



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS II — CAMPINA GRANDE

UM MODELO ESTOCASTICO DE PREVISAO DA PRECIPITACAO
MEDIA EM UMA BACIA HIDROGRAFICA

CRISTINA MARIA MAGALHAES GRANADEIRO RIO

CAMPINA GRANDE

JULHO - 1988

CRISTINA MARIA MAGALHAES GRANADEIRO RIO

UM MODELO ESTOCASTICO DE PREVISÃO DA PRECIPITAÇÃO
MÉDIA EM UMA BACIA HIDROGRAFICA

Dissertação apresentada ao Curso
de MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL
da Universidade Federal da Paraíba,
em cumprimento às exigências
para obtenção do Grau de Mestre

AREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

VAJAPEYAN SRIRANGACHAR SRINIVASAN

Orientador

CAMPINA GRANDE

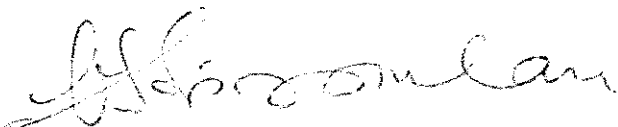
JULHO- 1988

R585m	Rio, Cristina Maria Magalhães Granadeiro. Um modelo estocástico de previsão de precipitação média em uma bacia hidrográfica / Cristina Maria Magalhães Granadeiro Rio. - Campina Grande, 1988. 227 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1988. "Orientação : Prof. Dr. Vajapeyan Srirangachar Srinivasan". Referências. 1. Bacias Hidrográficas - Recursos Hídricos. 2. Precipitação. 3. Bacia Hidrográfica do Jaguaribe. 4. Modelo Estocástico. 5. Dissertação - Engenharia Civil. I. Srinivasan, Vajapeyam Srirangachar. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título CDU 626:556.51(043)
-------	--

UM MODELO ESTOCASTICO DE PREVISÃO DA PRECIPITAÇÃO
MÉDIA EM UMA BACIA HIDROGRAFICA

CRISTINA MARIA MAGALHAES GRANADEIRO RIO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 25/07/88


Prof. VAJAPEYAN SRIRANGACHAR SRINIVASAN - Ph. D
Orientador


UBALD KOCH - Dr. Ing.
Componente da Banca


BERNARDO BARBOSA DA SILVA - M. Sc.
Componente da Banca

AGRADECIMENTOS

Após a conclusão de um trabalho de pesquisa em que diversas pessoas e diferentes recursos se fazem necessários para a sua elaboração, a autora quer expressar seu agradecimento a todos que de alguma forma tiveram participação. Em especial, ao orientador deste trabalho, Professor Dr. Vajapeyan S. Srinivasan, pela sua extrema atenção, ao Professor Dr. Alexander Lattermann, também orientador durante a fase inicial deste trabalho e que infelizmente teve seu regresso à Alemanha antecipado, aos professores e funcionários da Área de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, aos funcionários do NPD (Núcleo de Processamento de Dados) dos Campi I e II da UFPE, ao Departamento de Ciências Atmosféricas da UFPE, Campus II, pelo empréstimo de fitas contendo os dados necessários para a elaboração deste, ao professor João Agnaldo do Nascimento do Departamento de Estatística da UFPE, Campus I, a Raimundo de Gouveia Nóbrega Filho do Departamento de Informática da UFPE, Campus I, pelo apoio e facilidades concedidas, a Brauner Lemos e Emanuel dos Santos, alunos do Curso de Informática da UFPE e, finalmente, a Joaquim, Diracy, Victor e Antonio Carlos, que em todos os momentos demonstraram estar presentes transmitindo força e estímulo.

Aos meus pais
Joaquim e Diracy

SUMÁRIO

	PAGINA
1 - INTRODUÇÃO	01
2 - MODELOS DE PREVISAO DE CHUVA	06
2.1 - Tipos de Modelos	06
2.2 - Modelos Estocásticos de Previsão de Chuva	07
2.3 - O Modelo Estocástico de Markov	09
2.3.1 - Cadeias de Markov	10
2.3.2 - Matriz de Transição de 1 Fase ...	11
2.3.3 - Matriz de Transição para Fases Subsequentes	12
2.3.4 - Distribuição de uma cadeia de Markov.....	16
2.3.5 - Cadeias de Markov Regulares	18
2.4 - Aplicação da Cadeia de Markov.....	20
3 - A BACIA DO JAGUARIBE	22
4 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE PREVISAO	28
4.1 - A Cadeia de Markov	28
4.2 - Seleção dos Intervalos de Classe da Matriz	31

	PAGINA
4.3 - Seleção de um modelo empírico	38
4.3.1 - A Distribuição Gamma	40
4.3.2 - Testes de Ajustamento da função de distribuição de probabilidades à distribuição empírica	41
4.3.2.1 - Método de Kolmogorov-Smirnov	42
4.4 - O Modelo obtido para a série de 1946-1970	42
4.5 - O Modelo obtido para a série de 1948-1983	49
4.6 - Análise dos Resultados	54
4.7 - Considerações finais	66
 5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E APLICAÇÃO PARA OUTRAS BACIAS	 68
5.1 - Estimativa da Precipitação	68
5.1.1 - A Bacia do Salgado	68
5.1.2 - A Bacia do Banabuiú	77
5.1.3 - A Bacia do Jaguaribe II	84
5.1.4 - Comentários finais	92
5.2 - Estimativa do Escoamento Superficial	93
5.2.1 - O Modelo Chuva-Deflúvio	95
5.2.2 - A Bacia do Salgado	98
5.2.3 - A Bacia do Jaguaribe II	112
5.3 - Considerações finais	124
 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	 125
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 128

	PAGINA
APENDICE I (Figuras e Gráficos)	130
APENDICE II (Tabelas Complementares)	170
APENDICE III (Programas)	198

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PAGINA
4.1 - Representação da matriz de frequências de transição de 12 classes	33
4.2 - Estimativa da Precipitação (Série 1946-1970)	57
4.3 - Estimativa da Precipitação (Série 1948-1983)	61
5.1 - Estimativa da Precipitação (Bacia do Salgado)	75
5.2 - Estimativa da Precipitação (Bacia do Banabuiú)	82
5.3 - Estimativa da Precipitação (Bacia do Jagua - ribe II)	89
5.4 - Hidrograma Unitário da bacia do Salgado	101
5.5 - Estimativa da Vazão (Bacia do Salgado).....	104
5.6 - Estimativa da Vazão (Bacia do Salgado)	107
5.7 - Estimativa da Vazão (Bacia do Salgado)	110
5.8 - Hidrograma Unitário da bacia do Jaguaribe II	114
5.9 - Estimativa da Vazão (Bacia do Jaguaribe II) .	116
5.10 - Estimativa da Vazão (Bacia do Jaguaribe II) .	119
5.11 - Estimativa da Vazão (Bacia do Jaguaribe II) .	121

LISTA DAS TABELAS

TABELA	PAGINA
4.1 - Matriz de Transição de 12 classes	33
4.2 - Matriz das Frequencias Absolutas da série de 1946-1970	44
4.3 - Matriz das Probabilidades de Transição da série de 1946-1970	44
4.4 - Matriz das Probabilidades de Transição Acumu- ladas da série de 1946-1970	47
4.5 - Parâmetros da Distribuição Gamma (série 1946-1970).....	47
4.6 - Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov	48
4.7 - Previsão da Precipitação para alguns níveis de probabilidade (série 1946-1970)	49
4.8 - Matriz das Frequencias Absolutas da série de 1948-1983	50
4.9 - Matriz das Probabilidades de Transição (série 1948-1983)	51
4.10 - Matriz das Probabilidades de Transição Acumu- ladas (série de 1948-1983)	51
4.11 - Parâmetros da Distribuição Gamma (série 1948-1983)	52
4.12 - Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov	52
4.13 - Previsão da Precipitação para alguns níveis de probabilidade	53
4.14 - Estimativa da Precipitação	56

TABELA	PAGINA
4.15 - Estimativa da Precipitação.....	59
4.16 - Estimativa da Precipitação.....	60
4.17 - Estimativa da Precipitação.....	63
4.18 - Número de eventos cujo valor observado não su- pera o valor estimado (Série 1946-1970).....	65
4.19 - Número de eventos cujo valor observado não su- pera o valor estimado (Série 1948-1983).....	65
5.1 - Matriz das Frequencias Absolutas da bacia do Salgado	70
5.2 - Matriz das Probabilidades de Transição da bacia do Salgado	70
5.3 - Matriz das Probabilidades de Transição Acumula- das da bacia do Salgado	71
5.4 - Parâmetros da Distribuição Gamma (bacia do Salgado).....	71
5.5 - Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov (Bacia do Salgado).....	72
5.6 - Previsão da Precipitação para alguns níveis de probabilidade (bacia do Salgado)	73
5.7 - Estimativa da Precipitação	73
5.8 - Estimativa da Precipitação	74
5.9 - Estimativa da Precipitação	77
5.10 - Matriz das Frequencias Absolutas da bacia do Banabuiú	78
5.11 - Matriz das Probabilidades de Transição da bacia do Banabuiú	79
5.12 - Matriz das Probabilidades de Transição Acumula- das da bacia do Banabuiú	79

TABELA	PAGINA
5.13 - Parâmetros da Distribuição Gamma (bacia do Banabuiu)	79
5.14 - Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov (bacia do Banabuiu)	80
5.15 - Previsão da Precipitação para alguns níveis de probabilidade (bacia do Banabuiu)	80
5.16 - Estimativa da Precipitação (bacia do Banabuiu)	81
5.17 - Estimativa da Precipitação (bacia do Banabuiu)	81
5.18 - Estimativa da Precipitação (bacia do Banabuiu)	84
5.19 - Matriz das Frequências Absolutas da bacia do Jaguaribe II.....	85
5.20 - Matriz das Probabilidades de Transição da bacia do Jaguaribe II	85
5.21 - Matriz das Probabilidades de Transição Acumuladas da bacia do Jaguaribe II.....	86
5.22 - Parâmetros da Distribuição Gamma (bacia do Jaguaribe II)	86
5.23 - Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov (bacia do Jaguaribe II)	87
5.24 - Previsão da Precipitação para alguns níveis de probabilidade (bacia do Jaguaribe II)	87
5.25 - Estimativa da Precipitação (bacia do Jaguaribe II)	88
5.26 - Estimativa da Precipitação (bacia do Jaguaribe II)	91
5.27 - Estimativa da Precipitação (bacia do Jaguaribe II)	91

TABELA**PAGINA**

5.28 - Eventos utilizados no cálculo do H.U. (Bacia do Salgado)	98
5.29 - Escoamento direto usado no cálculo do H.U. (Bacia do Salgado)	99
5.30 - Ordenadas do H.U. Não Linear (Bacia do Salgado)	100
5.31 - Estimativa das Vazões (Bacia do Salgado)	103
5.32 - Estimativa das Vazões (Bacia do Salgado)	106
5.33 - Estimativa das Vazões (Bacia do Salgado)	109
5.34 - Eventos utilizados no cálculo do H.U. (Bacia do Jaguaribe II)	112
5.35 - Escoamento direto utilizado no cálculo do H.U. (Bacia do Jaguaribe II)	113
5.36 - Ordenadas do H.U. Não Linear (Bacia do Jaguaribe II)	113
5.37 - Estimativa das Vazões (Bacia do Jaguaribe II)	115
5.38 - Estimativa das Vazões (Bacia do Jaguaribe II)	118
5.39 - Estimativa das Vazões (Bacia do Jaguaribe II)	121

LISTA DE VARIÁVEIS

VARIÁVEIS

- c - Coeficiente de deflúvio
- f_{ij} - Frequência absoluta de transição do estado i para o estado j
- $F(x)$ - Função de distribuição das probabilidades acumuladas do modelo
- $g(\tau, \sigma)$ - Função kernel de 2ª ordem da série de Volterra
- $G(x)$ - Função de distribuição das probabilidades acumuladas das amostras
- $h(\tau)$ - Função kernel de 1ª ordem da série de Volterra
- N - Precipitação efetiva estimada a partir da chuva observada
- N' - Precipitação efetiva estimada a partir da chuva prevista pelo modelo
- P_{ij} - Probabilidade de transição do estado i para o estado j
- $P(n)$ - Matriz de transição de n fases
- P - Precipitação observada
- P' - Precipitação estimada pelo modelo
- $Q(t)$ - Vazão resultante da superposição das ondas de cheia $Y(t)$
- $Q'(t)$ - Vazão resultante da superposição das ondas de cheia $Y'(t)$

VARIAVEIS

- Q_D - Vazão Básica
- $U(t)$ - Ordenada do Hidrograma Unitário no tempo t
- V - Vetor da distribuição de equilíbrio da cadeia de Markov
- $X(t)$ - Variável de entrada de um modelo (Precipitação efetiva)
- $Y(t)$ - Variável de saída de um modelo (Vazão)
- $Y'(t)$ - Vazão calculada pelo modelo a partir de N'
- α - Parâmetro de escala da função Gamma
- b - Parâmetro de forma da função Gamma
- Γ - Função Gamma
- μ - Média
- $\pi(n)$ - Vetor de distribuição da cadeia de Markov no tempo n
- σ - Desvio Padrão

RESUMO

Desenvolve-se neste trabalho um modelo estocástico de previsão da altura de chuva média esperada no dia seguinte em uma bacia, com base nas cadeias de Markov. Os eventos são considerados em pares - no estado presente e no estado posterior - e distribuídos numa matriz de transição simétrica de modo que, todas as classes consideradas tenham uma boa representação dos eventos registrados. Ajustando-se uma distribuição probabilística a cada linha da matriz de transição obtém-se um modelo estocástico de previsão de chuva no estado posterior baseado no nível da precipitação observada no estado presente. Esse modelo foi desenvolvido para a bacia do Jaguaribe e para tres das suas sub-bacias. A distribuição Gamma com dois parâmetros ajustou-se bem em todos os casos, assim demonstrando a homogeneidade regional.

Com a finalidade de demonstrar a aplicação dos resultados obtidos com a utilização do modelo de previsão de chuva na estimativa da vazão desenvolve-se também um modelo chuva-deflúvio baseado no conceito de H.U. com componentes não lineares para duas sub-bacias da bacia do Jaguaribe. Os resultados mostram que o modelo chuva-deflúvio é consistente e as vazões geradas satisfazem as necessidades de previsão.

ABSTRACT

The development of a stochastic model for the prediction of the mean basin precipitation on the day following a certain known precipitation is attempted on the present study utilizing a Markov process. The events have been considered in pairs - the present state and the subsequent state - and distributed in a symmetrical transition matrix in such a way that, all the different classes (or class intervals) have an adequate representation of the events considered. By fitting a probability distribution for each of the lines of the matrix, a stochastic forecasting model is obtained for the prediction of the precipitation in the immediate next period for a chosen level of the probability of exceedance and a known level of the precipitation at present. This model was developed for the Jaguaribe River basin and three of its sub basins. The Distribution Gamma with two parameters fitted quite well in all cases, thus demonstrating the regional homogeneity.

With the intent to demonstrate an application of the results obtained with the rainfall prediction model in the generation of basin discharges, a non linear second order rainfall-runoff was also developed utilizing two observed short period unit hydrographs for two sub basins of the river Jaguaribe. The results show that the precipitation-runoff model is consistent and the generated flows satisfy the prediction needs.

1 - INTRODUÇÃO

Entre as diversas razões que estimulam o ser humano a buscar novas tecnologias e novas formas de produção, encontra-se primeiramente o atendimento das suas necessidades básicas - só através do desenvolvimento social e econômico são satisfeitas as condições mínimas de sobrevivência e aumenta-se o bem-estar de uma população. Assim, é imprescindível em uma sociedade organizada o estabelecimento de planos de metas que traduzam os anseios dos indivíduos que a compõem, conduzindo ao desenvolvimento sócio-econômico e ao bem-estar.

Em um plano de desenvolvimento regional, o planejamento dos recursos hídricos determina as diretrizes a serem seguidas para um melhor aproveitamento, controle e conservação dos recursos hídricos disponíveis em uma região. Entretanto, devido à aleatoriedade característica dos fenômenos naturais, não se pode excluir desse planejamento o risco inerente à ocorrência de fenômenos como as secas e enchentes. Esse risco apenas pode ser diminuído ou minimizado por várias medidas de controle determinadas por um planejamento adequado.

Na zona semi-árida do Nordeste do Brasil é frequente a ocorrência das "secas", as quais não representam apenas a ausência d'água por vários anos nos leitos dos rios mas principalmente as graves alterações no quadro sócio-econômico da região. Além da distribuição das chuvas ser

bastante irregular, a situação é agravada pela alta taxa de evaporação e pela natureza cristalina dos terrenos - a água precipitada em alguns meses do ano, ao atingir o solo escoar rapidamente em direção aos rios e ou se perde pela evaporação ou é jogada no mar. A maioria dos rios que drenam essa região são intermitentes pois, sendo poucos os terrenos sedimentares, a contribuição do lençol subterrâneo é muito pequena, só se verificando o escoamento superficial na época das chuvas.

Por outro lado, devido à natureza torrencial do regime de escoamento desses rios é frequente também nessa região a ocorrência de cheias locais, causadas pelo excesso de chuva em apenas alguns dias do ano. Na realidade, não há como se comparar os danos inesperados provocados por uma enchente aos decorrentes de uma seca que se alastra por vários anos mas, é óbvio que ambos os problemas mereçam a mesma importância quando analisados em um planejamento. Com a dupla finalidade têm sido construídos grandes reservatórios, que acumulam o volume afluente excedente no período chuvoso para utilização no período seco, e atuam no controle das cheias, regularizando o fluxo do curso d'água barrado e tornando-o perene a jusante. Contudo, por vezes a operação ineficiente desses reservatórios, em virtude da ausência de informações, acarreta problemas de maior impacto, como o das cheias causadas pela abertura brusca de comportas e da consequente liberação de um grande volume d'água acumulado a montante. Percebe-se então, que para um melhor controle das cheias em uma bacia hidrográfica é

necessário não só um planejamento adequado, no que se refere à construção de obras hidráulicas, como também uma gestão eficiente dos recursos hídricos disponíveis.

A gestão dos recursos hídricos de uma bacia requer inicialmente a existência de um sistema de coleta de dados pluviométricos e fluviométricos, através dos quais é possível prever a ocorrência de um excesso de chuva ou de uma grande onda de cheia, utilizando-se para isso modelos de previsão. Os modelos de previsão de cheias que têm sido desenvolvidos consistem principalmente de três elementos: modelos de distribuição espacial e temporal da chuva; modelos chuva-deflúvio e modelos de propagação de cheias através de reservatórios e canais de rios. Entretanto, além de não se dispor de dados de chuva e de vazão em tempo real, o que dificulta a operação dos reservatórios existentes na bacia, comumente verifica-se também a ausência de registros históricos desses dados em determinadas regiões, sendo em maior número os dados de precipitação. Em razão do último motivo exposto, os modelos chuva-deflúvio, modelos determinísticos que possibilitam a transformação da chuva captada em uma bacia na onda de vazão gerada, são bastante utilizados na previsão de cheias.

Em algumas bacias, mais especificamente nas de forma alongada, o tempo de resposta entre a ocorrência de uma chuva e a sua translação em uma onda de cheia é bastante curto e muitas vezes não há tempo suficiente para se tomarem as medidas preventivas necessárias, como a abertura de comportas e a liberação gradual de parte do volume acumulado

a montante. Nesses casos, é de interesse fazer-se uma extensão do tempo de previsão, ou seja, prever-se a onda de vazão esperada a partir do dia seguinte, por exemplo, utilizando-se como entrada num modelo chuva-deflúvio definido para um ponto da bacia, a precipitação média estimada também para o dia seguinte. Não só nessas bacias em específico, mas em qualquer outra, pode-se dessa maneira determinar mais facilmente que parte do volume acumulado em um reservatório deva ser liberado antecipadamente e contribuir para a atenuação dos prejuízos causados por um excesso de chuva.

Com esse objetivo, desenvolve-se neste trabalho um modelo de previsão da precipitação média diária em uma bacia. Sendo este um modelo estocástico, de acordo com o nível de probabilidade adotado durante a previsão, o modelo fornece a altura de chuva máxima esperada para o dia seguinte. Quanto maior o nível de probabilidade assumido na previsão, menor é a probabilidade de um evento ser superado e portanto, menor o risco assumido. Na tarefa de operação de reservatórios, no que se refere ao controle de enchentes propriamente dito, o risco que se assume ao tomar uma decisão com base na onda de vazão prevista para o dia seguinte por um modelo chuva-deflúvio, fica também associado ao nível de probabilidade utilizado na previsão da precipitação.

A utilização do modelo de previsão de chuva não fica restrita porém, à estimativa do escoamento superficial em um ponto da bacia em um determinado período. Conhecendo-se a

altura de chuva mínima que dispensa a irrigação em uma certa área pode-se, através do modelo, determinar a probabilidade ou o risco que se assume ao tomar a decisão de irrigar ou não no dia seguinte a referida área. Caso a probabilidade fornecida pelo modelo seja pequena, significa que existe uma maior probabilidade do valor mínimo esperado ser superado e, portanto, pode-se dizer que não haverá provavelmente necessidade de irrigação, o inverso ocorrendo caso a probabilidade encontrada seja elevada.

Com a finalidade de demonstrar a vantagem da utilização do modelo de previsão de chuva na estimativa do escoamento superficial, também apresenta-se neste trabalho algumas aplicações práticas realizadas considerando sub-bacias da bacia de estudo, a bacia do Jaguaribe. Tendo em vista não ser esse propriamente o objetivo do mesmo, não houve interesse em desenvolver-se modelos chuva-deflúvio mais representativos, podendo-se apenas esperar ao final uma demonstração da aplicabilidade prática da precipitação prevista pelo modelo.

2 - MODELOS DE PREVISÃO DE CHUVA

2.1 - Tipos de Modelo

Na natureza os fenômenos hidrológicos podem ser vistos como eventos que se repetem no decorrer do tempo. Esses processos podem ser representados por expressões analíticas ou curvas gráficas comumente denominadas de modelos matemáticos, os quais são classificados em *estocásticos* e *determinísticos*.

Para o estabelecimento de uma relação determinística do tipo causa-efeito, é necessário conhecerem-se todas as variáveis inerentes ao processo, capazes de descrevê-lo completamente. Geralmente, porém, verifica-se que o número de variáveis envolvidas num processo hidrológico é extremamente grande e que existem pelo menos dois motivos para se evitar o estabelecimento de relações desse tipo. Primeiramente, tem-se como limitação a economia na análise: não seria prático trabalhar-se com equações com grande número de variáveis e não se disporia certamente do tempo necessário para medir-se todas elas de forma a se poder prever o efeito causado. Como segunda limitação observa-se que, sendo a maioria dos dados hidrológicos variáveis aleatórias, ou seja, variáveis que têm como causa inúmeros fatores, sendo alguns totalmente desconhecidos, vê-se que essas relações

determinísticas são também funções de variáveis aleatórias e que, portanto, torna-se praticamente impossível eliminar-se toda a aleatoriedade existente no processo (YEVJEVICH,1972).

Então, apesar de teoricamente um problema em hidrologia poder apresentar uma solução exata, correspondente a uma solução determinística, entre as várias soluções probabilísticas existentes, dificilmente pode-se chegar a uma solução satisfatória desse tipo. Nesse processo pode-se cometer três tipos de erro quando se tenta forçar para uma aproximação determinística um fenômeno fundamentalmente probabilístico: 1) uma parte da informação total é perdida; 2) são obtidos resultados errôneos e; 3) são produzidas também soluções incorretas.

A maioria dos fenômenos hidrológicos estão assim sujeitos às leis do acaso e, cada uma das variáveis aleatórias que os descrevem devem ser vistas também como processos estocásticos. Portanto, para uma melhor compreensão e aplicação da hidrologia ao controle, conservação e desenvolvimento dos recursos hídricos é necessário o uso extensivo de métodos estatísticos.

2.2 - Modelos Estocásticos de Previsão de Chuva

O objetivo básico do uso de métodos estatísticos na hidrologia é a análise dos resultados de experimentos ou observações de fenômenos aleatórios. A partir desta análise podem ser construídos modelos matemáticos que descrevam as propriedades das variáveis aleatórias. Esses modelos apre-

sentam de forma condensada as informações extraídas de amostras da população e facilitam a previsão, em termos de probabilidade, da ocorrência de eventos no futuro.

No estudo dos processos hidrológicos são comumente utilizadas como amostras de uma população séries de tempo, nas quais pode existir uma relação de dependência entre valores observados no passado e valores observados no tempo presente. Para descrever essas relações são usados modelos do tipo auto-regressivos (YEVJEVICH,1972).

Para a estimativa da precipitação JAMIESON(1972) desenvolveu um modelo de previsão da precipitação no tempo real de operação usando um modelo auto-regressivo. GUTKNECHT(1977) considerou alturas de chuva de 1 hora em uma única estação pluviométrica como uma variável aleatória e representou-a através de cadeias de Markov de 1ª ordem consistindo de seis estados discretos. No desenvolvimento desse modelo ele somente usou as precipitações ocorridas no verão, no período de 1961-1970. JOHNSON E BRAS (1980) propuseram um modelo de previsão da precipitação não estacionário, para um intervalo de previsão de 1 hora. O modelo é baseado no filtro de Kalman. LATTERMANN (1983) desenvolveu um modelo de previsão da precipitação em intervalos de 2 horas, com base nas cadeias de Markov e considerando 8 estados discretos. GENOVEZ E CHAUDHRY (1987) desenvolveram um modelo de geração da precipitação média diária a partir de dados de um posto pluviométrico. O modelo baseia-se numa cadeia de Markov de primeira ordem e considera uma matriz de transição com apenas dois estados (dia seco ou chuvoso), sem considerar in-

intervalos de classe de precipitação. As alturas de precipitação são estimadas por meio de uma curva de distribuição de probabilidades acumulada, a distribuição Gamma, a qual foi ajustada à distribuição das probabilidades acumuladas das precipitações observadas. SRINIVASAN E GOMES (1988) desenvolveram um modelo de geração de sequências sintéticas das precipitações de múltiplas estações pluviométricas para uma bacia do Nordeste do Brasil, utilizando dados do período de 1970 a 1976. Através de um modelo de análise de variância foi relacionada a precipitação em cada estação à precipitação média diária observada na bacia. A precipitação média da bacia foi obtida a partir da distribuição Gamma, a qual ajustou-se aos valores observados.

Neste trabalho, utilizando-se também as cadeias de Markov de primeira ordem desenvolve-se um modelo de previsão da precipitação média diária em uma bacia da região semi-árida do Nordeste do Brasil. Sendo conhecida a altura da precipitação no dia anterior à previsão e estabelecendo-se o nível de probabilidade de não excedência desejado, o modelo fornece a estimativa da precipitação para o dia seguinte.

