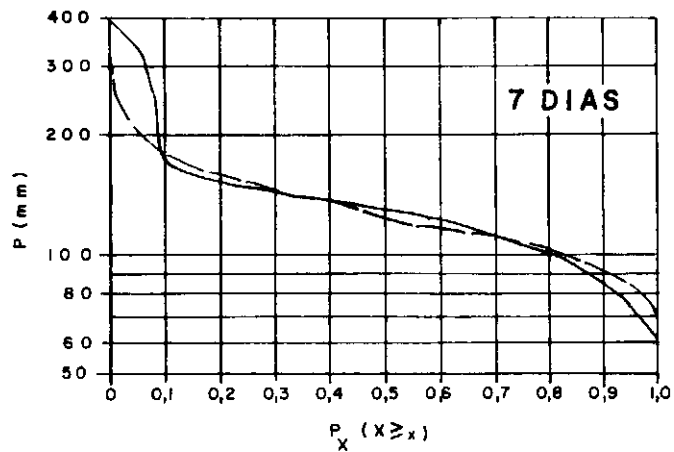


FIGURA F.2.2 — CURVAS EMPÍRICAS DE FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DAS CHUVAS DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS PARA AS DURAÇÕES INDICADAS — BACIA DO RIO PELOTAS ATÉ PASSO DO NANDES  
 ——— DADOS HISTÓRICOS (1940 a 1983) — — — DADOS GERADOS (ANOS 1 a 1000) CASO 4A

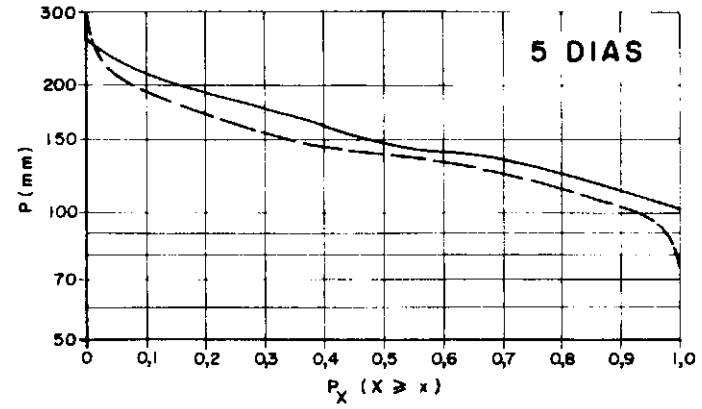
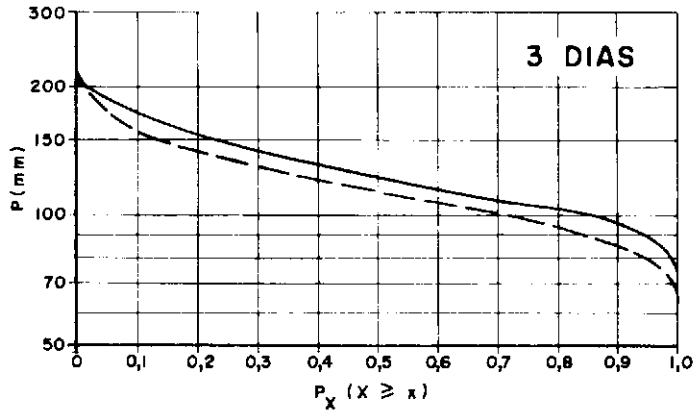
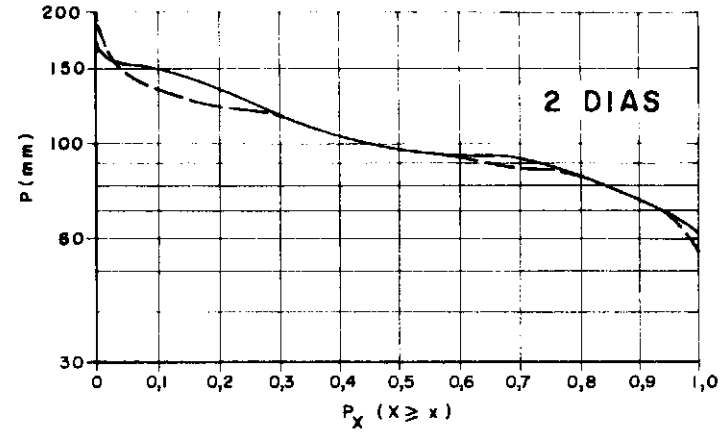
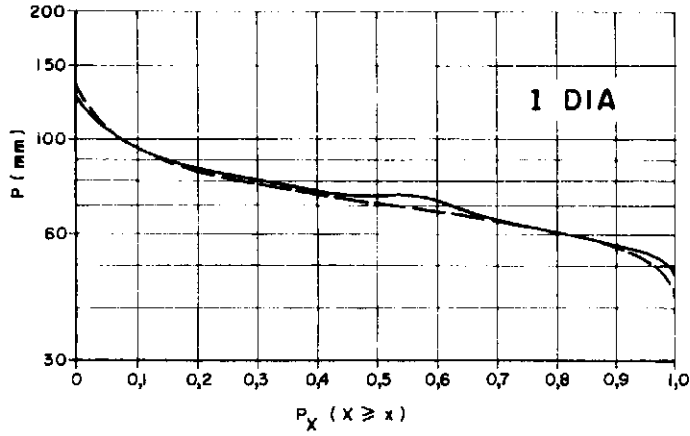