2.3 - O Modelo Estocástico de Markov

Para o desenvolvimento de um modelo de Markov é necessário o conhecimento de alguns conceitos básicos, os quais são apresentados nos itens subsequentes, juntamente com alguns exemplos práticos.

2.3.1 - Cadeias de Markov

Uma cadeia de Markov é um processo em que a probabilidade de se estar em um certo estado no tempo futuro pode depender do estado do sistema em tempos anteriores. Uma cadeia de Markov é dita de primeira ordem quando o estado do tempo futuro próximo do sistema depende somente do estado atual e de segunda ordem, quando depende dos dois últimos estados, o atual e o passado mais próximo. Esse conceito pode ser estendido, de maneira análoga, para as cadeias de Markov de ordem n . Neste trabalho são consideradas as cadeias de Markov de primeira ordem por ter sido observada, na prática, uma certa dependência entre as chuvas ocorridas em dias consecutivos.

Em uma cadeia de Markov o símbolo p_{ij} (leia-se "a probabilidade de passar do estado i para o estado j em uma fase ") é usado para representar a probabilidade (condicional) de que, dado que o sistema esteja no estado i em um certo momento, venha a estar no estado j no intervalo de tempo seguinte.

Em termos da notação abaixo, se

A = evento no período n (o sistema está no estado i)

B = evento no período $n+1$ (o sistema está no estado j)

então

$$p_{ij} = P(B/A)$$

Em geral, os p_{ij} são chamados de probabilidades de transição da cadeia de Markov. De fato, p_{ij} é a probabilidade de ocorrer uma transição do estado i para o estado j .

2.3.2 - Matriz de Transição de 1 Fase

Considerando-se uma sequência de eventos a ser representada por uma cadeia de Markov com m estados possíveis, seja p_{ij} a probabilidade de transição do estado i para o estado j . Então a matriz $m \times m$, $P = [p_{ij}]$, denomina-se matriz de transição da cadeia de Markov. Por exemplo, se a cadeia de Markov tem m estados, a matriz de transição pode ser representada por:

$$P(t_1, t_2) = p_{ij}(t_1, t_2) = \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ p_{31} & p_{32} & \dots & p_{3m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mm} \end{vmatrix}$$

onde o primeiro subscrito é relacionado ao estado i no tempo t_1 e o segundo subscrito ao estado j no tempo seguinte t_2 .

A matriz de probabilidades de transição tem as seguintes propriedades:

$$p_{ij}(t_1, t_2) \geq 0 \quad \text{e} \quad \sum_{j=1}^m p_{ij} = 1 \quad (2.1)$$

Para aplicações práticas, cada p_{ij} pode ser estimado pela expressão

$$p_{ij} = f_{ij} / \sum_{j=1}^m f_{ij} \quad (2.2)$$

onde f_{ij} são as frequências de transição do estado i para o estado j .

2.3.3 - Matriz de Transição para Fases Subsequentes

Considerando-se uma cadeia de Markov com matriz de transição $P = [p_{ij}]$, a probabilidade de transição do estado i para o estado j em dois períodos de tempo denota-se por $p_{ij}^{(2)}$. A matriz $P^{(2)} = [p_{ij}^{(2)}]$ obtida, denomina-se matriz de transição de duas fases da cadeia de Markov. Se, por exemplo, a cadeia de Markov tem m estados, a matriz de transição de 2 fases pode ser apresentada como

$$P^{(2)} = \begin{vmatrix} p_{11}^{(2)} & p_{12}^{(2)} & \dots & p_{1m}^{(2)} \\ p_{21}^{(2)} & p_{22}^{(2)} & \dots & p_{2m}^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1}^{(2)} & p_{m2}^{(2)} & \dots & p_{mm}^{(2)} \end{vmatrix}$$

Os termos da matriz de transição do estado i para o estado j , em dois períodos de tempo, são dados por:

$$p_{ij}^{(2)} = p_{i1} \cdot p_{1j} + p_{i2} \cdot p_{2j} + \dots + p_{im} \cdot p_{mj} \quad (2.3)$$

O método mais simples para se calcular a matriz de transição de duas fases de uma cadeia de Markov consiste na

fórmula para multiplicação de matrizes. Como se vê, o segundo membro da equação (2.3) representa o elemento da i -ésima linha e j -ésima coluna da matriz $P.P = P^2$. Por outro lado, o primeiro membro desta equação representa o elemento da i -ésima linha e j -ésima coluna da matriz de transição de duas fases, $P^{(2)}$, da cadeia de Markov. Isso significa que as duas matrizes são iguais, ou seja,

$$P^{(2)} = P^2 \quad (2.4)$$

Para exemplificar a aplicação das equações (2.3) e (2.4) construiu-se um modelo de previsão de chuva com apenas dois estados discretos, como aproximação da ocorrência de dias secos e chuvosos em uma bacia. Para representar a cadeia de Markov escolheu-se a série das precipitações médias diárias no período de 1946-1970 da Bacia do Rio Salgado (Jaguaribe).

Foi adotada a seguinte associação:

Estado	Condição
1	Dia Seco
2	Dia Chuvoso

Para o cálculo das probabilidades de transição P_{1j} é utilizada a expressão (2.2). Em termos de frequências absolutas registradas, a matriz de transição F torna-se:

$$F = \begin{array}{c|cc} & 1 & 2 \\ \hline 1 & 1007 & 621 \\ \hline 2 & 622 & 3080 \\ \hline \end{array}$$

A matriz das probabilidades de transição fica na forma

$$P = \begin{array}{c|cc} & 1 & 2 \\ \hline 1 & 0,619 & 0,381 \\ \hline 2 & 0,168 & 0,832 \\ \hline \end{array}$$

Suponha-se que esteja chovendo em um certo dia e que se queira determinar qual a probabilidade de que não esteja chovendo dois dias mais tarde. Em termos da notação estabelecida quer-se determinar $p_{21}^{(2)}$, ou seja, qual a probabilidade de transição do estado 2 para o estado 1 em dois períodos de tempo.

Há duas possibilidades na transição do estado 2, no dia 0 para o estado 1 no dia 2:

$$2 \rightarrow 1 \rightarrow 1$$

$$2 \rightarrow 2 \rightarrow 1$$

A probabilidade de ocorrer a primeira alternativa corresponde à multiplicação das probabilidades de transição $p_{21}^{(1)}$. $p_{11}^{(1)}$. A segunda possibilidade corresponde a $p_{22}^{(1)}$. $p_{21}^{(1)}$. A probabilidade de transição de duas fases é dada pela soma de ambas, ou seja,

$$p_{21}^{(2)} = p_{21} \cdot p_{11} + p_{22} \cdot p_{21}$$

$$p_{21}^{(2)} = p_{21} \cdot p_{11} + p_{22} \cdot p_{21}$$

o que, como foi mostrado anteriormente, pode ser dado pelo elemento p_{21} da matriz $P^{(2)}$, onde $P^{(2)} = P^2$. A segunda potência da matriz P é dada por

$$P^2 = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \end{matrix} & \begin{vmatrix} 0,447 & 0,553 \\ 0,244 & 0,756 \end{vmatrix} \end{matrix}$$

Consequentemente, se estiver chovendo em um certo dia, a probabilidade de não estar chovendo dois dias depois é

$$p_{21}^{(2)} = 0,168 \cdot 0,619 + 0,832 \cdot 0,168$$

$$p_{21}^{(2)} = 0,244$$

que corresponde ao elemento p_{21} da matriz $P^{(2)}$.

Da mesma forma, esse resultado pode ser estendido a transições em um número qualquer de períodos de tempo. A matriz de transição de n fases da cadeia de Markov é dada pela potência n da matriz P , ou seja

$$P^{(n)} = P^n \tag{2.5}$$

Considerando o exemplo anterior, pode-se igualmente determinar a probabilidade de estar ou não chovendo n dias depois, sendo para isso necessário apenas calcular-se a matriz de potência n , $P^{(n)}$. Esses cálculos são facilmente realizados com o uso de um computador.

2.3.4 - Distribuição de uma cadeia de Markov

No item anterior definiu-se a probabilidade de que o sistema esteja no estado j no tempo n , dado que o estado inicial do sistema é i , como sendo $p_{ij}^{(n)}$. Supondo-se porém que não seja conhecido o estado inicial no tempo 0 e que as várias probabilidades de o sistema estar em um particular estado no tempo 0 estão disponíveis, pode-se determinar igualmente a probabilidade do sistema se achar em um particular estado j no tempo n .

Para cada $n \geq 0$, seja $\pi_j^{(n)}$ a probabilidade de que uma cadeia de Markov esteja no estado j , no tempo n . Em particular, então, $\pi_j^{(0)}$ denota a probabilidade de que a cadeia de Markov esteja inicialmente no estado j . Se a cadeia de Markov tem m estados, convém considerarem-se os seguintes vetores linha de comprimento m

$$\pi^{(n)} = [\pi_1^{(n)}, \pi_2^{(n)}, \dots, \pi_m^{(n)}] \quad (2.6)$$

O vetor $\pi^{(n)}$ chama-se distribuição da cadeia de Markov no tempo n . O vetor $\pi^{(0)}$ chama-se também a distribuição inicial da cadeia de Markov (WEISS, 1978).

Sendo conhecidas a distribuição inicial e a matriz de transição de uma cadeia de Markov, então a probabilidade de que o sistema esteja no estado j , no tempo n , é

$$\pi_j^{(n)} = \pi_1^{(0)} \cdot p_{1j}^{(n)} + \pi_2^{(0)} \cdot p_{2j}^{(n)} + \dots + \pi_m^{(0)} \cdot p_{mj}^{(n)} \quad (2.7)$$

O primeiro membro dessa equação corresponde à j -ésima coluna do vetor linha (matriz $1 \times m$) $\pi(n)$. Por outro lado, o segundo membro representa a entrada correspondente à j -ésima coluna do vetor linha (matriz $1 \times m$) que seria obtido multiplicando-se a matriz $1 \times m$, $\pi(0)$ pela matriz $m \times m$, $p(n) = p^n$. Então,

$$\pi(n) = \pi(0) \cdot p^n \quad (2.8)$$

Portanto, sendo conhecidas a distribuição inicial e a matriz de transição de uma cadeia de Markov, determina-se facilmente a probabilidade de o sistema encontrar-se em um certo estado a qualquer tempo. Considerando-se para o modelo de previsão de chuva do exemplo apresentado, que o estado inicial não é conhecido e que só são conhecidas as probabilidades de que o sistema esteja em um particular estado no tempo 0 pode-se determinar, pela equação (2.8), a distribuição de probabilidades de Markov 2 dias depois, ou seja:

$$\pi(2) = \pi(0) \cdot p^2$$

Considerando-se, por exemplo, que a probabilidade de se ter um dia seco inicialmente é igual à de ocorrer um dia chuvoso, o vetor de distribuição inicial é dado por:

$$\pi(0) = [0,50 \quad 0,50]$$

e o vetor de distribuição de probabilidades 2 dias depois é

$$\pi(2) = [0,3455 \quad 0,6545]$$

Uma vez definida a finalidade básica da construção de uma matriz de transição, ou seja, possibilitar a transformação de um vetor de probabilidades correspondente a um estado inicial do sistema em um outro vetor da distribuição de probabilidades n fases adiante, deve-se expor o motivo pelo qual ela deva ser considerada quadrada e simétrica.

Em geral, os estados permanecem inalterados no decorrer do tempo e, portanto, os vetores $\pi(n)$ devem ter o mesmo tamanho que o vetor inicial $\pi(0)$ ($1 \times m$), o que implica que a matriz de transição seja quadrada ($m \times m$). Caso não fosse escolhida uma matriz simétrica - o que seria possível tornando-se os m eventos correspondentes às linhas da matriz distintos dos m eventos correspondentes às colunas - não faria sentido a repetição do processo para mais do que uma fase.

2.3.5 - Cadeias de Markov Regulares

Uma matriz de transição P é considerada regular se alguma potência de P contem somente entradas positivas. Diz-se que a cadeia de Markov é regular se sua matriz de transição é regular.

Seja P uma matriz de transição regular e $\pi(n)$ a distribuição da cadeia de Markov no tempo n . Então, existe um único vetor V para o qual $\pi(n)$ tende, isto é,

$$\pi(n) = V \quad \text{para } n \text{ grande} \quad (2.9)$$

independentemente da distribuição inicial, $\pi(0)$, da cadeia de Markov.

A esse vetor V denomina-se distribuição de equilíbrio da cadeia de Markov.

Apesar de ser possível achar o vetor V pelo cálculo de $\pi(n) = (\pi(0), P(n))$ para $n=1, 2, 3, \dots$ e observando-se para que vetor a sequência converge, há um método alternativo de resolução que envolve a solução de um sistema de equações lineares. A partir da equação (2.9) pode ser demonstrado que a distribuição de equilíbrio da cadeia de Markov é o único vetor probabilístico que satisfaz a equação matricial (WEISS, 1978)

$$V.P = V \quad (2.10)$$

O significado deste vetor consiste na tendência do sistema, atingir um certo estado de equilíbrio e nele permanecer a partir de um determinado tempo, independentemente da distribuição inicial definida para o sistema.

Na tabela A.1 (Apêndice II) são mostradas diversas matrizes de transição construídas para o modelo de previsão de chuva. Observa-se que a partir de $n = 16$ as linhas da matriz são dadas pelo vetor

$$\pi(n) = [0,30601 \quad 0,69399]$$

o qual é denominado de distribuição de equilíbrio da cadeia de Markov. O conhecimento do vetor V permite a previsão do comportamento do sistema após um grande número de transições. O resultado indica que, a longo prazo dever-se-á ter dias secos em 31% do tempo e dias chuvosos em 69% do tempo. Outra forma de determinar-se o vetor invariante V consiste em resolver-se a equação matricial (2.10). Fazendo $V = [v_1, v_2]$ e considerando a matriz de probabilidades de transição P apresentada anteriormente, a equação matricial fica

$$[0,619v_1 + 0,168v_2, 0,381v_1 + 0,832v_2] = [v_1, v_2]$$

Resolvendo o sistema de equações obtém-se

$$v_1 = 0,30601 \quad v_2 = 0,69399$$

ou

$$V = [0,30601 \quad 0,69399]$$

Apesar de no desenvolvimento deste trabalho não se pensar em utilizar o modelo de previsão para n fases quizesse, através da explanação feita, dar uma visão mais ampla da aplicação das cadeias de Markov. Fica pois, em aberto, a questão do uso do modelo gerado para a previsão da precipitação para mais de 1 fase.

2.4 - Aplicação da Cadeia de Markov

Neste capítulo apresentou-se um exemplo de um modelo de previsão de chuva com apenas dois estados discretos. As

matrizes de transição derivadas de $1, 2, \dots, n$ fases fornecem as probabilidades de transição de um estado i para um estado j em $1, 2, \dots, n$ períodos de tempo.

O desenvolvimento de um modelo de previsão de chuva, objetivo deste trabalho, tem por finalidade possibilitar a previsão da altura de chuva provável de ocorrer num intervalo de tempo futuro, no caso em um único período de tempo ($n = 1$).

Com esse propósito deve ser construída uma matriz de transição simétrica com m estados, em que cada estado é considerado um intervalo de classe da precipitação e cada p_{ij} uma frequência de transição relativa. Cada linha da matriz de transição representa assim uma distribuição das frequências de transição relativas e portanto pode-se querer ajustar uma função de distribuição de probabilidades conhecida a cada uma delas. A seleção de uma função de distribuição de probabilidades como modelo para representar cada linha da matriz de transição significa a possibilidade de interpolação de probabilidades associadas a qualquer valor contido na amostra. Essa facilidade pode ser obtida através da representação gráfica de cada uma das distribuições de probabilidades acumuladas ou do simples cálculo através das funções de distribuições ajustadas.

3 - A BACIA DO JAGUARIBE

Para o desenvolvimento de um modelo de previsão da precipitação média diária considerou-se uma bacia em que se verificassem os seguintes aspectos: 1) uma rede de postos pluviométricos relativamente densa, cuja distribuição na sua área fosse uniforme ; e 2) uma distribuição espacial das alturas de chuvas diárias cobrindo toda a região. Esses requisitos são necessários para que se possa obter uma série das precipitações médias diárias realmente representativa da bacia de estudo.

A distribuição das chuvas em uma bacia está relacionada com as características climáticas a que está sujeita e também com a própria disposição do relevo. Pode-se assim observar que só se verifica uma distribuição uniforme das chuvas em bacias que são homogêneas em toda a sua extensão, ou seja, bacias que apresentam características físicas e climáticas semelhantes em toda a sua área. Para o desenvolvimento deste trabalho, concluiu-se ser a bacia do Jaguaribe adequada, tendo em vista a homogeneidade apresentada, bem como pela existência de uma rede de postos pluviométricos relativamente densa.

A Bacia do Jaguaribe encontra-se inteiramente situada no Polígono das Secas e representa cerca de 45% do estado do Ceará. Abrange uma área de aproximadamente 70.000 Km², definida pelas coordenadas de 37° 30' a 41°00' de longitude

oeste e $4^{\circ} 20'$ e $8^{\circ} 00'$ de latitude sul (figura A.1 do Apêndice I).

O rio Jaguaribe nasce no sudoeste do Ceará e corre para leste na direção da fronteira do estado da Paraíba, onde é represado para formar o açude Orós. É o maior rio da região, com um comprimento de 645 Km, e uma declividade média de 0,78 m/Km (figura A.2, Apêndice I). O vale do Jaguaribe apresenta um relevo suave, cuja altitude média fica em torno de 200 m. É uma região bastante rica pois nela se desenvolve o carnaúbal e culturas irrigadas tais como cereais, fruteiras e hortaliças.

A rede hidrográfica da região é representada pelo rio Jaguaribe e seus principais afluentes: Conceição, Bastiões, Salgado, Figueiredo, Banabuiú, Palhano e rio do Sangue. Os cursos d'água dessa bacia são intermitentes, ou seja, caracterizam-se por um escoamento tanto esporádico - às vezes nulo - como contínuo durante cerca de seis meses, constituído por alternativas de secas e águas altas. Para se poder explicar a ocorrência de fenômenos antagônicos na sua origem, como as secas e as enchentes frequentes na bacia do Jaguaribe, devem ser avaliados os fatores que determinam o regime de escoamento dos rios que a drenam.

Entre os fatores que condicionam a abundância do escoamento de uma região estão em primeiro lugar a pluviosidade e em segundo a aptidão ao escoamento superficial das bacias (morfologia acidentada, cobertura vegetal destruída, solos impermeáveis).

Com relação à geologia da região, conforme se observa na figura A.3 (Apêndice I), predominam as formações cristalinas, as quais favorecem a formação do escoamento superficial em graus diversos, segundo a natureza das rochas, sua alteração e morfologia. Os terrenos sedimentares representam apenas dez a doze por cento da superfície total da bacia do Jaguaribe (SUDENE,1967).

Várias formas de relevo são encontradas na região, as quais de maneira diversa influenciam na intensidade do escoamento superficial e do transporte sólido dos seus cursos d'água. São encontradas zonas planas aluviais, chapadas e outras formações tabulares, zonas pouco onduladas com erosão em glacis, zonas muito onduladas, com acentuadas declividades e erosão ativa localizada e zonas muito acidentadas com erosão geral ou zona de intensa erosão. Em geral, entretanto, o relevo é suave.

Em virtude da sua localização, entre os paralelos 4° 30'e 8° 00' sul, e do relevo ser pouco acidentado, a bacia do Jaguaribe deveria possuir um clima com tendência equatorial marítima. Contudo, o regime das massas de ar, peculiar do Nordeste do Brasil, impõe à pluviometria um ciclo tropical curto sujeito a desvios de um ano para outro - eis o motivo porque o clima apresenta um aspecto semi-árido. Durante o ano observa-se uma pluviosidade de 400 a 800 mm em toda a região, o que define uma distribuição espacial das chuvas quase uniforme (figura A.4, Apêndice I). Entretanto, a distribuição temporal dessas chuvas é bastante irregular, caracterizando-se por sua grande concentração em apenas al-

guns meses do ano (fevereiro, março e abril). Distingue-se assim um período chuvoso e um outro praticamente seco, de duração variável, com chuvas raras e pouco intensas (SUDENE, 1967).

A temperatura média anual é bastante elevada, entre 22° e 26° C, como mostra a figura A.5 (Apêndice I). A maior parte da região apresenta uma temperatura média anual superior a 24° C, e as variações anuais, em virtude da própria localização geográfica da bacia, são pouco significativas. A evaporação potencial anual é elevada, mantendo-se na faixa de 2000 a 2500 mm em toda a área (figura A.6, Apêndice I).

Segundo a classificação climática feita por EDMON NIMER (IBGE, 1977), constata-se também que a bacia do Jaguaribe apresenta uma certa homogeneidade com relação ao clima e à pluviometria (figura A.7, Apêndice I). A região, em quase toda a sua totalidade, está sujeita a um clima quente semi-árido e, de acordo com a marcha estacional e os sistemas de circulação atmosférica, recebe ainda a classificação de tropical, apesar de estar localizada em uma zona equatorial, com um período seco de 7 a 8 meses.

Os solos e a cobertura vegetal são os obstáculos físicos primeiramente encontrados pela chuva e que refletem portanto decisivamente no escoamento superficial, na infiltração, no armazenamento e evaporação das águas represadas e das camadas superficiais do solo. Os solos da bacia do Jaguaribe pertencem na sua maior parte ao grupo dos solos ferro-sialíticos tropicais. São solos geralmente erodidos sobre o cristalino, pouco profundos e que por isso são rapidamente

saturados. Quando se encontram em declividades acentuadas secam tão logo terminam as chuvas, pois neles a drenagem é rápida. Com relação à aptidão ao escoamento superficial, pode-se admitir assim a hipótese de que, em geral as chuvas fracas serão todas absorvidas para reconstituir as reservas dos solos e de que o escoamento superficial só aparecerá se as chuvas forem intensas e frequentes e crescerá rapidamente se elas forem prolongadas, pois os solos estarão quase todos impermeabilizados (SUDENE,1967).

As condições climáticas precárias (pluviosidade anual inferior a 800 mm, com anos muito secos) e a pequena profundidade dos solos erodidos determinam o desenvolvimento de um tipo de vegetação predominante na bacia - a caatinga - a qual cobre cerca de 45 a 50% da sua área (figura A.8, Apêndice I). Este tipo de vegetação se constitui essencialmente de árvores e arbustos espinhentos, de plantas suculentas espinhosas e plantas herbáceas, as quais não representam um obstáculo expressivo ao escoamento superficial.

Em vista da altura anual média das precipitações e da sua concentração em 3 ou 4 meses do ano, a região deveria apresentar um regime hidrológico do tipo tropical. Contudo, em virtude da extrema variabilidade interanual dessas chuvas, associada à natureza dos solos, em geral rasos e pouco permeáveis, nota-se uma deformação do regime no sentido da semi-aridez, ou seja, a possibilidade da ausência de escoamento em certos anos muito secos e a recessão acelerada. A vegetação esparsa e atrofiada e as declividades considerá-

veis contribuem para que se verifique também um regime do tipo torrencial que favorece a ocorrência de cheias locais.

Um dos objetivos deste trabalho, como foi definido inicialmente, é contribuir para a atenuação dos danos causados por uma enchente, através de uma melhor estimativa do escoamento superficial em uma bacia. Todos os fatores analisados, que caracterizam fisicamente a bacia do Jaguaribe, não podem ser modificados e apenas favorecem a formação de cheias quando se verificam chuvas intensas e frequentes. Além dessas características, a pluviosidade é o fator determinante na formação do escoamento superficial. Apesar da sua distribuição extremamente irregular, apresenta uma relação de dependência entre dias consecutivos, o que possibilita a sua estimativa. Assim, o desenvolvimento de um modelo de previsão da altura de chuva provável de ocorrer num dia, com base na altura observada no dia anterior, permite a determinação antecipada do escoamento superficial esperado em um ponto da bacia, contribuindo para um maior entendimento da hidrologia da região.

4- DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE PREVISÃO

O objetivo do desenvolvimento de um modelo de previsão da precipitação para a bacia do Jaguaribe, como foi definido anteriormente, é possibilitar a previsão da altura de chuva provável de ocorrer no dia seguinte, conhecendo-se a altura de chuva observada no intervalo de tempo presente. Sendo de interesse a previsão de valores não nulos da precipitação, os quais dão origem ao escoamento superficial, considerou-se no seu desenvolvimento apenas os dias chuvosos, sendo feitas duas restrições:

i) No dia da previsão choveu, ou seja, foi observado um valor não nulo;

ii) O valor previsto é não nulo também, ou seja, supõe-se que no dia seguinte irá chover.

Portanto, o modelo não serve para a previsão de dias secos mas apenas estima a altura de chuva provável de ocorrer no dia seguinte, partindo da suposição de que este será um dia chuvoso.

4.1 - A Cadeia de Markov

O modelo de previsão de chuva proposto considera a precipitação média diária em uma bacia, X_t , como sendo uma variável aleatória e dependente. A série histórica das

precipitações médias diárias observadas na bacia do Jaguaribe é pois, considerada uma cadeia de Markov.

Para a seleção de uma série histórica relativamente longa, da qual se pudesse extrair o maior número de informações possíveis sobre essa variável aleatória, procedeu-se inicialmente a um levantamento dos postos pluviométricos localizados na bacia e na sua vizinhança. Tendo como base os dados obtidos do "Inventário das Estações Pluviométricas " (DNAEE, 1967) pode-se identificar dois períodos distintos, com um número razoável de postos em operação: o de 1946-1970 e o de 1948-1983. As figuras A.9 e A.10 (Apêndice I) ilustram a localização dos 60 postos relativos à série de 1946-1970 e dos 37 postos relativos à série de 1948-1983, na bacia do Jaguaribe. A relação desses postos é apresentada na tabela A.3 (Apêndice II).

No cálculo da precipitação média em uma bacia são geralmente usados um dos três métodos: o da média aritmética, o de Thiessen ou o das isoietas. O método da média aritmética é usado quando se verifica uma distribuição uniforme dos postos pluviométricos na bacia, quando as alturas de chuva registradas em cada um deles variam pouco em torno da média e o relevo na região é suave e plano. Como se pode verificar nas figuras A.9 e A.10 (Apêndice I), a distribuição espacial dos postos pluviométricos na bacia do Jaguaribe é mais ou menos uniforme, sendo a sua densidade calculada em torno de $700 \text{ km}^2/\text{posto}$. De acordo com a figura A.14 apresentada no Apêndice I (GAMBACH, 1980) observou-se que, segundo essa densidade, considerada relativamente alta, a

aplicação do método da média aritmética conduziria a resultados próximos aos obtidos pela utilização de outro método de cálculo qualquer, como o de Thiessen ou o das Isoietas. Além de ser um método de cálculo simples, a ausência de registros de dados em alguns meses da série histórica das precipitações dificultaria bastante o uso destes dois últimos métodos. Optou-se então pelo método da média aritmética para o cálculo da precipitação média, o qual consiste em somarem-se as precipitações observadas num certo intervalo de tempo, neste caso o dia, simultaneamente em todos os postos e, dividir-se o resultado pelo número deles, ou seja,

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (4.1)$$

Em alguns postos selecionados para o cálculo da precipitação média foi constatado que haviam sido registrados valores nulos da precipitação diária no decorrer de todo um ano civil e que em postos vizinhos isso não ocorrera durante o mesmo período. Com uma suspeita de falta de observação, decidiu-se não incluir no cálculo da precipitação média os postos com essa característica nos anos em que a mesma foi verificada. Foram cinco os postos em que foi observada esse tipo de inconsistência: Itabatinga (1947), Pedras Brancas (1951), Boqueirão Pedras Brancas

(1950 e 1951), Independência (1947) e Açude Nova Floresta (1946 e 1947).

No desenvolvimento do modelo foi considerado o período chuvoso de sete meses, entre dezembro e junho, em que se concentram a maioria das chuvas durante o ano. A série de 1946-1970 apresentou uma chuva máxima de 38,41 mm enquanto que na série de 1948-1983 observou-se uma precipitação média máxima de 43,25 mm em termos de valores médios da bacia. Para o cálculo dessas séries desenvolveu-se um programa (MÉDIA) apresentado no Apêndice III.

4.2 - Seleção dos intervalos de classe da matriz

Inicialmente, na tentativa de se obter uma matriz de transição considerando-se intervalos de classe a serem definidos para os estados i e j , verifica-se que pode-se obter inúmeras matrizes em virtude das possíveis combinações das faixas de intervalos. Entretanto, caso se queira possibilitar a interpolação das probabilidades, é necessário a escolha de intervalos de classe que permitam a geração de uma matriz de transição, em que cada linha possa ser representada adequadamente por uma distribuição de probabilidades. Portanto, a escolha de intervalos de classe mais adequados é o que permite a utilização de um modelo empírico capaz de representar as linhas da matriz pois, não é fácil definir uma função de probabilidades, conhecida ou não, para representar uma matriz de transição simétrica qualquer. Infelizmente, não se encontrou nenhum método sistemático na

Bibliografia consultada para a escolha do número e da amplitude dos intervalos de classe. Sabe-se que isso depende do tamanho e da faixa em que se encontram todos os valores da amostra. Uma expressão para o número de intervalos de classe de uma distribuição de frequências é dada por Sturges (YEVJEVICH, 1972) na forma:

$$m = 1 + 1,33 \ln N \quad (4.2)$$

onde $\ln N$ é o logaritmo natural do tamanho da amostra.

Utilizando-se a expressão 4.2 para o cálculo do número de intervalos de classe da série de 1946-1970 obteve-se a matriz das frequências absolutas de transição de 12 classes apresentada na tabela 4.1. Para se poder visualizar melhor a distribuição dessas frequências no espaço dos estados i e j construíram-se os gráficos bidimensionais da figura 4.1. Em cada gráfico, à exceção do primeiro, são apresentadas duas distribuições das frequências no estado j , correspondentes a duas linhas da matriz de transição.

Observa-se nessa matriz a ocorrência de células com valores nulos e outras com valores muito elevados. Da mesma forma, algumas linhas da matriz têm uma frequência total dos eventos muito alta enquanto que em outras a frequência total é bastante reduzida. Com pequenas amostras, duas distribuições de funções de densidade inteiramente diferentes podem parecer ajustarem-se aos dados, particularmente se vistas como distribuições acumulativas (BENJAMIN, 1970). Deve-se, portanto, evitar linhas na matriz cujos intervalos

de classe representem uma pequena amostra do número total de eventos pois não se obteria uma boa previsão nessa faixa de valores. De acordo com a conveniência e a juízo do investigador deve-se assim procurar estabelecer intervalos de classe de forma que seja permitida uma boa representação em todas as classes.

Tabela 4.1

Matriz das Frequências Absolutas de 12 classes

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Soma
1	2089	333	90	29	8	2	0	0	0	0	0	0	2251
2	322	197	115	60	27	12	4	2	1	1	0	0	741
3	94	116	85	43	32	13	4	3	2	1	0	0	393
4	28	52	45	50	28	10	5	4	3	1	0	0	226
5	9	22	25	25	13	17	9	6	4	0	0	0	130
6	3	13	20	11	7	8	1	4	0	0	0	1	68
7	1	3	4	3	8	3	2	0	2	1	0	0	27
8	1	3	5	3	5	1	1	2	0	0	0	0	21
9	2	4	3	1	1	1	1	0	2	0	0	0	15
10	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	4
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1

Linhas da Matriz (em):

- | | |
|------------------|-------------------|
| 1) 0,01 - 3,25 | 7) 19,51 - 22,75 |
| 2) 3,26 - 6,50 | 8) 22,76 - 26,00 |
| 3) 6,51 - 9,75 | 9) 26,01 - 29,25 |
| 4) 9,76 - 13,00 | 10) 29,26 - 32,50 |
| 5) 13,01 - 16,25 | 11) 32,51 - 35,75 |
| 6) 16,26 - 19,50 | 12) 35,76 - 39,00 |

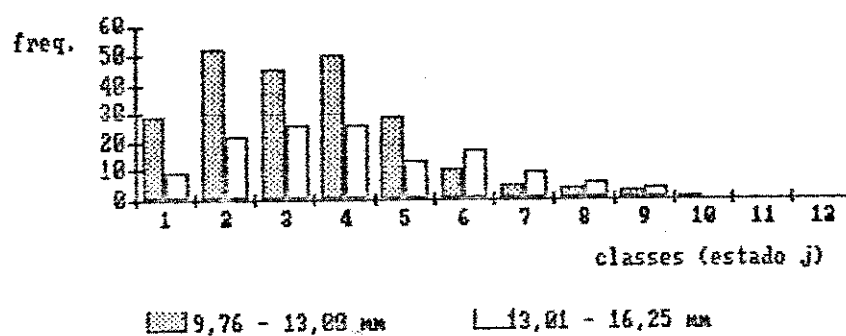
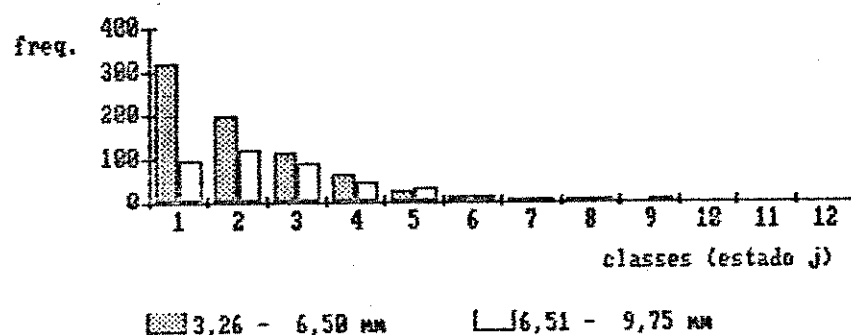
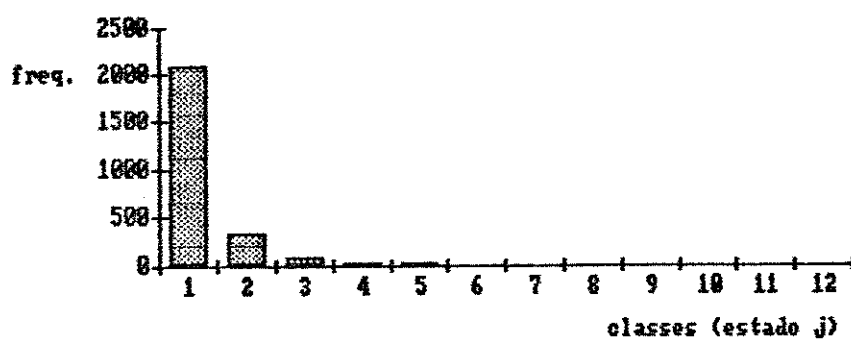


Fig. 4.1 - Representação da matriz das frequências de transição de 12 classes

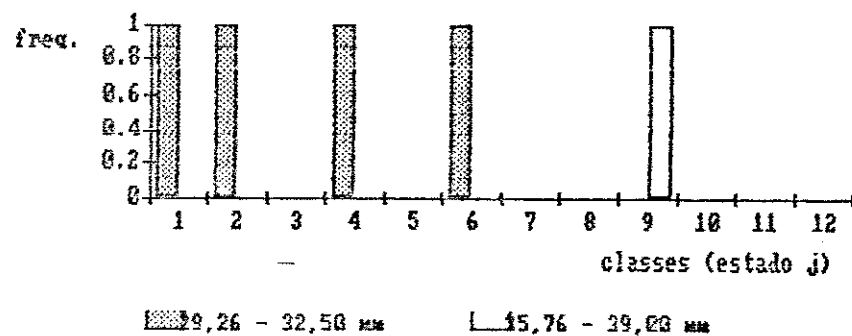
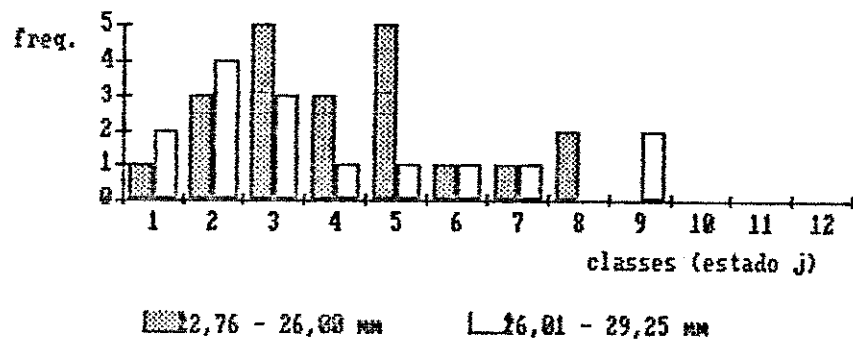
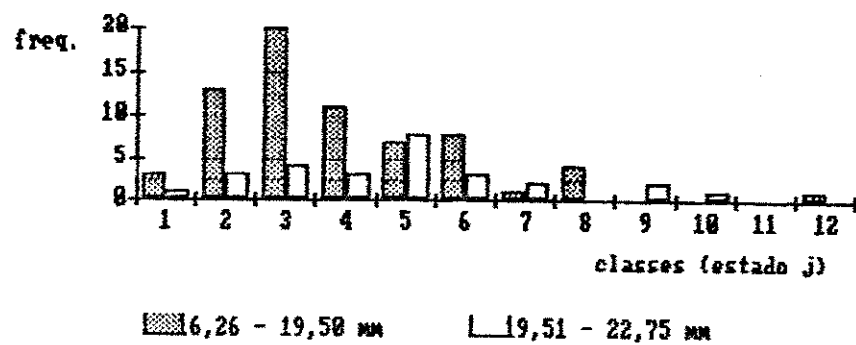


Fig. 4.1 - Representação da matriz das frequências de transição de 12 classes

Observou-se portanto que os eventos não se encontram igualmente distribuídos no espaço dos estados e, para permitir uma melhor visualização dessa distribuição construiu-se uma matriz de transição genérica com intervalos de classe no estado i com amplitude igual a 1,00 mm e intervalos de classe no estado j com amplitude variada. Essa matriz em termos de frequências absolutas é mostrada na tabela A.4 (Apêndice II).

Deve-se levar em consideração o fato de que, em uma bacia relativamente grande como a bacia do Jaguaribe, mesmo sendo essa uma bacia hidrologicamente homogênea, as alturas de chuva registradas nos diversos postos pluviométricos podem, num mesmo dia, diferir bastante entre si. Ao se calcular a precipitação média diária ocorre inevitavelmente um achatamento dos valores mais elevados registrados em pontos isolados da bacia (os máximos valores médios obtidos no cálculo se distanciam dos máximos observados). Como se observa na tabela A.4 (Apêndice II), a maioria das chuvas ocorridas são valores baixos, o que ocorre devido à própria distribuição das chuvas e ao achatamento provocado pelo cálculo da precipitação média na bacia. Nessa tabela também pode ser visto que a maioria das pequenas alturas de chuva (mm) ocorridas no intervalo de tempo presente correspondem também pequenas alturas de chuva no intervalo de tempo seguinte, ou seja, se num dia chove pouco é bem provável que no dia seguinte também chova pouco. Conclui-se ainda que, sendo os valores mais altos da precipitação pouco frequentes (como

era de se esperar na região em estudo) deve-se proceder ao agrupamento das classes correspondentes a esses valores e que a matriz de transição apresentará classes com maiores amplitudes correspondentes aos valores mais elevados. Para uma melhor definição dos intervalos de classe de acordo com o número de eventos correspondente, construiu-se para a série de 1946-1970, a tabela A.8 (Apêndice II), uma tabela auxiliar indicativa do número de eventos ocorridos no estado j (intervalo de tempo seguinte) para um certo intervalo de classe escolhido no estado i (intervalo de tempo presente). Essa tabela mostra o número total de eventos observados no estado j, para diferentes intervalos da precipitação no estado i. Com esse fim, os limites superiores dos intervalos de classe da precipitação no estado i são indicados como a soma de várias amplitudes ao limite inferior da classe (coluna 1), conforme indicado no topo da tabela. Assim por exemplo, para um intervalo da precipitação entre 0,01 e 3,01 mm no estado i, ocorreram 2466 eventos no estado j. O cálculo de uma tabela desse tipo é facilitado com o uso de um programa (EVENTOS) apresentado no Apêndice III.

Da tabela A.8 (Apêndice II) conclui-se que não se deve considerar mais do que uma classe acima de 17 mm, a partir do qual o número de eventos torna-se bastante reduzido.

Com base nessas informações, procurou-se então construir uma matriz de transição e selecionar um modelo empírico que se ajustasse bem a cada linha da matriz.

4.3 - Seleção de um modelo empírico

Quando existe o problema da seleção de uma distribuição entre várias formas conhecidas em que nenhuma tem, *a priori*, preferência com base nas características físicas do fenômeno, é melhor procurar uma função matemática tratável para representar os dados disponíveis pois, dessa forma serão simplificados os tratamentos subsequentes com a variável.

Neste caso, não existe uma justificativa suficientemente forte para a escolha de um modelo em particular. O uso de uma distribuição bem conhecida é preferível em virtude da facilidade de descrição de um modelo e da sua aplicação. O primeiro passo consiste então em eliminarem-se entre as distribuições mais conhecidas aquelas que não são capazes de reproduzir as características predominantes dos dados. Usualmente, a análise das propriedades das distribuições de frequência é feita de três maneiras: a) pela análise qualitativa; b) pela análise quantitativa através de métodos paramétricos ou não paramétricos; c) pelo ajustamento de funções de distribuição de probabilidades a distribuições empíricas (YEVJEVICH, 1972).

A análise qualitativa é baseada nas propriedades que podem ser determinadas pela inspeção, seja pela forma de curvas de frequência ou histogramas, seja por outras características como a assimetria positiva ou negativa, a existência de apenas valores positivos, distribuições contínuas, discretas ou mistas, etc. Esta análise é usada

como uma avaliação preliminar, antes da aplicação dos outros dois métodos.

Com a finalidade de proceder a uma análise desse tipo, selecionaram-se da tabela A.8 (Apêndice II), indicativa do número de eventos, alguns intervalos de classe para o estado i . Para se obter uma distribuição de frequências não tão discretizada escolheram-se classes no estado j de amplitude constante e igual a 2,00 mm, e assim foi possível visualizar como característica predominante em todos os histogramas, uma distribuição em forma de sino ou de J e uma assimetria positiva. Várias distribuições capazes de representar convenientemente essa característica foram então consideradas: a distribuição Gamma, a distribuição Log-Normal e a distribuição Gumbel.

A análise quantitativa das distribuições empíricas consiste de três etapas, as quais permitem a descrição completa de uma distribuição de frequências (YEVJEVICH, 1972): a) seleção da distribuição de probabilidades a ser ajustada; b) estimativa dos seus parâmetros e c) teste de ajustamento à distribuição empírica.

Entre as distribuições de probabilidade escolhidas, a distribuição Gamma com dois parâmetros ajustou-se à maioria das distribuições de frequência consideradas. Assim, nesta primeira etapa identificou-se a distribuição Gamma como modelo para representar cada linha de uma matriz de transição qualquer. Na etapa posterior, da construção de uma matriz de transição simétrica, também se adota a distribuição Gamma como modelo para representar cada linha da matriz. As carac-

terísticas dessa função de distribuição de probabilidades e os testes de ajustamento utilizados para verificação da aderência do modelo à distribuição das frequências de transição são apresentados a seguir.

4.3.1 -- A Distribuição Gamma

A integral

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} \cdot e^{-x} dx \quad (4.3)$$

converge se $\alpha > 0$ e é chamada de função Gamma de α .

Suas propriedades são (YEVJEVICH, 1972):

- 1) $\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1)!$ se α é um inteiro positivo ;
- 2) Se $\alpha > 0$ mas não é um inteiro $\Gamma(\alpha)$ é calculado pelas séries de expansão e integração numérica;
- 3) $\Gamma(0) = \infty$, $\Gamma(1/2) = \sqrt{\pi}$, $\Gamma(1) = \Gamma(2) = 1$

Se x é uma variável contínua, a qual tem a função densidade de probabilidade

$$f(x) = \frac{1}{b^{\alpha} \cdot \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/b} \quad \text{para } x \geq 0 \quad (4.4)$$

$$f(x) = 0 \quad \text{para } x < 0$$

x apresenta a distribuição de probabilidade Gamma com dois parâmetros, onde α ($\alpha > 0$) é o parâmetro de forma e b ($b > 0$) é o parâmetro de escala.

Os parâmetros α e b da equação (4.4) são estimados da amostra de dados. Para a distribuição Gamma com dois

parâmetros $\mu = \alpha \cdot b$, $\sigma^2 = \alpha \cdot b^2$ de modo que $b = \sigma^2 / \mu$ e $\alpha = \mu^2 / \sigma^2$. Estimando-se μ e σ , média e desvio padrão da população como sendo média e desvio da amostra, as estimativas de α e b são obtidas pelo método dos momentos.

O uso da distribuição Gamma com dois parâmetros na hidrologia é tão comum quanto o uso da distribuição Log-Normal ou da de Gumbel. Infelizmente, não é possível construir-se um papel de probabilidades Gamma especial, que possa ser utilizado para a representação linear de qualquer função desse tipo. O cálculo dessa função, porém, fica facilitado com o uso de programas, GAMMA e MODELO (Apêndice III), que consideram métodos numéricos para a integração da função.

4.3.2 - Testes de Ajustamento da Função de Distribuição de Probabilidade à Distribuição Empírica

Para se admitir a hipótese de que uma distribuição de valores de uma certa variável de interesse na população possa ser descrita por determinado modelo de distribuição de probabilidade, deve-se verificar a boa ou má aderência dos dados da amostra ao modelo. Se obtém-se uma boa aderência e a amostra é razoavelmente grande pode-se admitir que a população seja representada por esse modelo, caso contrário, a hipótese H_0 , do modelo ser adequado, deve ser rejeitada para um dado nível de significância. Existem três maneiras de se verificar o grau de aderência: pelo método de Kolmogorov-Smirnov, pelo Qui-quadrado e pelo ajuste gráfico. Neste trabalho apenas fez-se uso do primeiro.

4.3.2.1 - Método de Kolmogorov-Smirnov

O método desenvolvido por Kolmogorov e Smirnov para testar a aderência, considera a variável de teste como sendo a maior diferença observada entre a função de distribuição acumulada do modelo e a da amostra. Sendo $F(x)$ a função de distribuição acumulada do modelo testado e $G(x)$ a função de distribuição acumulada da amostra, a sua máxima diferença é definida como

$$d = \max | F(x) - G(x) | \quad (4.5)$$

Esta estatística tem uma distribuição amostral. Seja d_0 o valor crítico para um nível de significância α do erro tipo I desta distribuição definido como

$$P \{ \max | F(x) - G(x) | \geq d_0 \} = \alpha \quad (4.6)$$

Para amostras com tamanho $n > 50$ os valores críticos para $\alpha=5\%$ e $\alpha=1\%$ podem ser calculados respectivamente por $1,36/\sqrt{n}$ e $1,63/\sqrt{n}$ (YEVJEVICH, 1972).

4.4 - O Modelo obtido para a série de 1946-1970

Para se ter um modelo que melhor represente uma distribuição de frequências é importante escolher-se intervalos de classe cuja amplitude seja suficientemente pequena, de modo que os valores da amostra contidos em cada um deles sejam considerados aproximadamente iguais (YEVJEVICH, 1972).

Na análise qualitativa das distribuições de frequência considerou-se intervalos de classe de igual amplitude no

intuito de simplificar-se a tarefa. Como era esperado, verificou-se nas distribuições, celas com frequências nulas, o que significa a existência de classes desnecessárias, as quais quando agrupadas propiciariam uma melhor distribuição das frequências. Em sumo, o ideal seria tratar cada linha da matriz isoladamente, determinando-se a distribuição dos eventos no estado j mais adequada para cada uma. Entretanto, pelo fato de procurar-se construir uma matriz simétrica dificilmente os intervalos de classe escolhidos para representar cada linha da matriz (estado i) asseguraria um bom ajuste de uma distribuição de probabilidades no estado j , simultaneamente, para todas as linhas da matriz.

A solução para esse problema adveio por um processo de tentativas, em que diversas matrizes foram progressivamente obtidas através de pequenas mudanças nos comprimentos dos intervalos de classe definidos primeiramente para a construção de uma matriz inicial. Dessa forma, foi obtida finalmente a matriz das frequências absolutas (Tabela 4.2) e a matriz das probabilidades de transição de 7 classes mostrada na tabela 4.3 a qual, segundo a definição apresentada no capítulo 2 é uma matriz regular, pois alguma de suas potências apresenta somente entradas positivas. Para facilitar no cálculo repetitivo de várias matrizes de transição foi desenvolvido um programa (MATRIZ), o qual é apresentado no Apêndice III.

Tabela 4.2

Matriz das Frequências Absolutas da Série de 1946-70

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	Soma
1	1399	299	104	42	11	4	0	1799
2	299	236	164	78	29	10	2	818
3	117	157	127	91	50	31	8	581
4	35	73	99	95	60	40	16	418
5	9	33	40	53	62	45	23	265
6	3	12	33	40	36	36	33	193
7	1	5	15	18	17	26	21	103
Soma	1863	815	582	417	265	192	103	4177

Limites de Classe (mm):

- 1) 0,01 - 1,50
- 2) 1,51 - 3,50
- 3) 3,51 - 6,00
- 4) 6,01 - 9,00
- 5) 9,01 - 12,50
- 6) 12,51 - 17,50
- 7) 17,51 - 39,00

Tabela 4.3

Matriz das Probabilidades de Transição

(Série 1946-1970)

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	6	7
1	0,744	0,166	0,058	0,024	0,006	0,002	0,000
2	0,366	0,289	0,200	0,095	0,036	0,012	0,002
3	0,201	0,270	0,219	0,157	0,086	0,053	0,014
4	0,084	0,175	0,237	0,227	0,143	0,096	0,038
5	0,034	0,124	0,151	0,200	0,234	0,170	0,087
6	0,016	0,062	0,171	0,207	0,187	0,186	0,171
7	0,010	0,048	0,146	0,175	0,165	0,252	0,204

Sendo conhecido o estado inicial do sistema, ou seja, a precipitação observada no primeiro dia, a distribuição inicial da cadeia de Markov $\pi_1^{(0)}$ pode assumir uma das seguintes formas:

$$\pi_1^{(0)} = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$\pi_2^{(0)} = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$\pi_3^{(0)} = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$\pi_4^{(0)} = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$\pi_5^{(0)} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$$\pi_6^{(0)} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0]$$

$$\pi_7^{(0)} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]$$

onde cada p_{ij} ($i=j$) é igual a 1, pois os eventos são mutuamente exclusivos.

A distribuição da cadeia de Markov em um tempo qualquer é dada pela equação (2.8):

$$\pi_i(n) = \pi_i(0) \cdot P(n)$$

Como se observa, a distribuição inicial da cadeia de Markov $\pi_1^{(0)}$ é um vetor identidade e, portanto, a distribuição da cadeia de Markov $\pi_i^{(n)}$ para um tempo n é obtida diretamente da matriz de transição. Assim, por exemplo, considerando que a precipitação observada no 1º dia (tempo 0) se encontra no primeiro intervalo de classe da matriz de transição, a distribuição da cadeia de Markov para o 2º dia (tempo 1) é dada pela primeira linha da matriz de transição de uma fase. Da mesma forma, para um tempo n , isto

é, n dias depois, a distribuição da cadeia de Markov é dada pela primeira linha da matriz de n fases.

No Apêndice II (A.2) são apresentadas as matrizes de transição de n fases . Observa-se que o vetor de equilíbrio pode ser definido a partir do tempo $n = 34$, o que significa dizer que, independentemente do estado inicial do sistema, as probabilidades dos eventos em um tempo futuro serão dadas aproximadamente pelas entradas do vetor V apresentado a seguir, onde os elementos são expressos em porcentagem:

$$V = [43,31 \quad 19,51 \quad 13,91 \quad 9,97 \quad 6,32 \quad 4,55 \quad 2,44]$$

Como foi justificado anteriormente, a utilização das matrizes de transição para a previsão não permite a interpolação das probabilidades associadas a qualquer valor da precipitação. Com essa finalidade, procurou-se ajustar a distribuição Gamma com dois parâmetros às linhas da matriz e das probabilidades de transição acumuladas obtida para a bacia do Jaguaribe, a qual é apresentada na tabela 4.4. A função de distribuição de probabilidade Gamma com dois parâmetros ajustou-se às sete linhas da matriz das probabilidades de transição acumuladas. Na tabela 4.5 são indicados os parâmetros relativos às distribuições de probabilidade correspondentes a cada linha da matriz.