FIGURA F.3.1 — CURVAS EMPÍRICAS DE FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DAS CHUVAS DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS PARA AS DURAÇÕES INDICADAS — BACIA DO RIO PASSO FUNDO ATÉ PASSO FUNDO  
 — DADOS HISTÓRICOS (1950 a 1984) — — — DADOS GERADOS (ANOS 1 a 1000) CASO 6

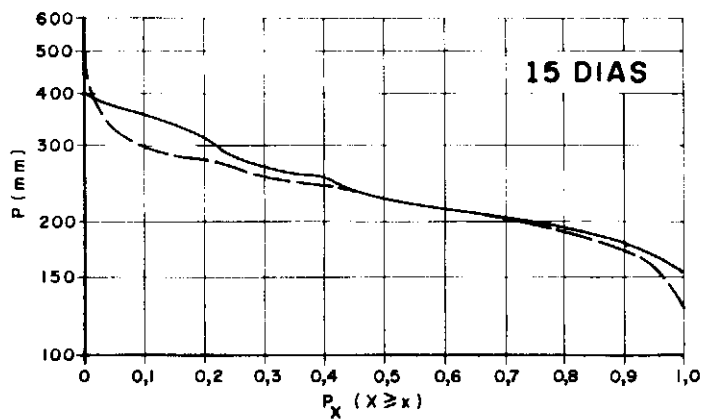
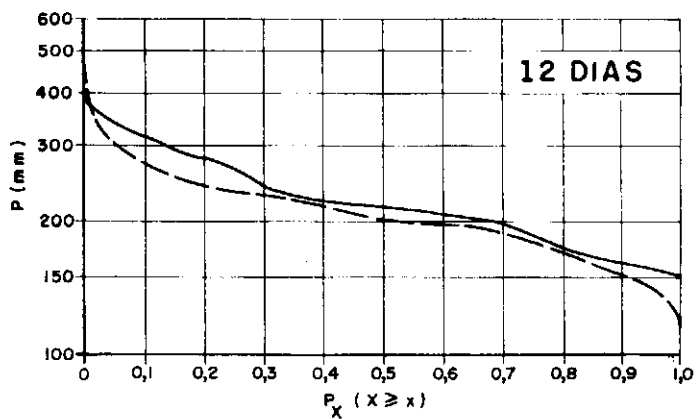
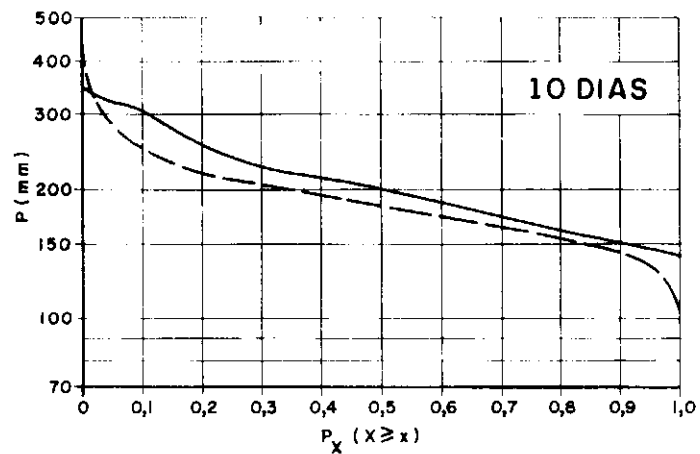
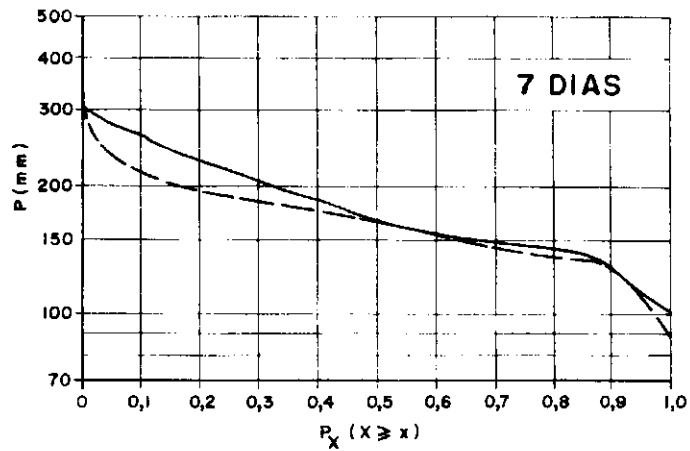