Tabela 4.4

Matriz das Probabilidades de Transição Acumuladas
(Série 1946-1970)

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	6	7
1	0,744	0,911	0,968	0,992	0,998	1,000	1,000
2	0,366	0,654	0,855	0,950	0,985	0,998	1,000
3	0,201	0,472	0,690	0,847	0,933	0,986	1,000
4	0,084	0,258	0,495	0,723	0,866	0,962	1,000
5	0,034	0,158	0,309	0,509	0,743	0,913	1,000
6	0,016	0,078	0,249	0,456	0,642	0,829	1,000
7	0,010	0,058	0,204	0,379	0,544	0,796	1,000

Tabela 4.5

Parâmetros da Distribuição Gamma (Série 1946-1970)

Linha da Matriz	Média	Desvio Padrão	Parâmetro de Forma b	Parâmetro de Escala a	Função Gamma Γ
1	1,511	1,387	1,2742	1,1857	0,9221
2	3,296	2,971	2,6781	1,2309	0,9106
3	5,154	4,574	4,0584	1,2698	0,9025
4	7,389	5,687	4,3764	1,6881	0,9064
5	10,068	6,899	4,7281	2,1295	1,0618
6	12,167	8,177	5,4945	2,2143	1,1105
7	13,451	8,370	4,2083	2,5825	1,4111

Para verificar-se a aderência dessa função de distribuição de probabilidades às linhas da matriz das probabilidades de transição acumuladas utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov para um nível de significância $\alpha=0.05$. Os valores críticos foram calculados da expressão $1,36/\sqrt{n}$ (para $n>50$). Os resultados do teste são apresentados na tabela 4.6.

Tabela 4.6

Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov
(Série 1946-1970)

Linha da Matriz	D _{max}	D ₀
1	13,52	3,18
2	4,15	4,76
3	1,30	5,64
4	2,58	6,65
5	4,73	8,35
6	4,26	9,79
7	5,51	13,40

Como se observa na tabela 4.6, a distribuição Gamma com dois parâmetros não se ajusta à primeira linha da matriz. Na realidade, o primeiro intervalo de classe da matriz corresponde aos valores mais baixos da precipitação ocorridos no dia anterior e, portanto, para fins de previsão de cheias são de menor interesse, podendo inclusive ser substituída pelo vetor de equilíbrio. Na figura A.15 (Apêndice I) são apresentados os diagramas de previsão de cada uma das linhas da matriz. A distribuição das frequências de transição acumulada foi igualmente representada nesse gráficos. A tabela 4.7 fornece alguns valores da previsão da precipitação média diária para níveis de probabilidade específicos.

Tabela 4.7

Previsão da Precipitação para alguns níveis de probabilidade
(Série 1946-1970)

Precipitação no dia anterior (mm) tempo: t - 1	Precipitação Estimada (mm) tempo: t			
	Probabilidade de não excedência			Média
	20%	50%	80%	
0,01 - 1,50	0,25	1,00	2,25	1,511
1,51 - 3,50	0,75	2,50	5,25	3,296
3,51 - 6,00	1,50	4,00	8,00	5,154
6,01 - 9,00	2,75	6,00	11,25	7,389
9,01 - 12,50	4,25	8,50	15,00	10,068
12,51 - 17,50	5,25	10,25	18,00	12,167
17,51 - 39,00	6,50	11,75	19,50	13,451

4.5 - O Modelo obtido para a série de 1948-1983

No início deste capítulo fez-se referência a duas séries das precipitações médias diárias, das quais escolheu-se a de 1946-1970 para o desenvolvimento do modelo de previsão da chuva, devido ao maior número de postos em operação nesse período. Para se constatar se o modelo comporta-se de maneira semelhante para uma série mais longa construiu-se a matriz de transição para a série de 1948-1983, considerando-se os mesmos intervalos de classe. As tabelas 4.8, 4.9 e 4.10 mostradas adiante, representam a matriz das frequências absolutas de transição, a matriz de transição e a matriz das probabilidades de transição acumuladas obtidas para essa série.

Os parâmetros das funções de distribuição de probabilidade relativos a cada linha da matriz são apresentados na tabela 4.11.

Os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov para um nível de significância $\alpha = 0,05$ são dispostos na tabela 4.12.

Tabela 4.8

Matriz das Frequências Absolutas (Série 1948-1983)

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	5	7	Soma
1	1415	444	152	58	20	2	2	2093
2	454	386	202	122	51	17	7	1239
3	139	201	192	146	84	39	15	816
4	64	118	143	123	82	57	31	618
5	13	44	83	84	62	63	28	377
6	7	26	31	55	49	61	40	269
7	4	14	15	32	29	29	30	153
Soma	2096	1233	818	620	377	268	153	5565

Limites de classe (mm):

- 1) 0,01 - 1,50
- 2) 1,51 - 3,50
- 3) 3,51 - 6,00
- 4) 6,01 - 9,00
- 5) 9,01 - 12,50
- 6) 12,51 - 17,50
- 7) 17,51 - 44,00

Tabela 4.9
Matriz das Probabilidades de Transição
(Série 1948-1983)

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	6	7
1	0,676	0,212	0,072	0,028	0,010	0,101	0,001
2	0,366	0,311	0,163	0,099	0,041	0,014	0,006
3	0,170	0,246	0,235	0,179	0,103	0,048	0,019
4	0,104	0,191	0,231	0,199	0,133	0,092	0,050
5	0,034	0,117	0,220	0,223	0,165	0,167	0,074
6	0,026	0,097	0,115	0,204	0,182	0,227	0,149
7	0,026	0,092	0,098	0,209	0,189	0,190	0,196

Tabela 4.10
Matriz das Probabilidades de Transição
Acumuladas (Série 1948-1983)

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	6	7
1	0,676	0,888	0,961	0,989	0,998	0,999	1,000
2	0,366	0,678	0,841	0,940	0,981	0,994	1,000
3	0,170	0,417	0,652	0,831	0,934	0,982	1,000
4	0,104	0,295	0,526	0,725	0,858	0,950	1,000
5	0,034	0,151	0,371	0,594	0,759	0,926	1,000
6	0,026	0,123	0,238	0,442	0,625	0,851	1,000
7	0,026	0,188	0,216	0,425	0,614	0,804	1,000

Tabela 4.11
Parâmetros da Distribuição Gamma
(Série 1948-1983)

Linha da Matriz	Média	Desvio Padrão	Parâmetro de Forma b	Parâmetro de Escala a	Função Gamma Γ
1	1,726	1,751	1,7765	0,9717	1,0172
2	3,389	3,475	3,5625	0,9510	1,0307
3	5,592	4,977	4,4307	1,2624	0,9039
4	7,499	6,629	5,8617	1,2797	0,9008
5	9,593	7,215	5,4259	1,7677	0,9232
6	12,274	8,703	6,1690	1,9891	0,9954
7	13,193	9,459	6,7797	1,9454	0,9781

Tabela 4.12
Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov
(Série 1948-1983)

Linha da Matriz	D_{max}	D_0
1	10,20	2,95
2	3,91	3,86
3	2,73	4,76
4	3,77	5,47
5	5,55	7,00
6	7,41	8,29
7	6,22	10,99

Anteriormente, na fase da construção de uma matriz de transição simétrica para a série de 1946-1970, verificou-se que uma pequena mudança nos comprimentos dos intervalos de classe podiam resultar num melhor ajuste da distribuição às linhas da matriz. Neste caso, quiz-se apenas verificar quais os resultados do ajuste da distribuição Gamma à matriz de transição obtida de uma série mais longa, considerando os

1970. Como se verifica na tabela 4.12, a distribuição Gamma com dois parâmetros não se ajusta às duas primeiras linhas da matriz de transição obtida para a série de 1948-1983. Entretanto, pode-se ainda considerar a distribuição Gamma como modelo para representar a segunda linha da matriz, em função da pequena diferença observada no teste de ajustamento.

Os gráficos relativos a cada uma das funções de distribuição de probabilidades são apresentados na figura A.16 (Apêndice I). Para facilitar na previsão, é apresentada a tabela 4.13, com alguns valores da precipitação média diária estimada para níveis de probabilidade específicos.

Tabela 4.13

Previsão da Precipitação para alguns níveis de probabilidade
(Série 1948-1983)

Precipitação no dia anterior (mm) tempo: $t - 1$	Precipitação Estimada (mm) tempo: t			
	Probabilidade de não excedência			Média
	20%	50%	80%	
0,01 - 1,50	0,25	0,50	2,25	1,726
1,51 - 3,50	0,50	2,00	5,00	3,389
3,51 - 6,00	1,50	4,00	8,50	5,592
6,01 - 9,00	2,50	5,50	10,50	7,499
9,01 - 12,50	4,00	7,50	14,00	9,593
12,51 - 17,50	5,00	10,00	16,00	12,274
17,51 - 39,00	5,50	10,00	17,25	13,193

4.6 - Análise dos resultados

Antes de se proceder a uma análise dos resultados obtidos com o uso do modelo de Markov na previsão da precipitação média diária é importante lembrar que, sendo este um modelo estocástico, não é possível definir-se qual o valor que irá ocorrer no intervalo de tempo seguinte. Sabe-se que o valor da precipitação estimada está associado a um nível de probabilidade. Conforme se observa na tabela 4.13, de acordo com o nível de probabilidade de não excedência especificado na previsão, obtem-se diferentes valores na estimativa da chuva.

Sendo a previsão geralmente associada a uma tomada de decisão, como é o caso da abertura de comportas de um reservatório com o objetivo de atenuar os danos que possam ser causados por uma onda de cheia, deve-se considerar que o nível de probabilidade estabelecido na previsão está diretamente relacionado ao grau de segurança ou, inversamente, ao risco que se pretende assumir com a futura tomada de decisão. Assim, por exemplo, se se estabelece na previsão da precipitação um nível de probabilidade de 80% significa dizer que há o risco de apenas 20% de ocorrer um valor superior ao valor estimado para o dia seguinte. Esse grau de segurança é diminuído se, ao contrário, define-se na previsão um nível de probabilidade igual a 20%, por exemplo, significando dizer agora que o risco do valor estimado para o dia seguinte ser superado é de 80%. A média, de acordo com a sua própria definição, corresponde ao valor mais próximo do valor esperado, podendo ser utilizada com esse fim. Por-

tanto, a utilização de um modelo estocástico, como o modelo de Markov, deve se adequar à finalidade a que se destina e ao risco que se pretende assumir com a futura tomada de decisão.

Para exemplificar as observações feitas no parágrafo acima sobre a utilização do modelo de previsão da precipitação, selecionou-se de cada uma das séries das precipitações médias (1946-1970 e 1948-1983) duas curtas séries de tempo. Os resultados da previsão para 20, 50 e 80% de probabilidade e a média de cada distribuição são mostrados nas tabelas 4.14 a 4.17. Nestas tabelas, os valores da primeira linha são em todos os casos o próprio valor observado, uma vez que não foi considerado como dia chuvoso o dia anterior. As demais linhas apresentam os valores estimados para diversos níveis de probabilidade e o valor observado no mesmo intervalo de tempo t . Para a previsão, o valor utilizado pelo modelo - valor observado no dia anterior - corresponde à linha anterior da coluna dos valores observados.

Nas figuras 4.2 e 4.3 são apresentados como ilustração os resultados obtidos com a previsão relativos às tabelas 4.14 (Série 1946-1970) e 4.16 (Série 1948-1983).

Tabela 4.14

Estimativa da Precipitação (série 1946-1970)

Data de início: 1 de Janeiro de 1946

Tempo (dia)	Precipitação Observada (mm)	Precipitação Estimada * (mm)			
		Probabilidade de não excedência			Média
		20%	50%	80%	
1	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
2	10,49	0,25	1,00	2,25	1,51
3	11,46	4,25	8,50	15,00	10,07
4	11,44	5,25	10,25	18,00	12,17
5	6,45	5,25	10,25	18,00	12,17
6	2,11	2,75	6,00	11,25	7,39
7	5,08	0,75	2,50	5,25	3,30
8	0,64	1,50	4,00	8,00	5,15
9	2,18	0,25	1,00	2,25	1,51
10	2,43	0,75	2,50	5,25	3,30

* Com exceção do primeiro dia

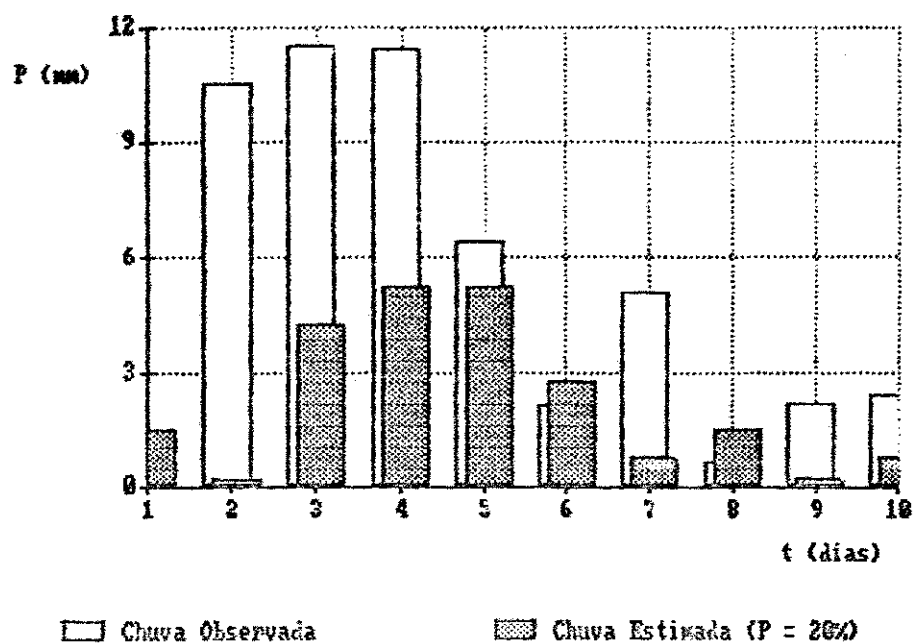


Fig 4.3.a - Estimativa da Precipitação (Bacia do Jaguaribe)

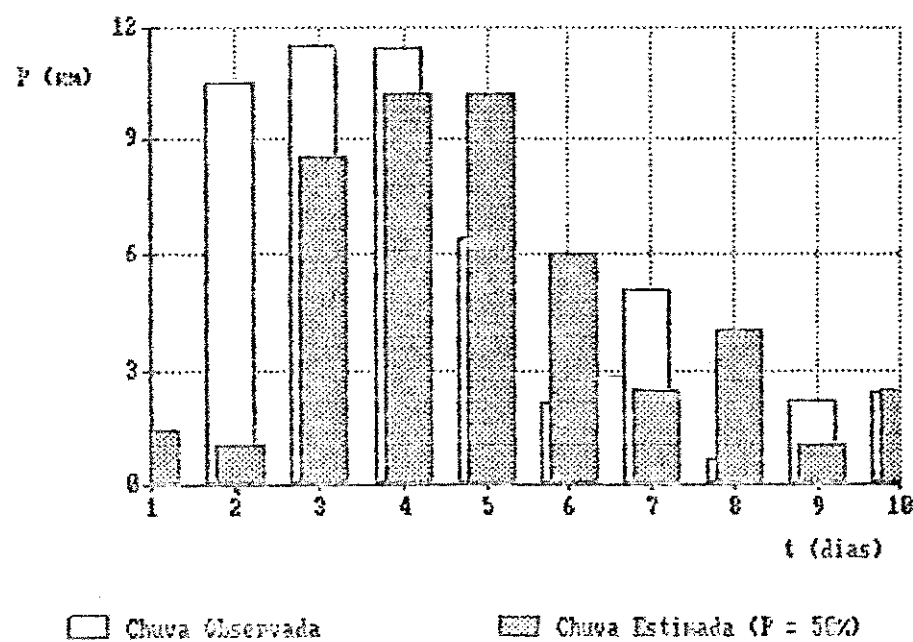


Fig 4.3.b - Estimativa da Precipitação (Bacia do Jaguaribe)

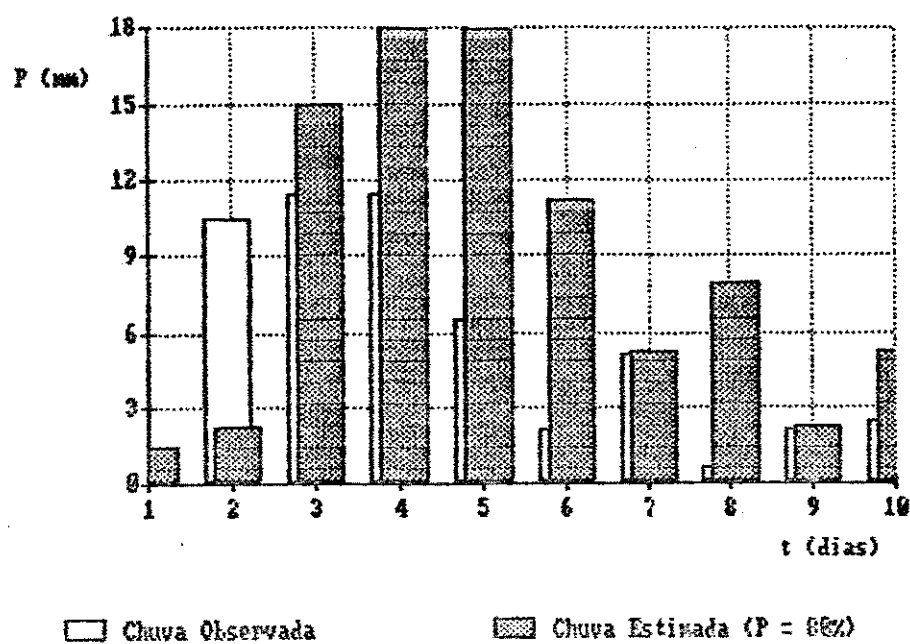


Fig 4.3.d - Estimativa da Precipitação (Bacia do Jaguaribe)

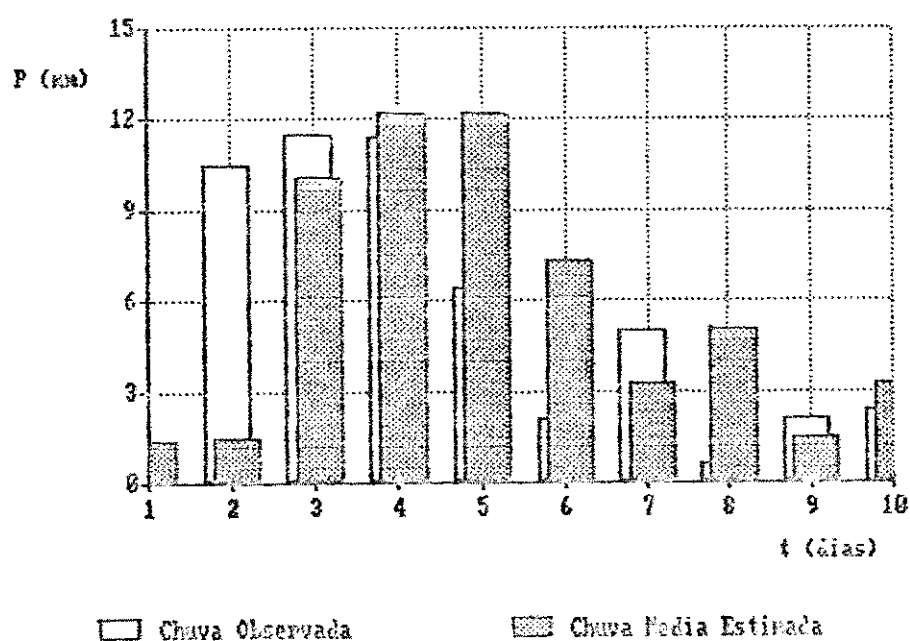


Fig 4.3.d - Estimativa da Precipitação (Bacia do Jaguaribe)

Tabela 4.15

Estimativa da Precipitação (Série 1946-1970)

Data de início: 8 de Março de 1962

Tempo (dia)	Precipitação Observada (mm)	Precipitação Estimada * (mm)			
		Probabilidade de não excedência			Média
		20%	50%	80%	
1	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
2	2,33	0,25	1,00	2,25	1,51
3	12,85	0,75	2,50	5,25	3,30
4	1,94	5,25	10,25	18,00	12,17
5	6,29	0,75	2,50	5,25	3,30
6	8,75	2,75	6,00	11,25	7,39
7	9,56	2,75	6,00	11,25	7,39
8	8,53	4,25	8,50	15,00	10,07
9	8,53	2,75	6,00	11,25	7,39
10	13,83	2,75	6,00	11,25	7,39
11	26,53	5,25	10,25	18,00	12,17
12	13,00	6,50	11,75	19,50	13,45

* Com exceção do primeiro dia

Tabela 4.16

Estimativa da Precipitação (Série 1948-1983)

Data de início: 1 de Abril de 1950

Tempo (dia)	Precipitação Observada (mm)	Precipitação Estimada * (mm)			
		Probabilidade de não excedência			Média
		20%	50%	80%	
1	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86
2	8,97	1,50	4,00	8,50	5,59
3	5,06	2,50	5,50	10,50	7,50
4	8,23	1,50	4,00	8,50	5,59
5	7,17	2,50	5,50	10,50	7,50
6	10,34	2,50	5,50	10,50	7,50
7	16,67	4,00	7,50	14,00	9,59
8	12,06	5,00	10,00	16,00	12,27
9	15,75	4,00	7,50	14,00	9,59
10	3,05	5,00	10,00	16,00	12,27
11	4,66	0,50	2,00	5,00	3,39
12	5,51	1,50	4,00	8,50	5,59

* Com exceção do primeiro dia

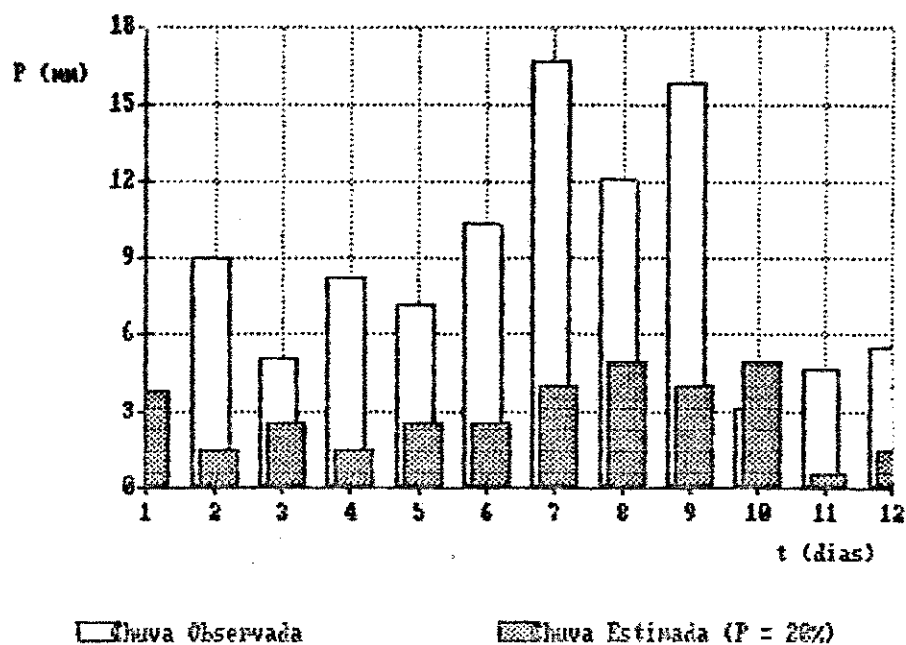


Fig 4.4.a - Estimativa da Precipitação (Bacia do Jaguaribe)

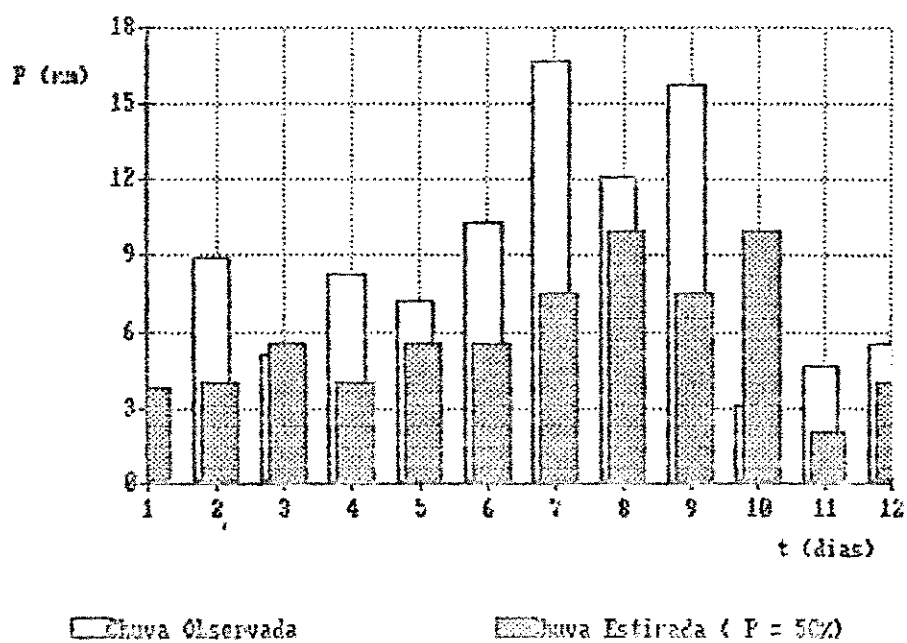


Fig 4.4.b - Estimativa da Precipitação (Bacia do Jaguaribe)

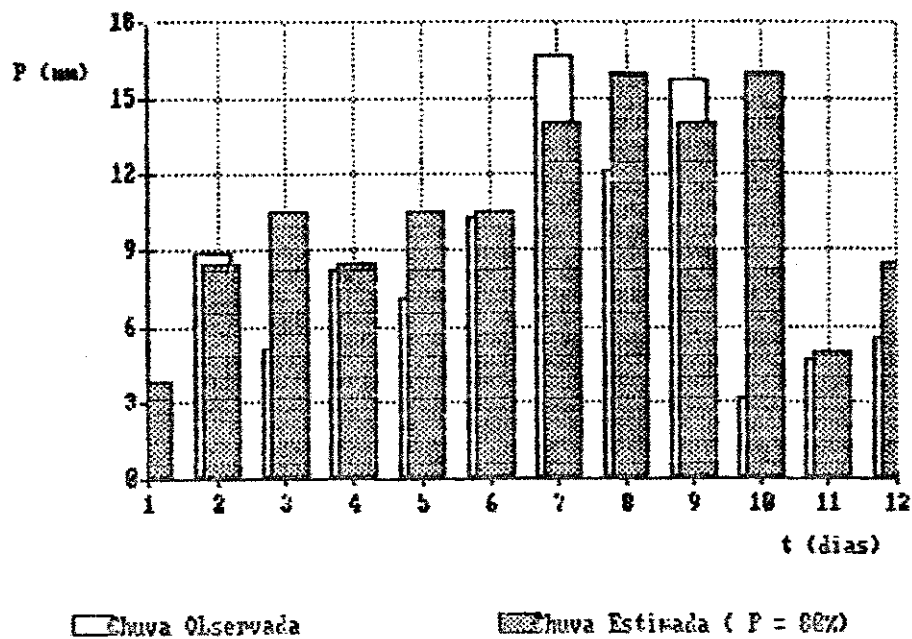


Fig 4.4.c - Estimativa da Precipitação (Bacia do Jaguaribe)

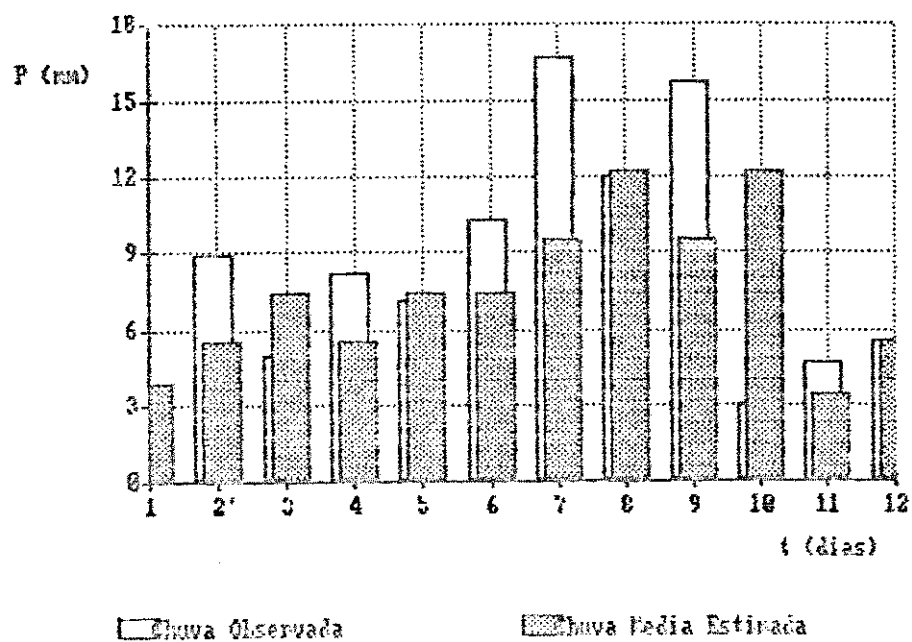


Fig 4.4.d - Estimativa da Precipitação (Bacia do Jaguaribe)

Tabela 4.17

Estimativa da Precipitação (Série 1948-1983)

Data de início: 8 de Março de 1962

Tempo (dia)	Precipitação Observada (mm)	Precipitação Estimada * (mm)			
		Probabilidade de não excedência			Média
		20%	50%	80%	
1	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
2	0,89	0,25	0,50	2,25	1,73
3	9,54	0,25	0,50	2,25	1,73
4	2,95	4,00	7,50	14,00	9,59
5	6,56	0,50	2,00	5,00	3,39
6	8,21	2,50	5,50	10,50	7,50
7	8,94	2,50	5,50	10,50	7,50
8	8,20	2,50	5,50	10,50	7,50
9	9,54	2,50	5,50	10,50	7,50
10	15,41	4,00	7,50	14,00	9,59
11	27,68	5,00	10,00	16,00	12,27
12	15,34	5,50	10,00	17,25	13,19

* Com exceção do primeiro dia

Como se observa nas tabelas 4.14 a 4.17, a maioria dos eventos estimados para uma probabilidade de 80% superam os valores observados no mesmo dia, o inverso ocorrendo para uma probabilidade de 20%. Observa-se que o modelo não é muito bom para a previsão de valores altos da precipitação, o que pode ser explicado pelo fato do número de eventos observados na bacia correspondentes às precipitações mais elevadas ser reduzido, não possibilitando o estabelecimento de um número maior de intervalos de classe no estado i nessa faixa de valores. As tabelas 4.18 e 4.19 indicam o número total de eventos observados nas quatro séries de tempo consideradas para a previsão, que são iguais ou inferiores aos valores estimados pelo modelo. Verifica-se que para os tres níveis de probabilidade de não excedência adotados na previsão, os números de casos em que isso ocorre são próximos aos números de casos esperados (de acordo com o próprio conceito de probabilidade). Para essas séries portanto, escolhidas aleatoriamente da série das precipitações médias na bacia, verifica-se que os modelos gerados fornecem em geral, boas estimativas da altura de chuva máxima esperada para o dia seguinte, para um certo nível de probabilidade adotado na previsão.

Tabela 4.18

Número de eventos observados cujo valor não
supera o valor estimado (Série 1946-1970)

Data de início dos eventos	Probabilidade			Total
	20%	50%	80%	
1-Jan-1946	3	5	9	10
8-Mar-1962	2	2	6	12
Total	5	7	15	22
Total Esperado	4	11	18	22

Tabela 4.19

Número de eventos observados cujo valor não
supera o valor estimado (Série 1948-1983)

Data de início dos eventos	Probabilidade			Total
	20%	50%	80%	
8-Mar-1962	1	2	8	12
1-Abr-1950	2	3	9	12
Total	3	5	17	24
Total Esperado	5	12	19	24

4.7 - Considerações finais

Neste capítulo procurou-se desenvolver uma metodologia para a geração de um modelo de previsão da chuva com base nas cadeias de Markov. Apesar de ter-se verificado a existência de falhas em alguns meses das séries históricas dos dados de precipitação diária utilizadas, não houve interesse, em virtude da demanda de tempo necessária, em preencher-se as lacunas observadas, dando-se maior ênfase ao desenvolvimento da própria metodologia.

O procedimento usado na derivação do modelo de Markov para a previsão da chuva em uma bacia, pode ser resumido na seguinte forma:

- 1) Construção de uma matriz genérica ($i \times j$) com intervalos de classe no estado i (i , intervalo de tempo presente) e no estado j (j , intervalo de tempo seguinte) de pequena amplitude, para a visualização da dispersão dos dados no espaço dos estados i e j , através da representação em gráficos bidimensionais;

- 2) Construção da tabela auxiliar indicativa do número total de eventos no estado j , dado o intervalo de classe no estado i ;

- 3) Análise qualitativa de algumas distribuições de frequência correspondentes a intervalos de classe no estado i selecionados da tabela do número de eventos;

- 4) Análise quantitativa dessas distribuições para verificação do ajustamento das distribuições de probabilidade conhecidas selecionadas;

5) Construção de uma matriz de transição simétrica a partir de intervalos de classe selecionados da tabela indicativa do número de eventos;

6) Verificação da aderência do modelo empírico às distribuições de frequência das linhas da matriz de transição:

i) caso não seja observado o ajustamento de pelo menos uma das distribuições a cada linha da matriz, modificar os comprimentos dos intervalos de classe de modo a produzir uma melhor distribuição dos eventos no espaço dos estados i e j simultaneamente, ou seja, retorna ao item 5;

ii) assim que pelo menos uma das distribuições consideradas se ajuste às linhas da matriz o procedimento se encerra;

7) Representação do resultado deste modelo em termos de gráficos e tabelas para a utilização direta na previsão.

(800 Km²/posto), optou-se novamente pelo método da média aritmética para o cálculo das precipitações médias diárias (figura A.14, Apêndice I). A partir desses dados e utilizando-se a metodologia apresentada anteriormente foi gerada a matriz de transição e o modelo de previsão.

No Apêndice II (tabelas A.5 e A.9) são apresentadas a matriz genérica, revelando a dispersão dos dados de chuva, e a tabela auxiliar, indicativa do número de eventos no estado j (dia seguinte) dado o intervalo de classe no estado i (dia presente). As tabelas 5.1 a 5.3 representam a matriz de transição de 8 classes obtida em termos de frequência absoluta, probabilidade de transição e probabilidade de transição acumulada.

Os parâmetros de cada uma das oito distribuições ajustadas pela distribuição Gamma são apresentados na tabela 5.4.

A tabela 5.5 fornece as diferenças máximas encontradas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e os valores críticos correspondentes a cada linha da matriz de transição para um nível de significância de 5%. Como se observa, para esta bacia foi possível ajustar-se a distribuição Gamma com dois parâmetros também à primeira linha da matriz.

Tabela 5.1

Matriz das Frequências Absolutas (Bacia do Salgado)

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	Soma
1	159	123	90	44	19	6	2	0	443
2	138	149	127	68	34	11	3	2	532
3	82	133	135	140	61	35	8	1	595
4	43	82	125	152	120	66	15	3	606
5	23	30	63	128	96	51	28	20	439
6	6	8	30	53	71	65	20	16	269
7	5	5	9	13	19	20	16	18	105
8	1	5	5	8	16	14	11	9	69
Soma	457	535	584	606	436	268	103	69	3058

Limites de Classe (mm):

- 1) 0,01 - 0,50
- 2) 0,51 - 1,50
- 3) 1,51 - 3,50
- 4) 3,51 - 7,00
- 5) 7,01 - 12,00
- 6) 12,01 - 18,00
- 7) 18,01 - 24,00
- 8) 24,01 - 49,50

Tabela 5.2

Matriz das Probabilidades de Transição

(Bacia do Salgado)

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,359	0,278	0,203	0,099	0,043	0,014	0,004	0,000
2	0,259	0,279	0,239	0,128	0,064	0,021	0,006	0,004
3	0,138	0,223	0,227	0,235	0,103	0,059	0,013	0,002
4	0,071	0,135	0,206	0,251	0,198	0,109	0,025	0,005
5	0,052	0,068	0,143	0,292	0,219	0,116	0,064	0,046
6	0,022	0,030	0,111	0,197	0,264	0,242	0,074	0,060
7	0,048	0,048	0,086	0,124	0,181	0,190	0,152	0,171
8	0,015	0,072	0,073	0,116	0,232	0,203	0,159	0,130

Tabela 5.3

Matriz das Probabilidades de Transição Acumuladas
(Bacia do Salgado)

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,359	0,637	0,840	0,940	0,982	0,996	1,000	1,000
2	0,259	0,540	0,778	0,906	0,970	0,991	0,996	1,000
3	0,138	0,361	0,588	0,824	0,926	0,985	0,998	1,000
4	0,071	0,206	0,413	0,663	0,861	0,970	0,995	1,000
5	0,052	0,121	0,264	0,556	0,775	0,891	0,954	1,000
6	0,022	0,052	0,164	0,361	0,625	0,866	0,941	1,000
7	0,048	0,095	0,181	0,305	0,486	0,676	0,829	1,000
8	0,015	0,087	0,159	0,275	0,507	0,710	0,870	1,000

Tabela 5.4

Parâmetros da Distribuição Gamma (Bacia do Salgado)

Linha da Matriz	Média	Desvio Padrão	Parâmetro de Forma b	Parâmetro de Escala α	Função Gamma Γ
1	2,107	2,778	3,6630	0,5752	1,5490
2	2,787	3,812	5,2138	0,5344	1,6612
3	4,261	4,435	4,6147	0,9231	1,0507
4	6,202	5,372	4,6512	1,3332	0,8930
5	8,805	8,125	7,4963	1,1743	0,9254
6	11,228	8,391	6,2696	1,7905	0,9289
7	15,000	11,658	9,0580	1,6555	0,9010
8	14,254	10,611	7,8989	1,8043	0,9325

Tabela 5.5
Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov
(Bacia do Salgado)

Linha da Matriz	D _{max}	D ₀
1	6,37	6,40
2	5,36	5,90
3	5,39	5,58
4	5,17	5,52
5	3,07	6,49
6	4,35	8,29
7	7,15	13,27
8	6,07	16,37

Para efeito de previsão, as oito distribuições de probabilidade acumuladas foram plotadas nos gráficos apresentados na figura A.17 (Apêndice I). Dos diagramas de previsão procedeu-se à estimativa da precipitação para diversas faixas de probabilidade, conforme mostra a tabela 5.6.

Para demonstrar a utilização do modelo de previsão na estimativa da precipitação média escolheu-se, aleatoriamente da série das precipitações médias desta bacia, tres séries de tempo mostradas nas tabelas 5.7 a 5.9.

Tabela 5.6

Previsão da Precipitação para alguns níveis de probabilidade
(Bacia do Salgado)

Precipitação no dia anterior (mm) tempo: t - 1	Precipitação Estimada (mm) tempo: t			
	Probabilidade de não excedência			Média
	20%	50%	80%	
0,01 - 0,50	0,25	1,00	3,75	2,107
0,51 - 1,50	0,25	1,30	4,75	2,787
1,51 - 3,50	0,75	3,00	7,25	4,261
3,51 - 7,00	1,75	4,75	9,75	6,202
7,01 - 12,00	2,25	6,25	14,00	8,805
12,01 - 18,00	4,25	9,25	17,00	11,228
18,01 - 24,00	5,50	12,25	22,75	15,000
24,01 - 49,50	5,50	11,75	21,75	14,254

Tabela 5.7

Estimativa da Precipitação (Bacia do Salgado)

Data de início: 30 / Jan / 1968

Tempo (dia)	Precipitação Observada (mm)	Precipitação Estimada * (mm)			
		Probabilidade de não excedência			Média
		20%	50%	80%	
1	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
2	3,81	0,25	1,30	4,75	2,79
3	16,42	1,75	4,75	9,75	6,20
4	7,16	4,25	9,25	17,00	11,23
5	23,14	2,25	6,25	14,00	8,81
6	16,38	5,50	12,25	22,75	15,00
7	4,03	4,25	9,25	17,00	11,23
8	3,91	1,75	4,75	9,75	6,20

* Com exceção do primeiro dia

Tabela 5.8

Estimativa da Precipitação (Bacia do Salgado)

Data de início: 29 / Mar / 1968

Tempo (dia)	Precipitação Observada (mm)	Precipitação Estimada * (mm)			
		Probabilidade de não excedência			Média
		20%	50%	80%	
1	11,910	11,91	11,91	11,91	11,91
2	11,340	2,25	6,25	14,00	8,81
3	7,940	2,25	6,25	4,00	8,81
4	4,070	2,25	6,25	1,00	8,81
5	22,420	1,75	4,75	9,75	6,20
6	13,370	5,50	12,25	22,50	15,00
7	23,090	4,25	9,25	17,00	11,23
8	34,630	5,50	12,25	22,75	15,00
9	1,450	5,50	11,75	21,75	14,25
10	3,560	0,25	1,30	4,75	2,79
11	35,470	1,75	4,75	9,75	6,20
12	10,830	5,50	11,75	21,75	14,25
13	4,210	2,25	6,25	14,00	8,81
14	3,820	1,75	4,75	9,75	6,20
15	9,310	1,75	4,75	9,75	6,20
16	6,520	2,25	6,25	14,00	8,81
17	0,750	1,75	4,75	9,75	6,20
18	5,510	0,25	1,30	4,75	2,79
19	2,710	1,75	4,75	9,75	6,20
20	0,030	0,75	3,00	7,25	4,26
21	5,640	0,25	1,00	3,75	2,11
22	7,790	1,75	4,75	9,75	6,20
23	4,450	2,25	6,25	14,00	8,81
24	10,970	1,75	4,75	9,75	6,20
25	0,850	2,25	6,25	14,00	8,81
26	0,000	0,25	1,30	4,75	2,79

* Com exceção do primeiro dia

Na figura 5.1 são mostradas as sequências dos valores observados e dos valores estimados apresentadas na tabela 5.8, para os níveis de probabilidade especificados.

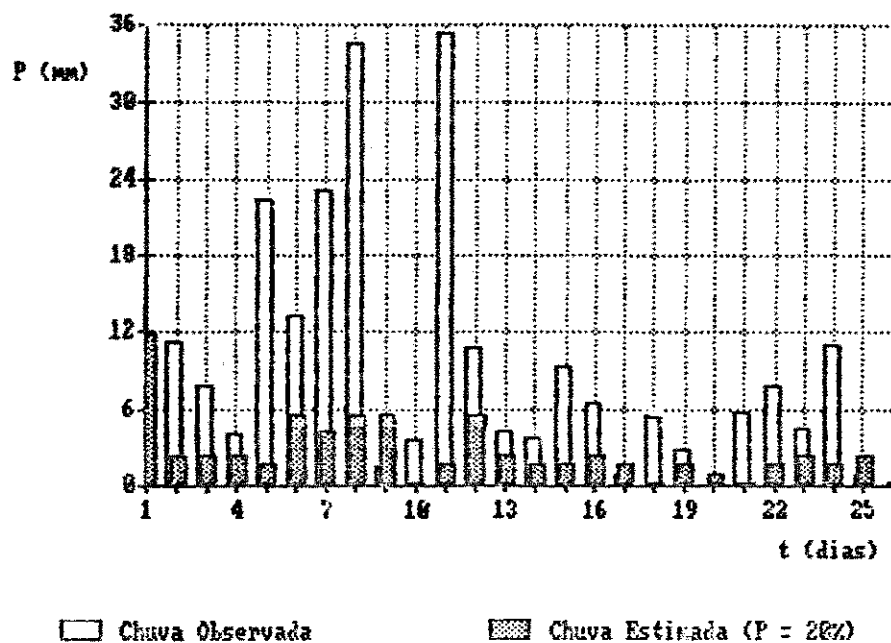


Fig 5.1.a - Estimativa da Precipitação (Bacia do Salgado)

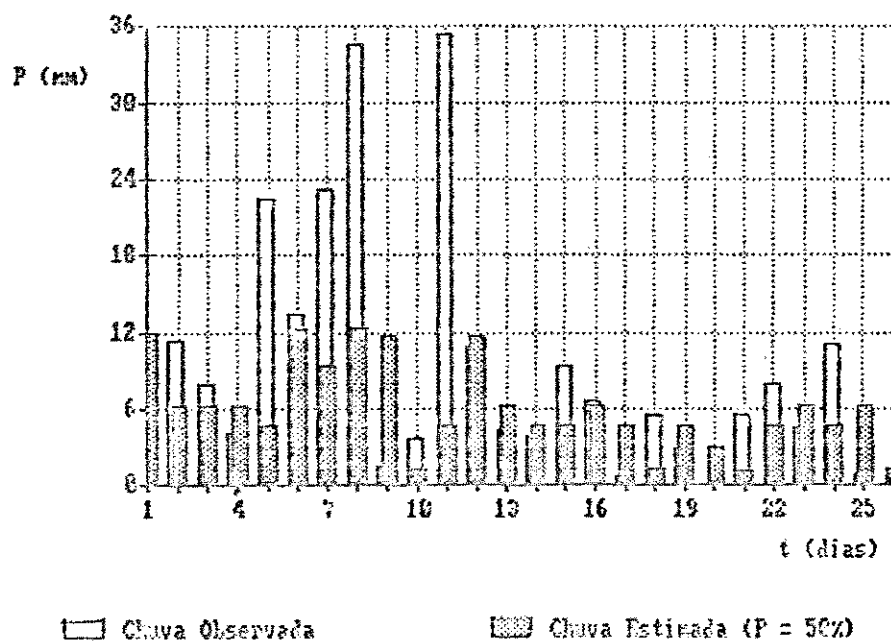


Fig 5.1.b - Estimativa da Precipitação (Bacia do Salgado)

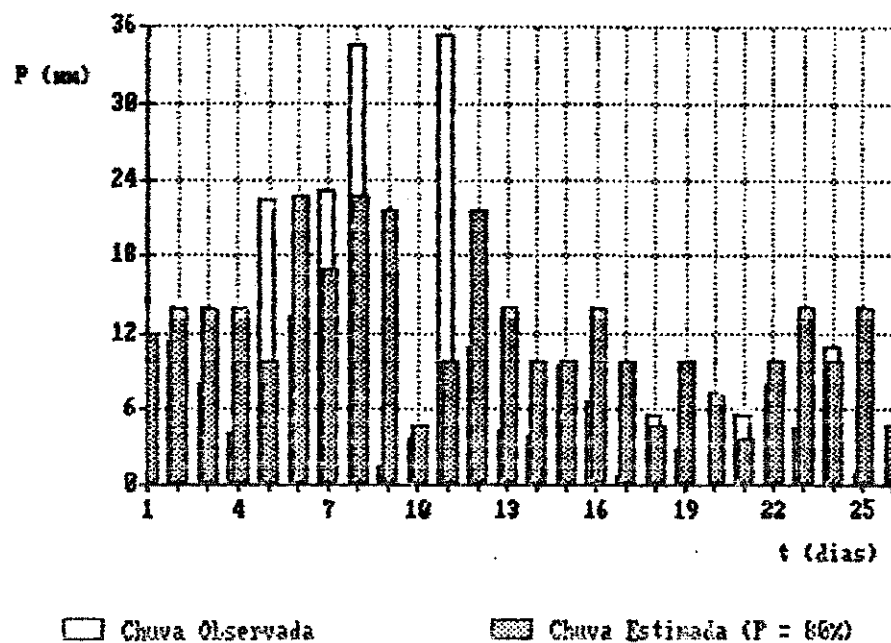


Fig 5.1.c - Estimativa da Precipitação (Bacia do Salgado)

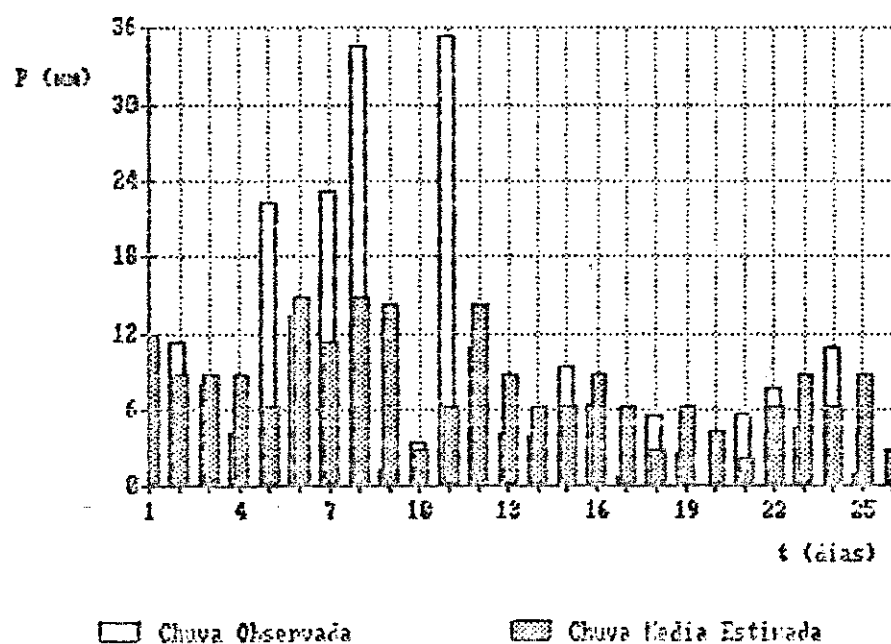


Fig 5.1.d - Estimativa da Precipitação (Bacia do Salgado)

Tabela 5.9

Estimativa da Precipitação (Bacia do Salgado)

Data de início: 6 / Mar / 1968

Tempo (dia)	Precipitação Observada (mm)	Precipitação Estimada * (mm)			
		Probabilidade de não excedência			Média
		20%	50%	80%	
1	10,61	10,61	10,61	10,61	10,61
2	2,11	2,25	6,25	14,00	8,81
3	18,43	0,75	3,00	7,25	4,26
4	4,74	5,50	12,25	22,75	15,00
5	16,32	1,75	4,75	9,75	6,20
6	6,56	4,25	9,25	17,00	11,23
7	2,19	1,75	4,75	9,75	6,20

* Com exceção do primeiro dia

5.1.2 - A Bacia do Rio Banabuiu

A bacia do Rio Banabuiu, uma sub-bacia do Jaguaribe localizada a montante de Morada Nova II, abrange uma área de 18.207 Km². A série das precipitações médias diárias para o período de 1946-1970 foi calculada a partir dos registros de 20 postos pluviométricos, os quais são indicados na figura A.12 (Apêndice I). O método de cálculo utilizado também foi o da média aritmética. Tres postos pluviométricos, pertencentes a esta sub-bacia apresentaram em alguns anos da série histórica inconsistências, conforme descrito na seção 4.1 e, em consequência, foram excluídos no cálculo das precipitações médias. Estes postos foram : Boqueirão Pedras Brancas (1950 e 1951), Itabatinga (1947) e Pedra Branca (1951). Entre as precipitações médias observadas na bacia verificou-se uma máxima de 41,71 mm.

Utilizando-se um procedimento semelhante ao apresentado anteriormente, obteve-se a matriz de transição com sete classes (tabelas 5.10 a 5.12).

Os parâmetros das distribuições de frequência e das distribuições de probabilidade Gamma ajustadas a cada linha da matriz são relacionados na tabela 5.13.

Os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov, considerando um nível de significância de 5%, são apresentados na tabela 5.14. Da mesma forma que observou-se na bacia do Jaguaribe, a função Gamma com dois parâmetros não se ajusta bem à primeira linha da matriz.

Tabela 5.10

Matriz da Frequências Absolutas (Bacia do Banabuiú)

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	Soma
1	428	207	113	56	13	7	2	826
2	221	170	144	95	26	11	2	669
3	93	132	155	137	66	19	4	606
4	56	103	117	139	111	55	17	598
5	17	39	55	96	97	73	19	396
6	3	13	20	56	69	45	19	225
7	2	4	6	19	18	15	12	76
Soma	820	668	610	598	400	225	75	3396

Limites de Classe (mm):

- 1) 0,01 - 0,75
- 2) 0,76 - 2,00
- 3) 2,01 - 4,00
- 4) 4,01 - 8,00
- 5) 8,01 - 13,00
- 6) 13,01 - 21,00
- 7) 21,01 - 42,00

Tabela 5.11

Matriz das Probabilidades de Transição (Bacia do Banabuiu)

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	6	7
1	0,518	0,251	0,137	0,068	0,016	0,008	0,002
2	0,330	0,254	0,216	0,142	0,039	0,016	0,003
3	0,153	0,218	0,256	0,226	0,109	0,031	0,007
4	0,094	0,172	0,196	0,232	0,186	0,092	0,028
5	0,043	0,099	0,139	0,242	0,245	0,184	0,048
6	0,013	0,058	0,089	0,249	0,307	0,200	0,084
7	0,026	0,053	0,079	0,250	0,237	0,197	0,158

Tabela 5.12

Matriz das Probabilidades de Transição Acumuladas

(Bacia do Banabuiu)

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	6	7
1	0,518	0,769	0,906	0,973	0,989	0,998	1,000
2	0,330	0,585	0,800	0,942	0,981	0,997	1,000
3	0,153	0,371	0,627	0,853	0,962	0,993	1,000
4	0,094	0,266	0,462	0,694	0,880	0,972	1,000
5	0,043	0,141	0,280	0,523	0,768	0,952	1,000
6	0,013	0,071	0,160	0,409	0,716	0,916	1,000
7	0,026	0,079	0,158	0,408	0,645	0,842	1,000

Tabela 5.13

Parâmetros da Distribuição Gamma (Bacia do Banabuiu)

Linha da Matriz	Média	Desvio Padrão	Parâmetro de Forma b	Parâmetro de Escala a	Função Gamma Γ
1	1,736	2,589	3,8595	0,4498	1,9689
2	2,753	3,317	3,9968	0,6888	1,3161
3	4,365	4,294	4,2230	1,0336	0,9817
4	6,662	6,352	6,0569	1,1000	0,9514
5	9,240	7,189	5,5928	1,6519	0,9004
6	11,124	7,779	5,4407	2,0449	1,0198
7	12,635	9,434	7,0423	1,7938	0,9297

Tabela 5.14

Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov
(Bacia do Banabuiú)

Linha da Matriz	D _{max}	D ₀
1	6,03	4,69
2	4,19	5,26
3	3,03	5,52
4	2,77	5,56
5	4,28	6,83
6	3,82	9,07
7	3,12	15,60

A tabela 5.15 mostra as médias e os valores da precipitação estimados para diversos níveis de probabilidade (20, 50 e 80%), de cada uma das sete distribuições. Os gráficos dessas distribuições são apresentados na figura A.18 (Apêndice I).