FIGURA F.3.2 — CURVAS EMPÍRICAS DE FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DAS CHUVAS DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS PARA AS DURAÇÕES INDICADAS — BACIA DO RIO PASSO FUNDO ATÉ PASSO FUNDO  
 — DADOS HISTÓRICOS (1950 a 1984) — — DADOS GERADOS (ANOS 10.000) CASO 6

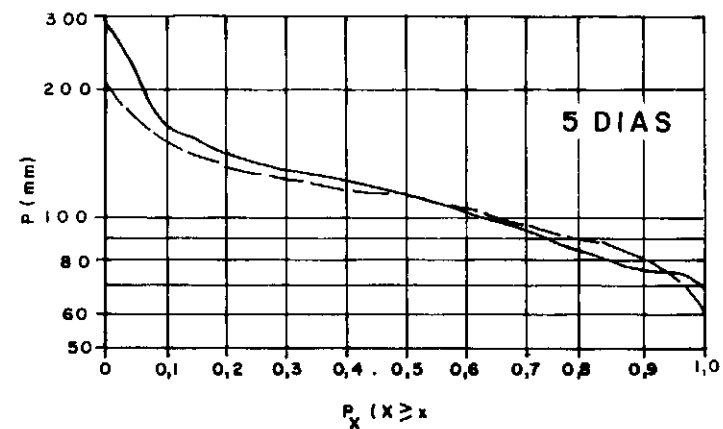
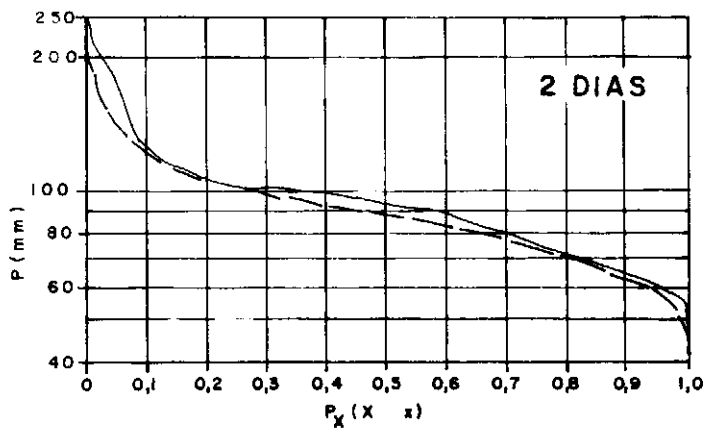
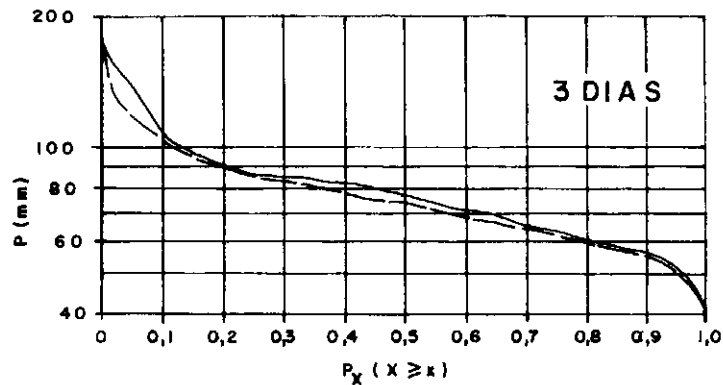
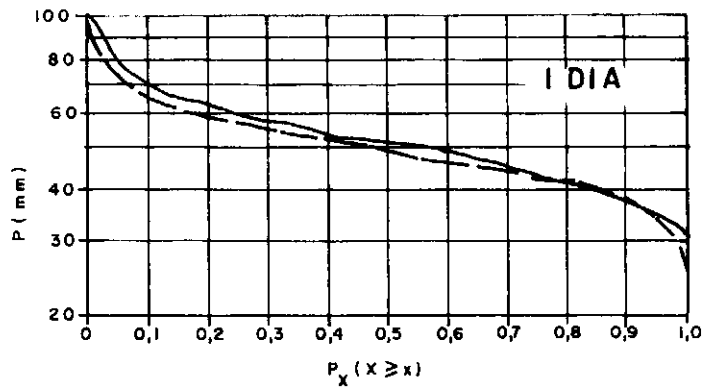


FIGURA F.4.1 — CURVAS EMPÍRICAS DE FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DAS CHUVAS DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS PARA AS DURAÇÕES INDICADAS — BACIA DO RIO URUGUAI ATÉ ITÁ  
 ——— DADOS HISTÓRICOS (1940 a 1984) — — — DADOS GERADOS (ANOS L a 1000) CASO 8A

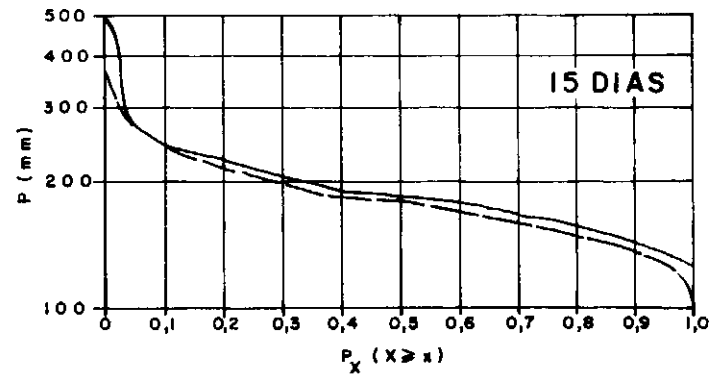
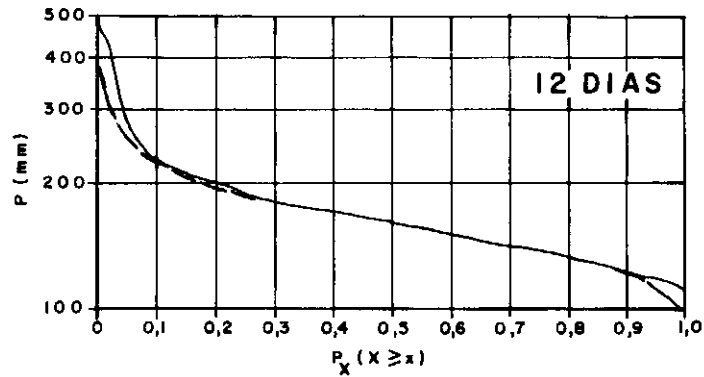
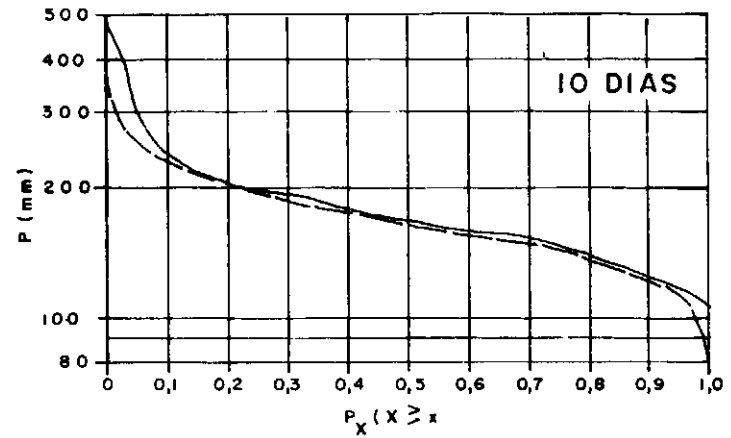
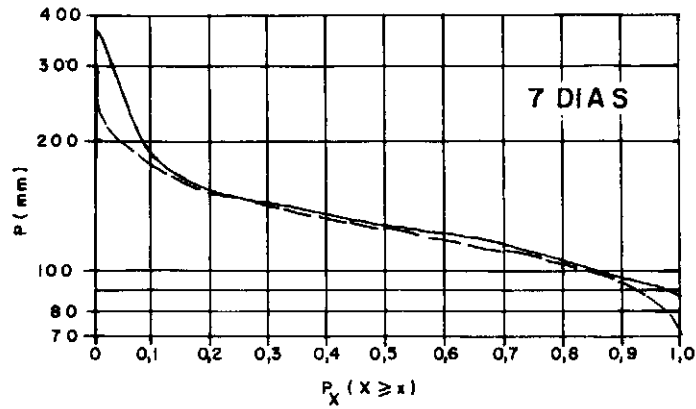


FIGURA F.4.2 CURVAS EMPÍRICAS DE FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DAS CHUVAS DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS PARA AS DURAÇÕES INDICADAS — BACIA DO RIO URUGUAI ATÉ ITÁ  
 ——— DADOS HISTÓRICOS (1940 a 1984) — — — DADOS GERADOS (ANOS 1 a 1000) CASO 8A