Tabela 5.15

Previsão da Precipitação para alguns níveis de probabilidade

Precipitação no dia anterior (mm) tempo: t - 1	Precipitação Estimada (mm) tempo: t			
	Probabilidade de não excedência			Média
	20%	50%	80%	
0,01 - 0,75	0,20	0,75	3,25	1,74
0,76 - 2,00	0,25	1,75	4,75	2,75
2,01 - 4,00	1,00	3,00	7,00	4,37
4,01 - 8,00	1,50	4,75	10,75	6,66
8,01 - 13,00	3,50	7,50	14,00	9,24
13,01 - 21,00	4,50	9,50	16,25	11,12
21,01 - 42,00	5,00	10,25	19,25	12,64

Da série das precipitações médias foram escolhidos tres eventos para a aplicação do modelo na estimativa da precipitação (tabelas 5.16 a 5.18). A figura 5.2 mostra os resultados obtidos para a série dos eventos da tabela 5.16.

Tabela 5.16

Estimativa da Precipitação (Bacia do Banabuiú)

Data de início: 18 / Mai / 1967

Tempo (dia)	Precipitação Observada (mm)	Precipitação Estimada * (mm)			
		Probabilidade de não excedência			Média
		20%	50%	80%	
1	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96
2	0,81	1,00	3,00	7,00	4,37
3	0,41	0,25	1,75	4,75	2,75
4	3,55	0,20	0,75	3,25	1,74
5	6,24	1,00	3,00	7,00	4,37
6	2,87	1,50	4,75	10,75	6,66
7	0,93	1,00	3,00	7,00	4,37

Tabela 5.17

Estimativa da Precipitação (Bacia do Banabuiú)

Data de início: 26 / Dez / 1967

Tempo (dia)	Precipitação Observada (mm)	Precipitação Estimada * (mm)			
		Probabilidade de não excedência			Média
		20%	50%	80%	
1	2,89	2,89	2,89	2,89	2,89
2	1,80	1,00	3,00	7,00	4,37
3	7,21	0,25	1,75	4,75	2,75
4	39,69	1,50	4,75	10,75	6,66
5	1,86	5,00	10,25	19,25	12,64
6	0,31	0,25	1,75	4,75	2,75
7	0,02	0,20	0,75	3,25	1,74
8	0,04	0,20	0,75	3,25	1,74

* Com exceção do primeiro dia

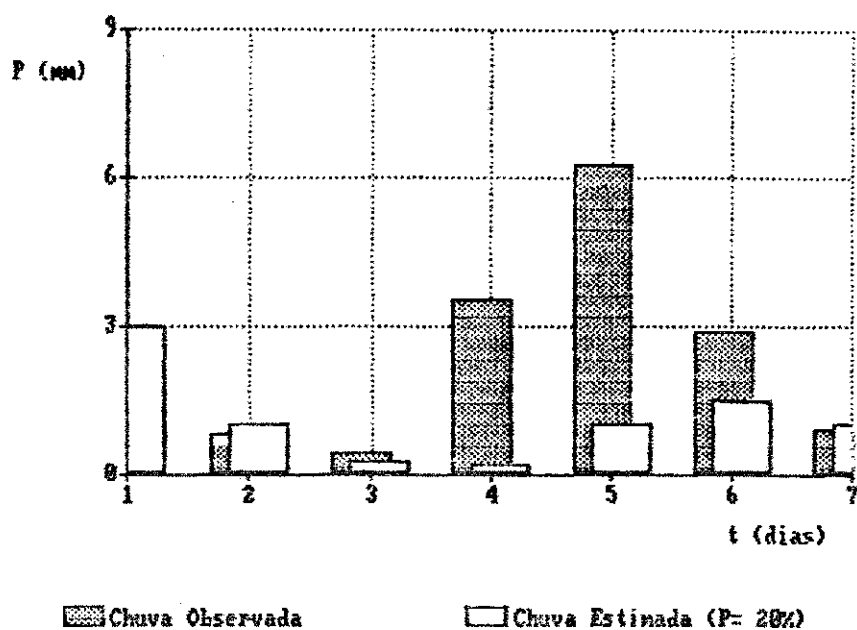


Fig 5.2.a - Estimativa da Precipitação (Bacia do Banabuiú)

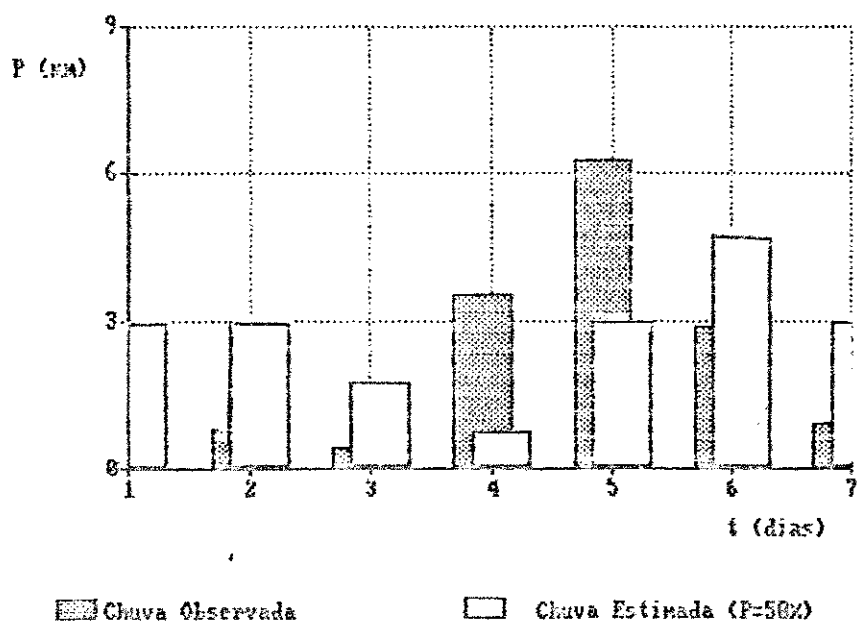


Fig 5.2.b - Estimativa da Precipitação (Bacia do Banabuiú)

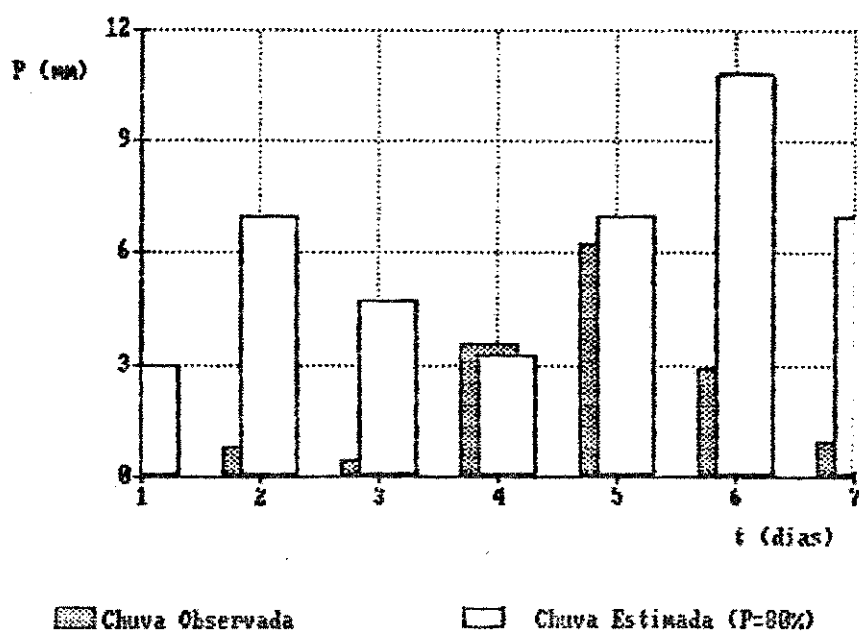


Fig 5.2.c - Estimativa da Precipitação (Bacia do Banabuiu)

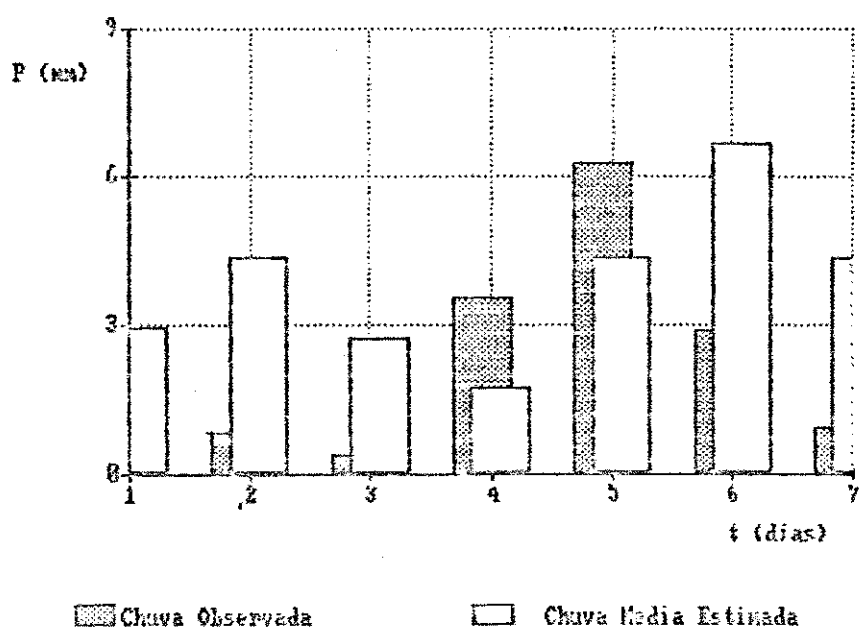


Fig 5.2.d - Estimativa da Precipitação (Bacia do Banabuiu)

Tabela 5.18

Estimativa da Precipitação (Bacia do Banabuiu)

Data de início: 13 / Mar / 1967

Tempo (dia)	Precipitação Observada (mm)	Precipitação Estimada * (mm)			
		Probabilidade de não excedência			Média
		20%	50%	80%	
1	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72
2	9,38	1,00	3,00	7,00	4,37
3	15,14	3,50	7,50	14,00	9,24
4	10,08	4,75	9,50	16,25	11,12
5	13,29	3,50	7,50	14,00	9,24
6	3,12	4,75	9,50	16,25	11,12
7	2,04	1,00	3,00	7,00	4,37

* Com exceção do primeiro dia

5.2.3 - A Bacia do Jaguaribe II (Corredores)

A bacia do Jaguaribe II, situada a montante de Corredores, se estende por uma área de 20.512 Km², onde estão localizados 9 postos pluviométricos com registros diários de chuva observados no período de 1946-1970. No cálculo das precipitações médias desta bacia novamente fez-se uso do método da média aritmética, tendo sido obtida uma altura máxima de 66,3 mm.

Nas tabelas A.7 e A.11 (Apêndice II) constam a matriz genérica e a tabela auxiliar indicativa do número total de eventos correspondentes a vários intervalos de classe no estado i.

Ajustou-se igualmente a todas as linhas da matriz de transição de 7 classes obtida (tabelas 5.19 a 5.21) a distribuição Gamma com dois parâmetros (tabela 5.22).

Tabela 5.19

Matriz das Frequências Absolutas

(Bacia do Jaguaribe II)

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	Soma
1	96	95	85	40	20	4	6	346
2	92	98	127	67	27	8	5	424
3	96	107	175	122	56	19	6	581
4	34	76	117	84	60	38	12	421
5	20	23	58	54	53	24	13	245
6	2	14	28	31	22	23	14	134
7	4	5	11	14	11	12	11	68
Soma	344	418	601	412	249	128	67	2219

Limites de Classe (mm):

- 1) 0,01 - 0,75
- 2) 0,76 - 2,00
- 3) 2,01 - 5,00
- 4) 5,01 - 9,00
- 5) 9,01 - 15,00
- 6) 15,01 - 22,00
- 7) 22,01 - 67,00

Tabela 5.20

Matriz das Probabilidades de Transição

(Bacia do Jaguaribe II)

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	6	7
1	0,277	0,274	0,246	0,116	0,058	0,012	0,017
2	0,217	0,231	0,299	0,158	0,064	0,019	0,012
3	0,165	0,184	0,301	0,210	0,096	0,033	0,010
4	0,081	0,180	0,278	0,200	0,143	0,090	0,028
5	0,082	0,094	0,237	0,220	0,216	0,098	0,053
6	0,015	0,104	0,209	0,231	0,164	0,172	0,105
7	0,059	0,073	0,162	0,206	0,162	0,176	0,162

Tabela 5.21

Matriz das Probabilidades de Transição Acumuladas
(Bacia do Jaguaribe II)

Linha da Matriz	1	2	3	4	5	6	7
1	0,277	0,552	0,798	0,913	0,971	0,983	1,000
2	0,217	0,448	0,748	0,906	0,969	0,987	1,000
3	0,165	0,349	0,651	0,861	0,957	0,990	1,000
4	0,081	0,261	0,539	0,739	0,881	0,972	1,000
5	0,082	0,176	0,412	0,633	0,849	0,947	1,000
6	0,015	0,119	0,328	0,560	0,724	0,896	1,000
7	0,059	0,132	0,294	0,500	0,662	0,838	1,000

Tabela 5.22

Parâmetros da Distribuição Gamma (Bacia do Jaguaribe II)

Linha da Matriz	Média	Desvio Padrão	Parâmetro de Forma b	Parâmetro de Escala α	Função Gamma Γ
1	3,828	6,320	10,4384	0,3668	2,4252
2	4,192	5,682	7,7042	0,5441	1,6328
3	5,060	5,767	6,5746	0,7698	1,1999
4	7,296	8,195	9,2081	0,7927	1,1725
5	9,301	9,805	10,3413	0,8997	1,0689
6	12,295	12,297	12,3001	0,9997	1,0002
7	14,535	14,282	14,0252	1,0357	0,9806

Os resultados fornecidos pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, mostrados na tabela 5.23, indicam que para um nível de significância de 5% a distribuição Gamma não é a mais indicada para representar as duas primeiras linhas da matriz. Do mesmo modo que anteriormente, essa faixa de valores da precipitação não tem grandes consequências no processo da previsão.

Tabela 5.23

Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov
(Bacia do Jaguaribe II)

Linha da Matriz	D _{max}	D ₀
1	17,68	7,29
2	7,96	6,60
3	4,75	5,64
4	5,34	6,63
5	5,17	8,69
6	6,34	11,75
7	5,87	16,49

Os diagramas de previsão relativos a cada linha da matriz são apresentados na figura A.19 (Apêndice I). A tabela 5.24 contém as estimativas da precipitação para diversos níveis de probabilidade, considerando cada uma das distribuições de probabilidade obtida.

Tabela 5.24

Previsão da Precipitação para alguns níveis de probabilidade
(Bacia do Jaguaribe II)

Precipitação no dia anterior (mm) tempo: t - 1	Precipitação Estimada (mm) tempo: t			
	Probabilidade de não excedência			Média
	20%	50%	80%	
0,01 - 0,75	0,50	1,75	5,25	3,83
0,76 - 2,00	0,50	2,50	6,00	4,19
2,01 - 5,00	0,90	3,00	7,00	5,06
5,01 - 9,00	1,25	4,50	11,00	7,30
9,01 - 15,00	2,00	6,25	13,50	9,30
15,01 - 22,00	3,00	8,00	17,50	12,30
22,01 - 67,00	3,00	9,00	20,00	14,54

A seguir são mostrados os resultados da utilização do modelo na previsão da precipitação usando-se tres eventos selecionados da série das precipitações médias. A figura 5.3 mostra os resultados obtidos para o evento da tabela 5.25.

Tabela 5.25

Estimativa da Precipitação (Bacia do Jaguaribe II)

Data de início: 1 / Mar / 1968

Tempo (dia)	Precipitação Observada (mm)	Precipitação Estimada * (mm)			
		Probabilidade de não excedência			Média
		20%	50%	80%	
1	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
2	0,28	0,25	2,25	7,50	4,19
3	0,69	0,25	2,50	13,50	3,83
4	8,34	0,25	2,50	13,50	3,83
5	4,12	1,00	4,50	12,50	7,30
6	5,60	1,00	3,25	8,50	5,06
7	30,78	1,00	4,50	12,50	7,30
8	18,86	3,25	10,25	23,50	14,54
9	15,37	2,75	8,50	19,50	12,30
10	8,79	2,75	8,50	19,50	12,30
11	2,11	1,00	4,50	12,50	7,30
12	18,62	1,00	3,25	8,50	5,06
13	19,58	2,75	8,50	19,50	12,30
14	12,21	2,75	8,50	19,50	12,30
15	28,31	1,75	6,00	15,00	9,30
16	27,16	3,25	10,25	23,50	14,54
17	8,78	3,25	10,25	25,50	14,54

* Com exceção do primeiro dia

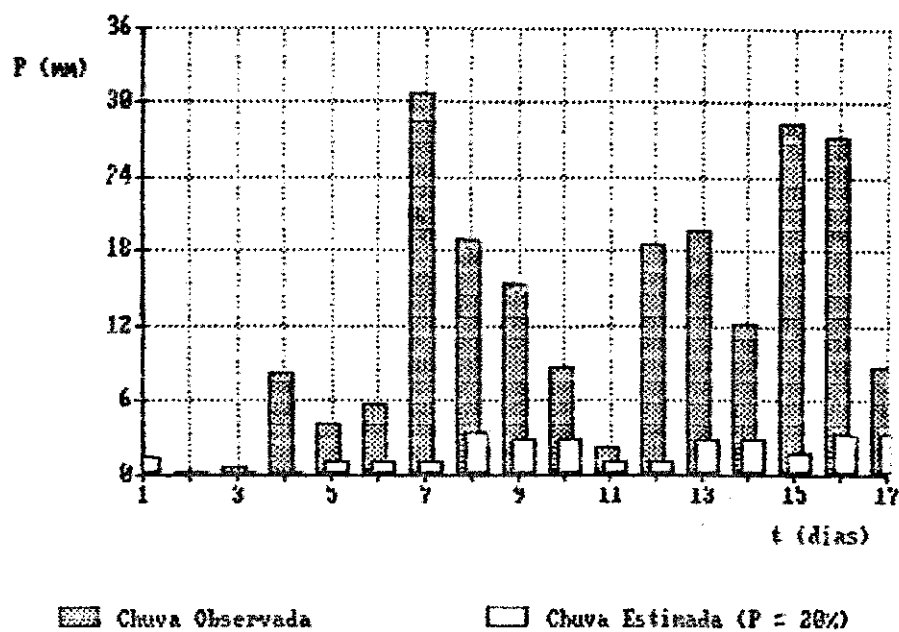


Fig 5.3.a - Estimativa da Precipitação (B. do Jaguaribe II)

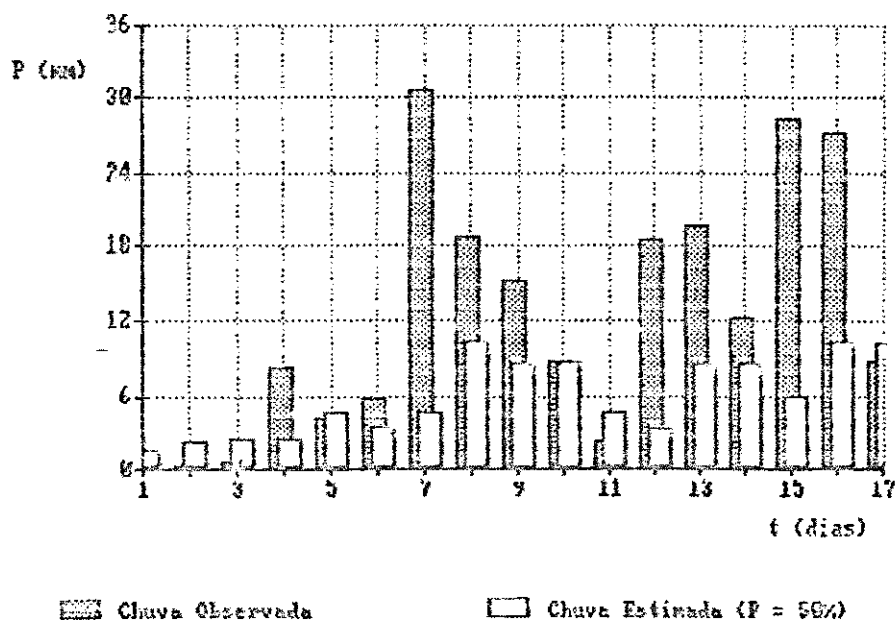


Fig 5.3.b - Estimativa da Precipitação (B. do Jaguaribe II)

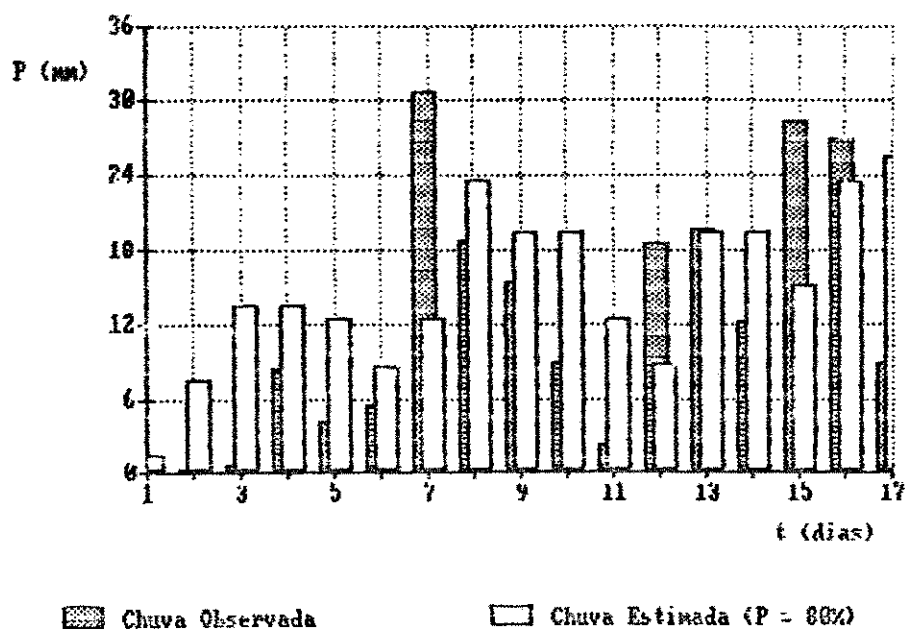


Fig 5.3.c - Estimativa da Precipitação (B. do Jaguaribe II)

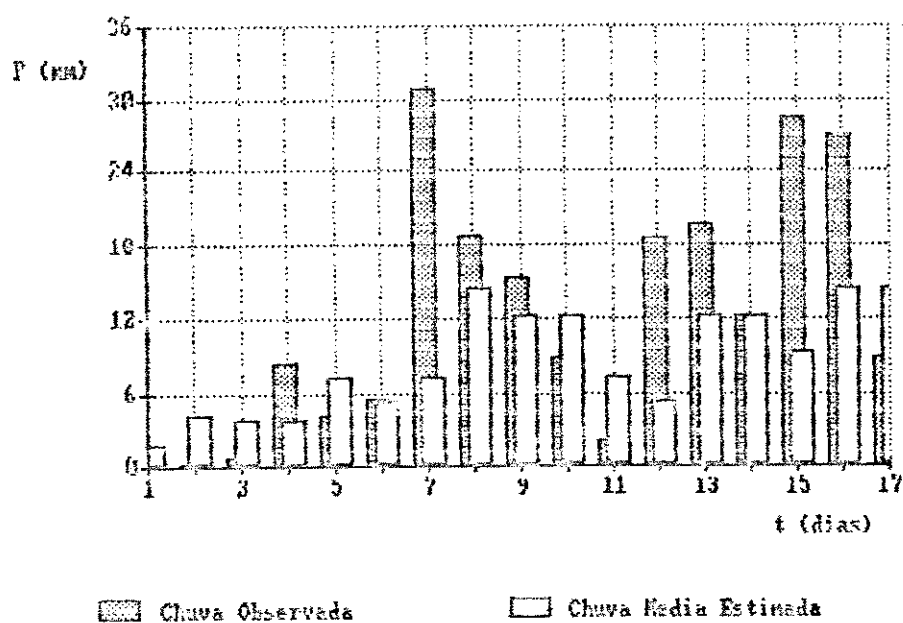


Fig 5.3.d - Estimativa da Precipitação (B. do Jaguaribe II)

Tabela 5.26

Estimativa da Precipitação (Bacia do Jaguaribe II)

Data de início: 17 / Jan / 1969

Tempo (dia)	Precipitação Observada (mm)	Precipitação Estimada * (mm)			
		Probabilidade de não excedência			Média
		20%	50%	80%	
1	4,24	4,24	4,24	4,24	4,24
2	54,12	0,90	3,25	8,50	5,06
3	0,72	3,00	10,25	23,50	14,54
4	7,38	0,50	2,50	13,50	3,83
5	2,64	1,25	4,50	12,50	7,30
6	17,99	0,90	3,25	8,50	5,06
7	5,41	3,00	8,50	19,50	12,30
8	7,91	1,25	4,50	12,50	7,30

* Com exceção do primeiro dia

Tabela 5.27

Estimativa da Precipitação (Bacia do Jaguaribe II)

Data de início: 1 / Mar / 1970

Tempo (dia)	Precipitação Observada (mm)	Precipitação Estimada * (mm)			
		Probabilidade de não excedência			Média
		20%	50%	80%	
1	5,51	5,51	5,51	5,51	5,51
2	6,60	1,00	4,50	12,50	7,30
3	66,30	1,00	4,50	12,50	7,30
4	26,60	3,25	10,25	23,50	14,54
5	1,30	3,25	10,25	23,50	14,54
6	23,12	0,25	2,25	7,50	4,19
7	10,39	3,25	10,25	23,50	14,54
8	5,34	1,75	6,00	15,00	9,30
9	8,39	1,00	4,50	12,50	7,30
10	1,99	1,00	4,50	12,50	7,30

* Com exceção do primeiro dia

5.1.4 Comentários finais

Para as tres sub-bacias do Jaguaribe (Salgado, Banabuiu e Jaguaribe II) verificou-se o ajustamento de um mesmo tipo de distribuição às linhas das matrizes, podendo-se considerar a distribuição Gamma com dois parâmetros como modelo representativo da região.

Sendo a bacia homogênea, era de se esperar uma distribuição das chuvas semelhante nas tres sub-bacias e portanto, a mesma dificuldade na escolha dos intervalos de classe. De forma similar ao modelo gerado para a bacia do Jaguaribe, os modelos de previsão desenvolvidos para as tres sub-bacias não fornecem estimativas muito boas para valores muito elevados da precipitação (embora sejam de maior interesse para a previsão de cheias) devido ao reduzido número de ocorrências destas.

Na seção seguinte faz-se uma aplicação dos resultados de modelos de previsão da chuva de duas sub-bacias na estimativa do escoamento superficial. Com essa finalidade, desenvolve-se um modelo chuva-deflúvio para cada bacia. Estes modelos, entretanto, não são necessariamente representativos da região, por não ser objetivo básico deste trabalho o desenvolvimento de um bom modelo chuva-deflúvio.

5.2 - Estimativa do Escoamento Superficial

Na estimativa do escoamento superficial em uma bacia são utilizados os modelos chuva-deflúvio, modelos determinísticos que permitem a transformação da chuva captada na onda de vazão resultante. Entre os mais conhecidos tem-se o hidrograma unitário, o hidrograma sintético, o método racional e os modelos conceituais como o reservatório linear. O hidrograma unitário é usado com relativa frequência, geralmente adaptando-se às bacias de estudo e, portanto, também se faz uso dele neste trabalho. Segundo GRAY (GRAY, 1973) o hidrograma unitário é *um hidrograma resultante de uma unidade (1 cm) de escoamento direto, gerado uniformemente sobre uma bacia, a uma taxa uniforme, durante um período de tempo especificado*. Para a derivação de um hidrograma unitário são requeridas medidas simultâneas de chuva e de vazão de uma bacia para vários anos, e também, preferivelmente alguma estimativa sobre a taxa de infiltração. O procedimento consiste basicamente em escolher alguns períodos de chuva para os quais os hidrogramas resultantes correspondentes são disponíveis. Os hidrogramas são reduzidos para hidrogramas unitários entre os quais é derivado um hidrograma unitário médio para a bacia.

Os períodos de chuva escolhidos devem ser aqueles de alta intensidade que superam a taxa de infiltração, de preferência aqueles que cobrem toda a bacia. Assumindo, por simplicidade, que se tem uma chuva isolada com intensidade alta e uniforme, o procedimento em geral para obter-se um hidrograma unitário de uma chuva é o seguinte: primeiramente

separa-se o hidrograma associado a uma chuva em seus componentes (escoamento direto e escoamento básico) e obtém-se o hidrograma correspondente ao escoamento superficial ou direto, cujo volume V pode ser obtido planimetrando-se a área sob o hidrograma. O volume V pode ser convertido para uma altura P_n , a precipitação efetiva sobre a bacia, dividindo-se esse volume pela área da bacia. Para reduzir o hidrograma para um volume unitário de chuva, cada ordenada é dividida por P_n . O resultado é um hidrograma unitário de igual duração à duração efetiva da chuva.

O processo descrito acima trata-se de um hidrograma unitário linear, uma vez que se supõe um comportamento linear do sistema no qual a vazão gerada é proporcional à magnitude da entrada (chuva efetiva). Geralmente, são obtidos bons resultados através do modelo linear. Entretanto, em vários estudos de chuva e deflúvio, especialmente de pequenas bacias, é comum verificar-se o comportamento não linear da bacia hidrográfica, sendo para isso necessário um hidrograma unitário não linear. Para a construção de um hidrograma unitário desse tipo utiliza-se o conceito de hidrograma unitário instantâneo (H.U.I.) e a Série de Volterra (BONEH e DISKIN, 1972). Neste caso, são necessários hidrogramas unitários cuja duração seja o mais curta possível.

5.2.1 - O Modelo Chuva-Deflúvio

Para a representação das relações chuva-deflúvio em uma bacia, considera-se a bacia hidrográfica como sendo um sistema com uma simples variável de entrada $X(t)$, a precipitação média efetiva sobre a bacia, e uma variável de saída $Y(t)$, o escoamento direto sobre a bacia.

A série de Volterra consiste na soma de um número infinito de integrais de convolução. O modelo de segunda ordem dado pela equação (5.1) é uma aproximação suficiente para o sistema, quando os componentes não lineares acima de segunda ordem são desprezíveis. Então,

$$Y(t) = \int_0^t h(\tau) \cdot X(t-\tau) \cdot d\tau + \int_0^t \int_0^t g(\tau; \sigma) \cdot X(t-\sigma) \cdot X(t-\tau) d\tau d\sigma \quad (5.1)$$

Caracterizam esse modelo duas funções, $h(\tau)$ e $g(\tau, \sigma)$, variáveis de primeira e segunda ordem respectivamente, cujas propriedades devem ser derivadas considerando a natureza da bacia hidrográfica e das funções de entrada e de saída do sistema. Algumas características dessas duas funções são possíveis de serem derivadas de hidrogramas unitários de pequena duração. Entre outras é mostrado que, para um sistema conservativo de massa no qual

$$\int_0^{\infty} X(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} Y(t) \cdot dt \quad (5.2)$$

existem algumas condições que as funções $h(\tau)$ e $g(\tau, \sigma)$ devem satisfazer, sendo duas delas

$$\int_0^{\infty} h(t) \cdot dt = 1 \quad (5.3)$$

$$\int_0^{\infty} g(t; t) \cdot dt = 0 \quad (5.4)$$

Considerando-se a entrada do sistema como sendo um impulso, pode-se obter outras propriedades dessas funções, com o auxílio de hidrogramas unitários de pequena duração.

A saída de um sistema de segunda ordem $Y(t)$ resultante de um impulso isolado de magnitude positiva N , aplicado no tempo $t = 0$, pode ser obtida substituindo-se na equação (5.1) as seguintes expressões que definem esta entrada

$$X(t) = 0 \quad \text{para } t < 0 \quad (5.5)$$

$$\lim_{t \rightarrow 0} X(t) = \infty \quad (5.6)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} X(t) \cdot dt = N \quad (5.7)$$

As integrais da equação (5.1) assumem um valor não nulo somente para $\tau = t$ e $\sigma = t$ e o resultado é

$$Y(t) = N \cdot h(t) + N^2 \cdot g(t; t) \quad (5.8)$$

A saída deve ser considerada sendo composta por duas partes: a primeira proporcional à magnitude da entrada e a segunda proporcional ao quadrado da entrada.

Substituindo-se na equação (5.8) o valor de $N = 1$ obtem-se a definição de $h(t)$ como sendo a resposta unitária de primeira ordem e $g(t; t)$ como sendo a resposta de segunda ordem.

Aplicando-se a usual análise do hidrograma unitário à equação (5.8) obtem-se

$$U(t) = Y(t)/N = h(t) + N.g(t; t) \quad (5.9)$$

Suponha-se que N_1 e N_2 são os volumes associados a dois eventos independentes de chuvas de pequena duração, $Y_1(t)$ e $Y_2(t)$ são as saídas correspondentes e $U_1(t)$ e $U_2(t)$ são os hidrogramas unitários derivados dessas saídas. Usando-se a equação (5.9) para as duas chuvas obtem-se as seguintes expressões para as saídas derivadas:

$$Y_1(t) = N_1.h(t) + N_1^2.g(t; t) \quad (5.10)$$

$$Y_2(t) = N_2.h(t) + N_2^2.g(t; t) \quad (5.11)$$

Os hidrogramas unitários correspondentes são dados por

$$U_1(t) = h(t) + N_1.g(t; t) \quad (5.12)$$

$$U_2(t) = h(t) + N_2.g(t; t) \quad (5.13)$$

Resolvendo as duas equações acima para $g(t; t)$ obtem-se

$$g(t; t) = (U_1(t) - U_2(t)) / (N_1 - N_2) \quad (5.14)$$

ou

$$g(t; t) = (Y_2(t)/N_2 - Y_1(t)/N_1) / (N_2 - N_1) \quad (5.15)$$

A função de primeira ordem $h(t)$ é obtida das equações (5.12) e (5.13)

$$h(t) = (U_1(t)/N_1 - U_2(t)/N_2) / (1/N_1 - 1/N_2)$$

(5.16)

$$h(t) = (Y_2(t)/N_2^2 - Y_1(t)/N_1^2) / (1/N_2 - 1/N_1)$$

(5.17)

Com as expressões (5.15) e (5.17) pode-se determinar as funções $g(t,t)$ e $h(t)$ derivadas de dois hidrogramas gerados de chuvas independentes de pequena duração.

5.2.2 - A Bacia do Salgado

Para a análise do hidrograma unitário não linear da bacia do rio Salgado, a montante da estação de Icó, foram considerados os dois eventos, ocorridos em Maio/1967 e Abril/1970, mostrados na tabela 5.28.

Tabela 5.28

Eventos utilizados no cálculo do H.U. (Bacia do Salgado)

Tempo (dia)	E V E N T O 1		E V E N T O 2	
	Precipitação (mm)	Vazão (m ³ /s)	Precipitação (mm)	Vazão (m ³ /s)
1	40,45	466,00	18,20	10,80
2	20,42	609,00	12,06	18,80
3	1,33	549,00	0,00	39,00
4	0,08	317,00	0,79	25,70
5	0,25	191,00	2,27	16,00
6	8,64	135,00	0,73	9,46

De acordo com o modelo de segunda ordem descrito no item 5.2.1, definiu-se a entrada do sistema $x(t)$ como sendo a precipitação média efetiva e a saída $y(t)$ como sendo o escoamento direto sobre a bacia.

Para o cálculo do escoamento direto nos eventos 1 e 2 foram consideradas as vazões básicas $Q_{b1}=0.97$ mm ($135 \text{ m}^3/\text{s}$) e $Q_{b2} = 0,05$ mm ($9,46 \text{ m}^3/\text{s}$).

A tabela 5.29 fornece os valores do escoamento superficial $Y_1(t)$ e $Y_2(t)$, obtidos pela diferença entre as vazões observadas Q e a vazão básica Q_b .

Tabela 5.29

Escoamento direto utilizado no cálculo do H.U.

(Bacia do Salgado)

Tempo (dia)	E V E N T O 1			E V E N T O 2		
	Q (mm)	Q _{b1} (mm)	Y (mm ¹)	Q (mm)	Q _{b2} (mm)	Y (mm ²)
1	3,36	0,97	2,39	0,08	0,05	0,03
2	4,38	0,97	3,41	0,13	0,05	0,08
3	3,95	0,97	2,98	0,28	0,05	0,23
4	2,28	0,97	1,31	0,19	0,05	0,14
5	1,38	0,97	0,41	0,11	0,05	0,06
6	0,97	0,97	0,00	0,07	0,05	0,02

A precipitação efetiva sobre a bacia é a que gera o escoamento direto e portanto, em termos de um só impulso N , corresponde ao somatório dos valores de $Y(t)$, ou seja, $N_1 = \sum Y_1(t)$ e $N_2 = \sum Y_2(t)$. Para se poder fazer a consideração de que o escoamento direto é gerado por apenas um impulso escolheu-se dois eventos em que a precipitação no

tempo inicial é bem superior à dos demais dias, conforme pode ser visto na tabela 5.28.

Das equações (5.15) e (5.17) obtém-se as ordenadas das funções de primeira e segunda ordem respectivamente do H.U não linear, as quais são mostradas na tabela 5.30. Esses cálculos podem ser agilizados com o uso de um programa (HU) apresentado no Apêndice III.

Tabela 5.30

Ordenadas do H.U. Não Linear (Bacia do Salgado)

Tempo (dia)	$h(t)$	$g(t;t)$
1	0,044	0,018
2	0,133	0,018
3	0,418	-0,013
4	0,257	-0,013
5	0,111	-0,007
6	0,038	-0,004

Os gráficos representando o hidrograma unitário da bacia são apresentados na figura 5.4.

Na primeira parte deste capítulo procedeu-se à estimativa da precipitação nos dias seguintes para tres eventos (selecionados da série das precipitações médias da bacia) em que ocorreram precipitações em vários dias seguidos. Utilizando o modelo do hidrograma unitário não linear desenvolvido, pode-se estimar o escoamento superficial resultante da chuva estimada pelo modelo de previsão e comparar esse resultado com o escoamento superficial estimado a partir da chuva observada.

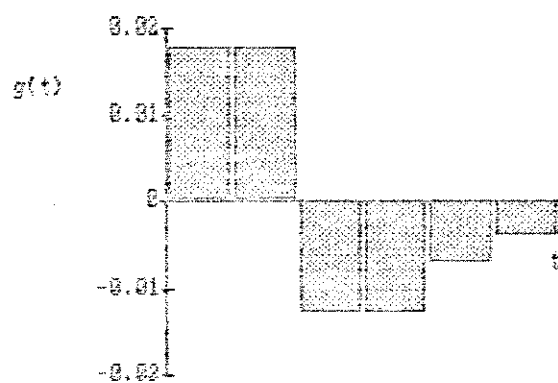
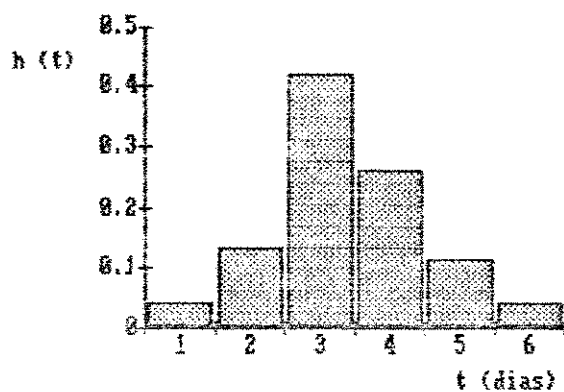


Fig 5.4. - Componentes não lineares do Hidrograma Unitário
(B. do Salgado)

No cálculo do escoamento superficial foi adotado o seguinte roteiro :

1) Cálculo da Precipitação Efetiva

Nesse cálculo são consideradas as equações

$$N' = P' \cdot c \quad (5.18)$$

$$N = P \cdot c$$

onde

P' - precipitação estimada pelo modelo de previsão de chuva;

P - precipitação observada;

N' - precipitação efetiva estimada a partir de P' ;

N - precipitação efetiva estimada a partir de P ;

c - coeficiente de deflúvio estimado do próprio evento, dado pela relação entre o volume total escoado e o volume total precipitado na bacia durante o período total do evento.

2) Cálculo das ondas de vazão geradas pelo modelo

O escoamento direto calculado pelo H. U. não linear é dado por

$$Y'(t) = N' \cdot h(t) + N'^2 \cdot g(t)$$

para uma chuva efetiva estimada N' , e por

$$Y(t) = N \cdot h(t) + N^2 \cdot g(t)$$

para uma chuva efetiva N .

3) Cálculo das ordenadas $Q(t)$ e $Q'(t)$ dos hidrogramas correspondentes ao evento onde:

$Q'(t)$ é a vazão estimada de $Y'(t)$ e,

$Q(t)$ é a vazão estimada de $Y(t)$.

Através da superposição das ondas de vazão estimadas no item 2 obtém-se o hidrograma resultante.

De acordo com o roteiro estabelecido acima, foram obtidas as estimativas das vazões para os mesmos tres eventos utilizados na previsão da precipitação na etapa anterior e apresentados nas tabelas 5.7 a 5.9. Esses resultados estão dispostos nas tabelas 5.31 a 5.33 e representados nos gráficos das figuras 5.5 a 5.7. Os coeficientes de deflúvio referentes a cada evento são mostrados junto a cada tabela.

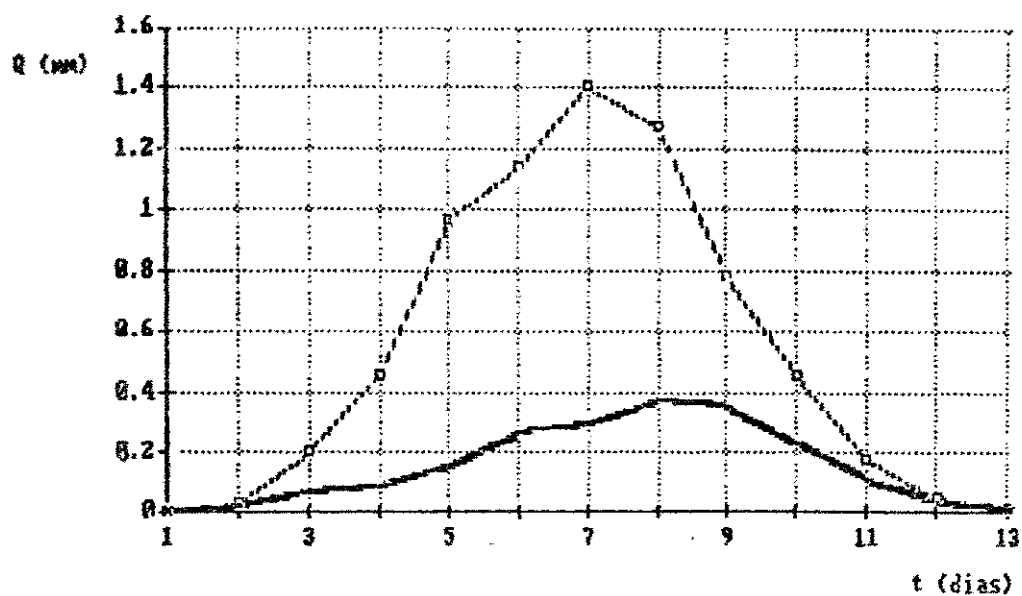
Tabela 5.31

Estimativa das Vazões (Bacia do Salgado)

Data de início: 30 / Jan / 1968

c = 0,091

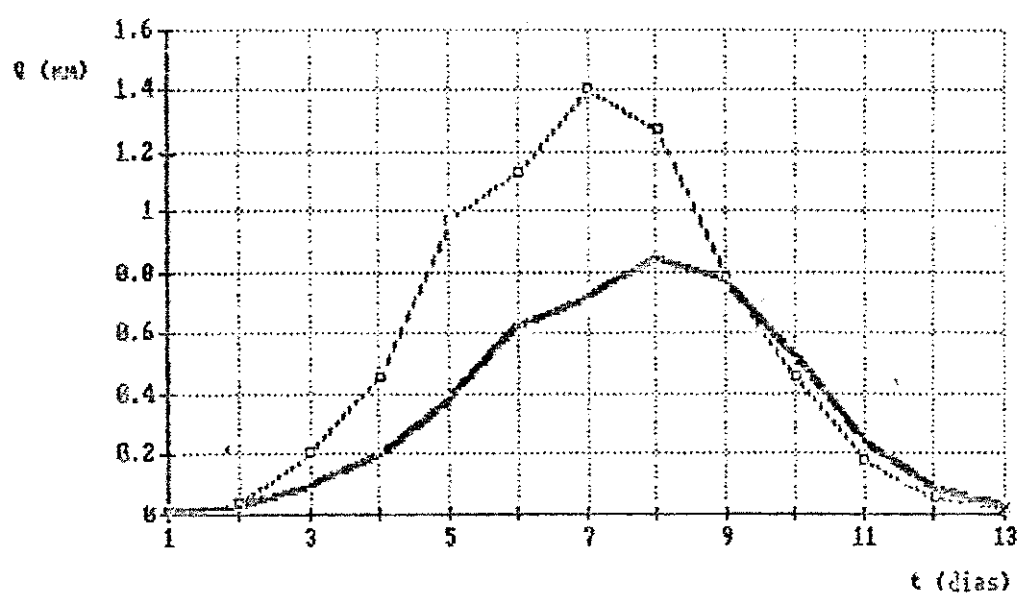
Tempo (dia)	Vazão Estimada (mm) utilizando				
	Precipitação Observada	Precipitação prevista pelo modelo			
		Probabilidade			Média
		20%	50%	80%	
1	0,0062	0,0062	0,0062	0,0062	0,0062
2	0,0355	0,0191	0,0236	0,0405	0,0304
3	0,2029	0,0662	0,0941	0,1697	0,1212
4	0,4527	0,0850	0,1941	0,4557	0,2840
5	0,9646	0,1507	0,3787	0,8181	0,5124
6	1,1299	0,2624	0,6222	1,2519	0,7990
7	1,4042	0,2916	0,7122	1,4502	0,9245
8	1,2640	0,3675	0,8430	1,6035	1,1056
9	0,7811	0,3433	0,7638	1,4033	0,9401
10	0,4518	0,2251	0,5207	0,9688	0,6471
11	0,1773	0,1005	0,2345	0,4343	0,2914
12	0,0520	0,0316	0,0758	0,1422	0,0951
13	0,0130	0,0060	0,0157	0,0306	0,0202



--- $Q(t)$

— $Q'(t)$ (P = 20%)

Fig 5.5.a - Estimativa da Vazão (Bacia do Salgado)



--- $Q(t)$

— $Q'(t)$ (P = 50%)

Fig 5.5.b - Estimativa da Vazão (Bacia do Salgado)

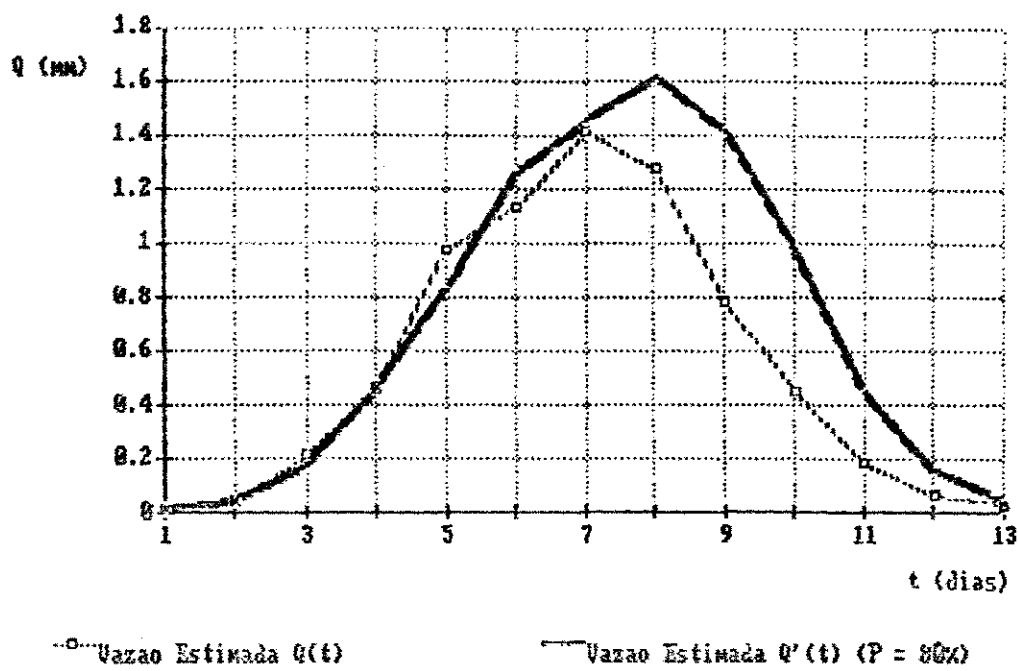


Fig 5.5.c - Estimativa da Vazão (Bacia do Salgado)

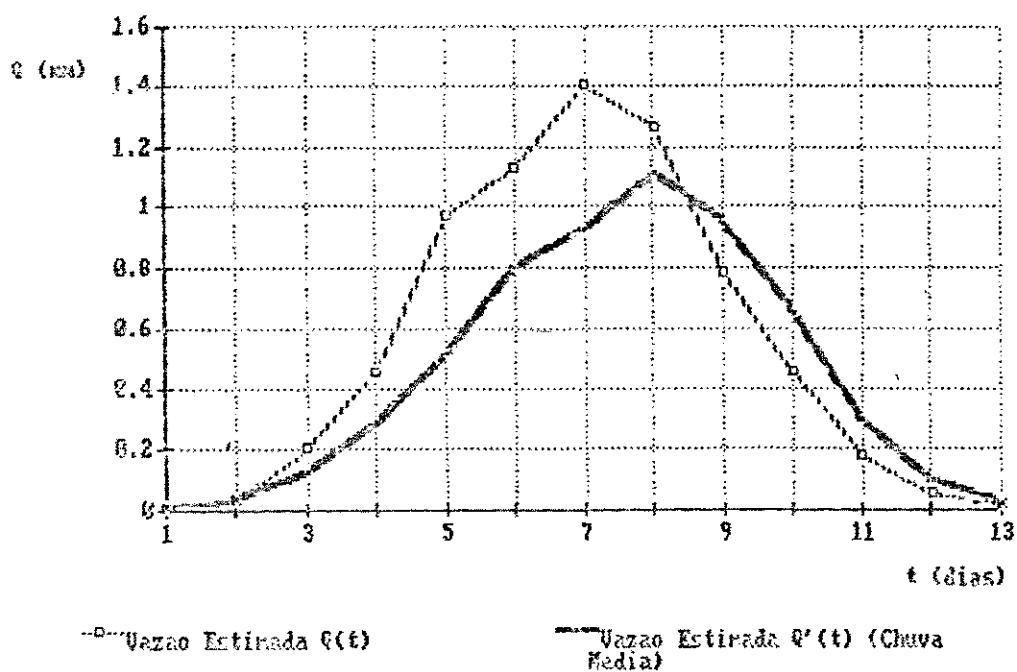


Fig 5.5.d - Estimativa da Vazão (Bacia do Salgado)

Tabela 5.32

Estimativa das Vazões (Bacia do Salgado)

Data de início: 29 / Mar / 1968

c = 0,223

Tempo (dia)	Vazão Estimada (mm) utilizando				
	Precipitação Observada	Precipitação prevista pelo modelo			
		Probabilidade			Média
		20%	50%	80%	
1	0,2438	0,2438	0,2438	0,2438	0,2438
2	0,7066	0,5068	0,5765	0,7930	0,6361
3	1,6043	1,1163	1,3351	1,6627	1,5052
4	1,9115	0,8952	1,4648	1,9128	1,8486
5	2,3170	0,6687	1,4228	1,4949	1,8972
6	2,4977	0,5945	1,5197	1,7107	2,0564
7	3,4929	0,6069	1,6124	2,6231	2,1274
8	4,8157	0,8867	2,0943	3,7719	2,6280
9	4,9862	1,0117	2,3034	4,3514	2,8466
10	3,8812	1,0576	2,2928	4,1532	2,7914
11	3,3980	0,9557	1,9911	3,4428	2,4126
12	3,3242	0,6126	1,4165	2,8495	1,8434
13	3,2622	0,5584	1,3867	2,9499	1,8327
14	2,4400	0,7294	1,6545	3,1903	2,1002
15	1,6888	0,6210	1,4898	2,9180	1,9322
16	1,3098	0,5079	1,2970	2,6475	1,7090
17	1,4271	0,4452	1,1862	2,4847	1,5810
18	1,2834	0,4222	1,1452	2,4046	1,5535
19	0,8692	0,3707	1,0135	2,1368	1,3777
20	0,8321	0,2522	0,7532	1,7600	1,0978
21	0,6939	0,2610	0,7642	1,7044	1,0745
22	0,6119	0,2156	0,6962	1,6172	0,9889
23	0,9588	0,1915	0,6365	1,6531	0,9626
24	1,3769	0,2992	0,8789	2,0495	1,2412
25	1,3801	0,3984	1,1204	2,5016	1,5589
26	1,4260	0,4050	1,1137	2,4177	1,5300
27	0,7869	0,3804	1,0319	2,1787	1,4272
28	0,3117	0,2093	0,6079	1,3917	0,9091
29	0,0898	0,0824	0,2503	0,5997	0,3908
30	0,0071	0,0242	0,0768	0,1894	0,1256
31	0,0000	0,2438	0,2438	0,2438	0,2438

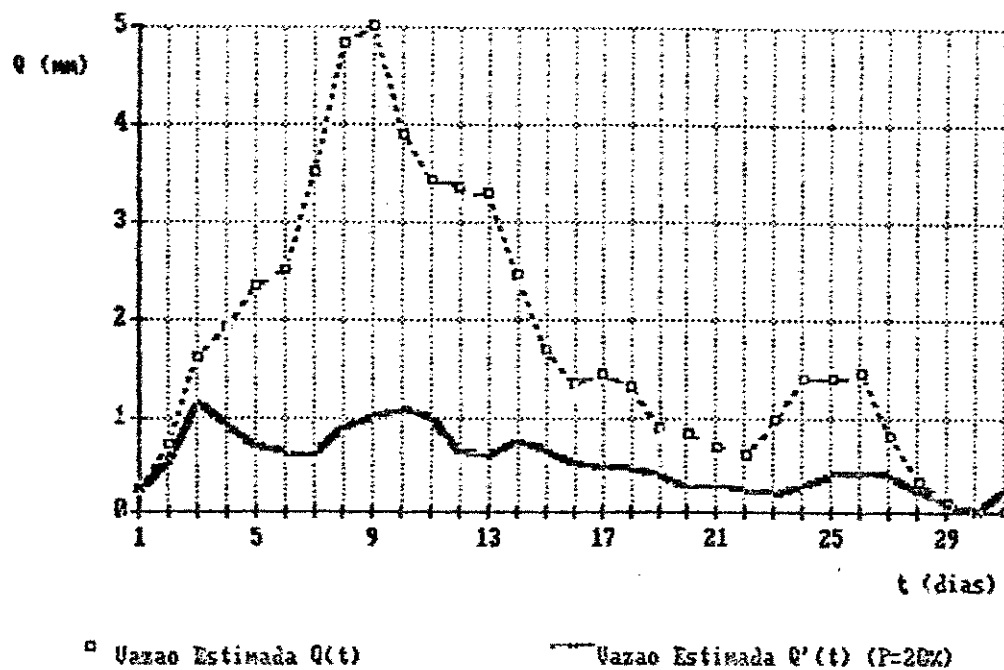


Fig 5.6.a - Estimativa da Vazão (Bacia do Salgado)

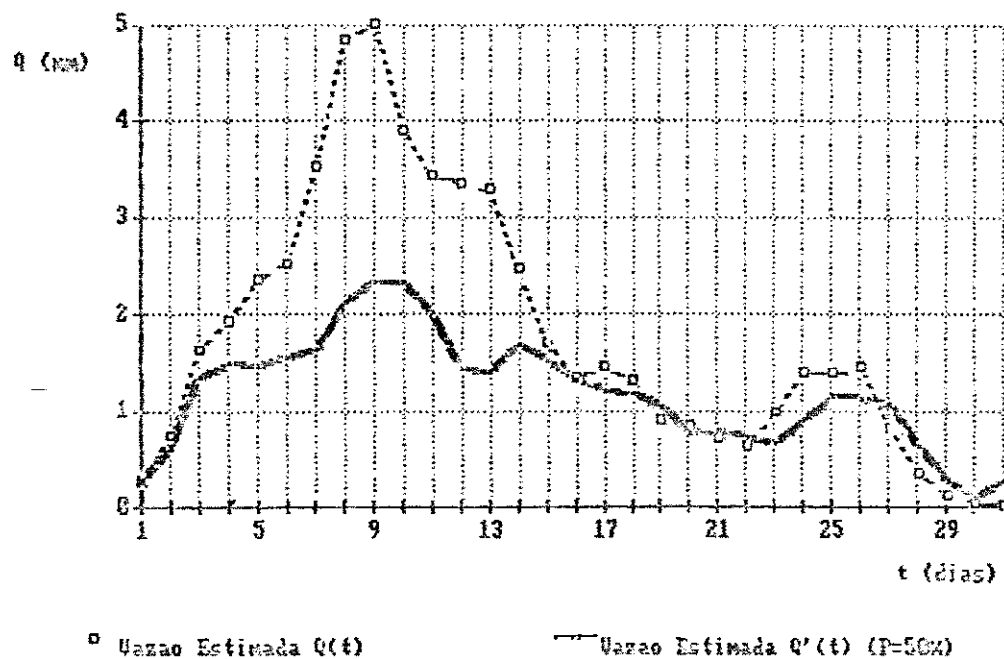


Fig 5.6.b - Estimativa da Vazão (Bacia do Salgado)

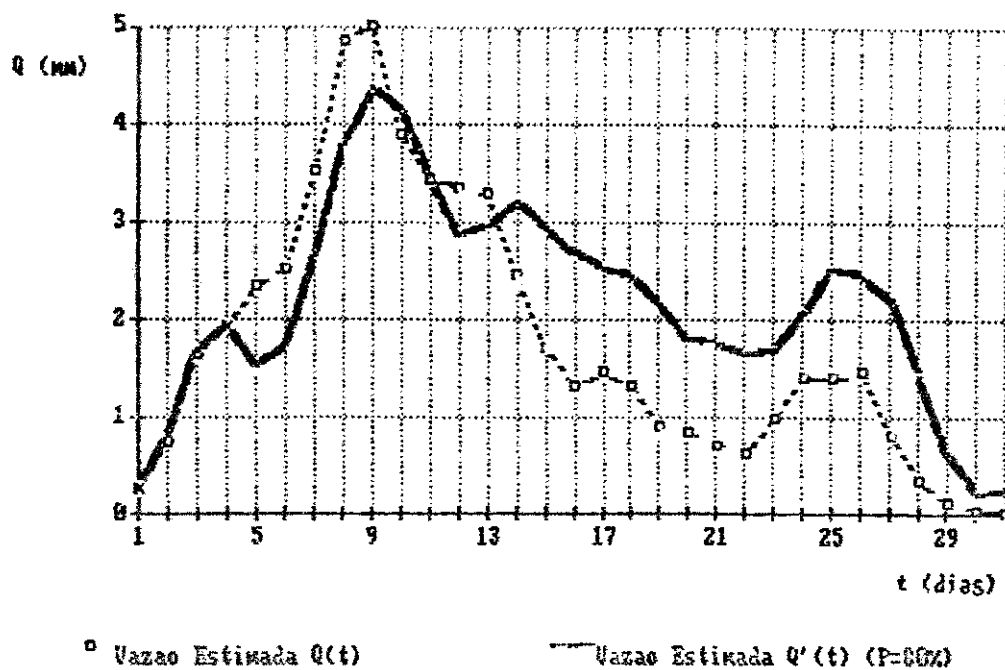


Fig 5.6.c - Estimativa da Vazão (Bacia do Salgado)

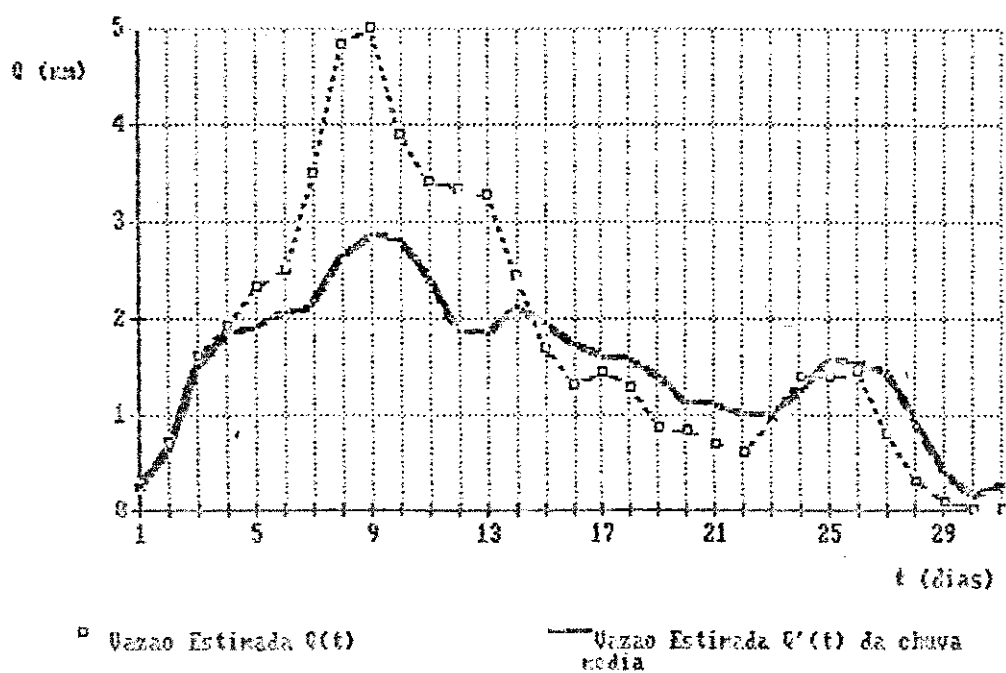


Fig 5.6.d - Estimativa da Vazão (Bacia do Salgado)

Tabela 5.33

Estimativa das Vazões (Bacia do Salgado)

Data de início: 6 / Mar / 1968

c = 0,090

Tempo (dia)	Vazão Estimada (mm) utilizando				
	Precipitação Observada	Precipitação prevista pelo modelo			
		Probabilidade			Média
		20%	50%	80%	
1	0,0584	0,0584	0,0584	0,0584	0,0584
2	0,1524	0,1531	0,1739	0,2274	0,1896
3	0,5357	0,4180	0,4810	0,6198	0,5236
4	0,6046	0,3529	0,5722	0,9996	0,7027
5	0,9690	0,2569	0,5426	1,0702	0,6961
6	0,8864	0,3167	0,7156	1,3649	0,8962
7	0,9593	0,2654	0,6387	1,2376	0,8046
8	0,7167	0,2753	0,6305	1,1762	0,7794
9	0,3925	0,1971	0,4645	0,8726	0,5794
10	0,1604	0,0875	0,2106	0,3992	0,2644
11	0,0426	0,0313	0,0750	0,1408	0,0941
12	0,0073	0,0059	0,0155	0,0303	0,0200

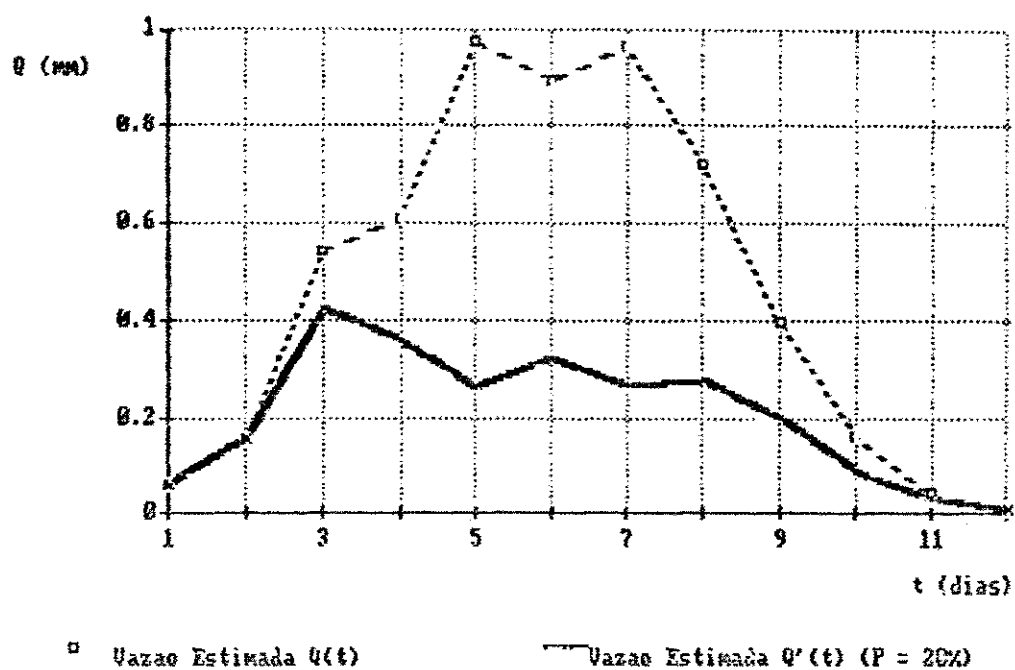


Fig 5.7.a - Estimativa da Vazão (Bacia do Salgado)

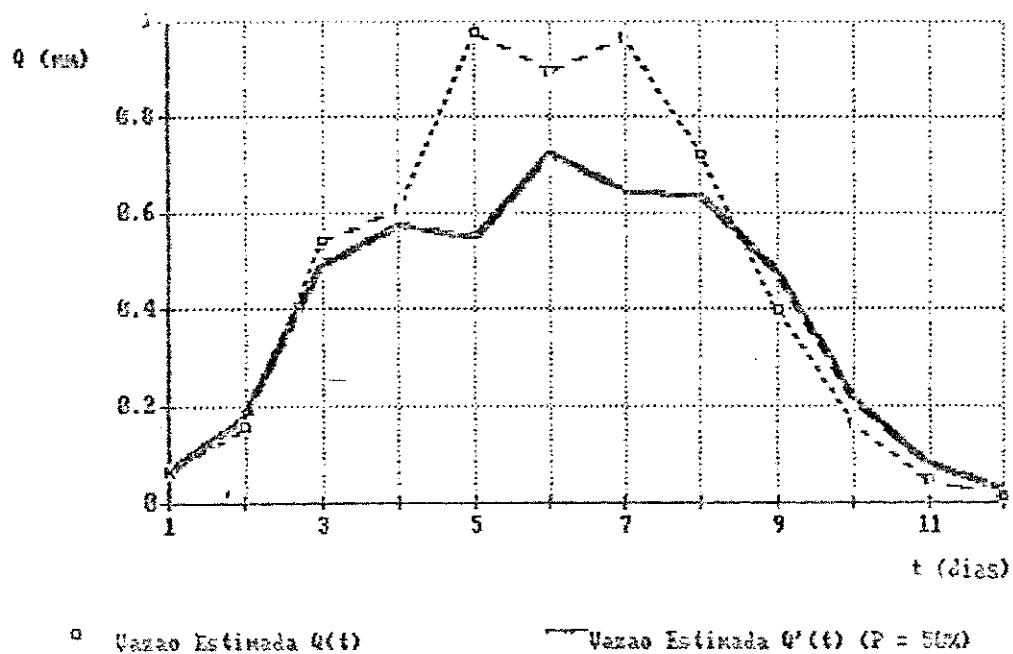


Fig 5.7.b - Estimativa da Vazão (Bacia do Salgado)

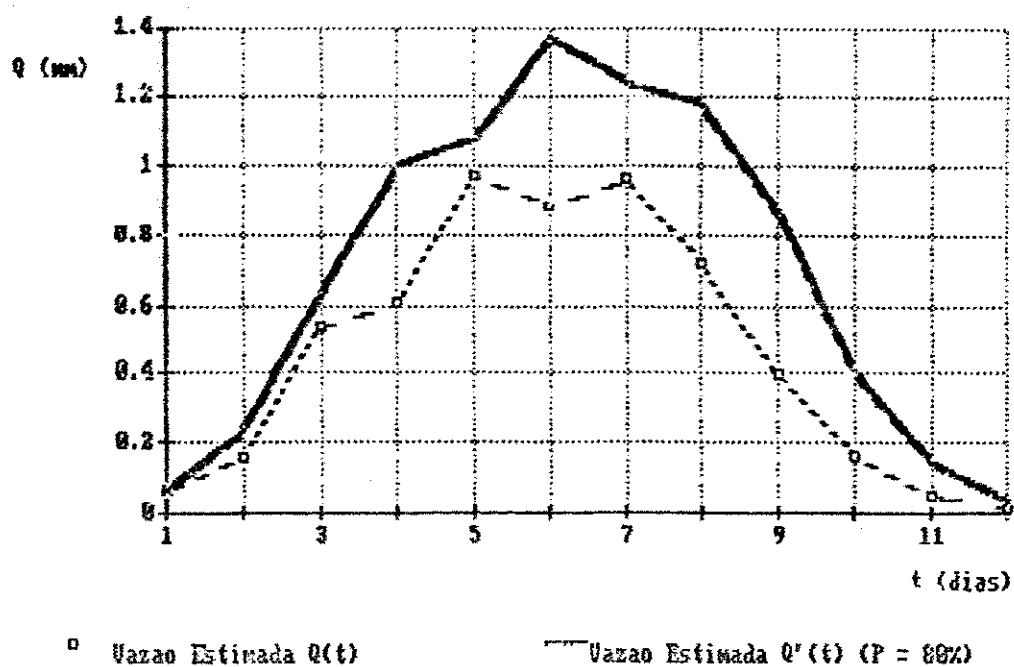


Fig 5.7.c - Estimativa da Vazão (Bacia do Salgado)

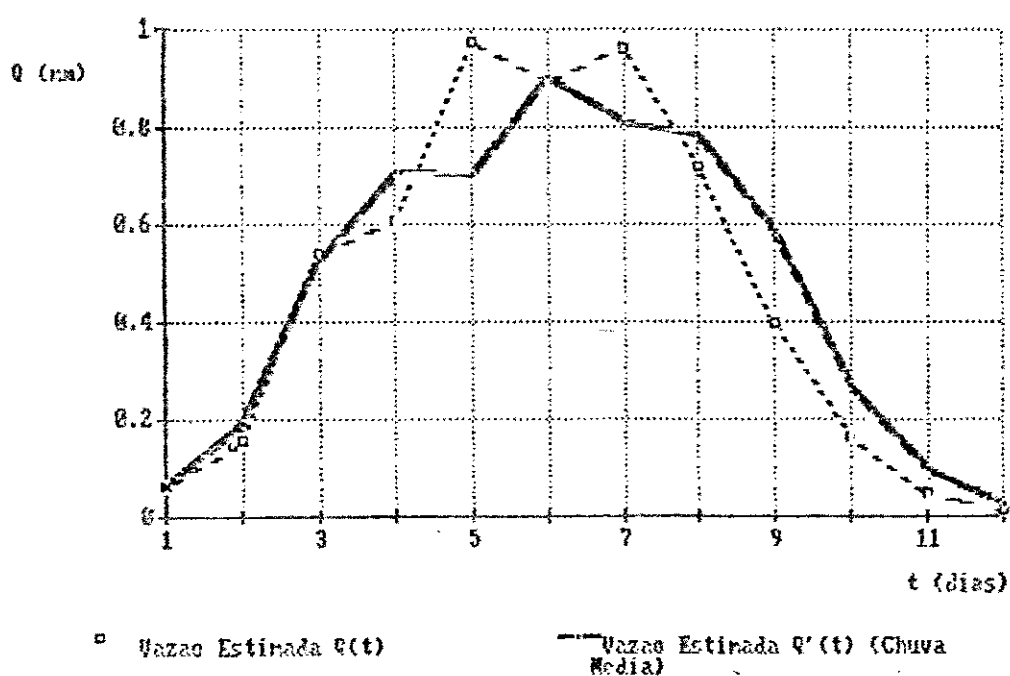


Fig 5.7.d - Estimativa da Vazão (Bacia do Salgado)

5.2.3 - A Bacia do Jaguaribe II

Para o desenvolvimento do modelo chuva-deflúvio desta bacia considerou-se os dois eventos apresentados na tabela 5.34.

Tabela 5.34
Eventos utilizados no cálculo do H.U.
(Bacia do Jaguaribe II)

Tempo (dia)	E V E N T O 1		E V E N T O 2	
	Precipitação (mm)	Vazão (mm)	Precipitação (mm)	Vazão (mm)
1	17,29	0,022	19,01	0,001
2	0,92	0,134	3,68	0,078
3	2,48	0,163	0,00	0,027
4	5,61	0,113	0,00	0,013
5	3,90	0,109	0,00	0,008
6	0,07	0,110	0,00	0,004
7	0,00	0,090	0,00	0,003
8	0,00	0,067	0,00	0,002
9	0,00	0,050	0,00	0,002
10	0,00	0,036	0,00	0,002
11	0,11	0,028	0,00	0,002
12	0,80	0,023	0,08	0,001

No cálculo do escoamento direto (tabela 5.35) considerou-se as vazões básicas $Q_{p1} = 0,021$ mm e $Q_{p2} = 0,001$ mm.

As funções de primeira e segunda ordem, $h(t)$ e $g(t)$, obtidas das equações (5.15) e (5.17) são mostradas na tabela 5.36 e no gráfico da figura 5.8.

Tabela 5.35

Escoamento direto utilizado no cálculo do H.U.

(Bacia do Jaguaribe II)

Tempo (dia)	E V E N T O 1			E V E N T O 2		
	Q (mm)	Qb1 (mm)	Y ₁ (mm)	Q (mm)	Qb2 (mm)	Y ₂ (mm)
1	0,022	0,021	0,001	0,001	0,001	0,000
2	0,134	0,021	0,113	0,078	0,001	0,077
3	0,163	0,021	0,142	0,027	0,001	0,026
4	0,113	0,021	0,092	0,013	0,001	0,012
5	0,109	0,021	0,088	0,008	0,001	0,007
6	0,110	0,021	0,089	0,004	0,001	0,003
7	0,090	0,021	0,069	0,003	0,001	0,002
8	0,067	0,021	0,046	0,002	0,001	0,001
9	0,050	0,021	0,029	0,002	0,001	0,001
10	0,036	0,021	0,015	0,002	0,001	0,001
11	0,028	0,021	0,007	0,002	0,001	0,001
12	0,023	0,021	0,002	0,001	0,001	0,000

Tabela 5.36

Ordenadas do H.U. Não Linear (Bacia do Jaguaribe II)

Tempo (dia)	h(t)	g(t; t)
1	0,000	0,000
2	0,687	-0,756
3	0,197	0,011
4	0,082	0,073
5	0,036	0,131
6	0,000	0,188
7	0,000	0,150
8	0,000	0,105
9	0,000	0,061
10	0,000	0,025
11	0,010	0,000
12	0,000	0,000

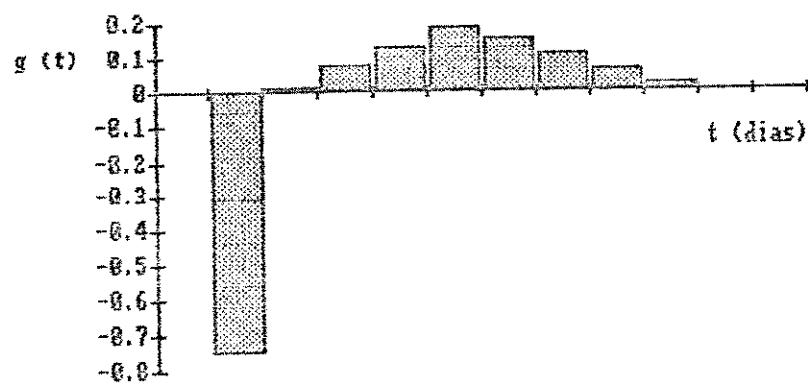
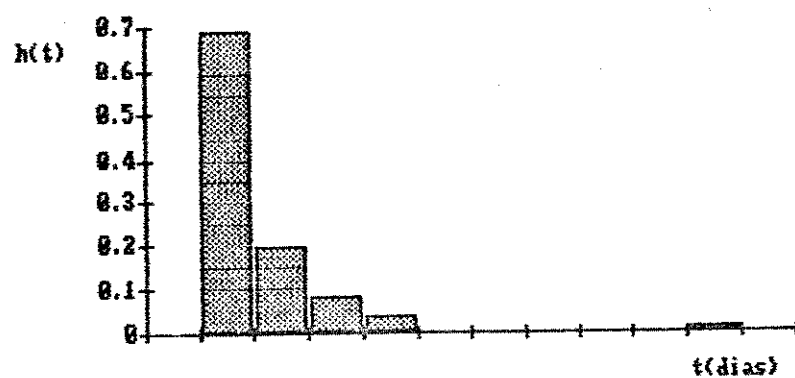


Fig 5.8 - Hidrograma Unitário Não Linear

Utilizando o mesmo procedimento exposto no item 5.3.2 obteve-se a estimativa das vazões geradas a partir de chuvas estimadas pelo modelo de Markov e de chuvas observadas, as quais foram apresentadas nas tabelas 5.37 a 5.39.

Os coeficientes de deflúvio calculados para esses eventos são apresentados no topo de cada tabela.

Tabela 5.37

Estimativa das Vazões (Bacia do Jaguaribe II)

Data de início: 17 / Jan / 1969

c = 0,003

Tempo (dia)	Vazão Estimada (mm) utilizando				
	Precipitação Observada	Precipitação prevista pelo modelo			
		Probabilidade			Média
		20%	50%	80%	
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0086	0,0086	0,0086	0,0086	0,0086
3	0,0941	0,0046	0,0091	0,0195	0,0128
4	0,0348	0,0083	0,0234	0,0508	0,0326
5	0,0310	0,0032	0,0125	0,0431	0,0181
6	0,0193	0,0031	0,0136	0,0399	0,0213
7	0,0433	0,0031	0,0112	0,0312	0,0174
8	0,0271	0,0065	0,0206	0,0485	0,0300
9	0,0269	0,0041	0,0157	0,0411	0,0244
10	0,0101	0,0014	0,0053	0,0145	0,0083
11	0,0040	0,0007	0,0024	0,0067	0,0037
12	0,0031	0,0002	0,0008	0,0029	0,0014
13	0,0005	0,0001	0,0005	0,0017	0,0008
14	0,0005	0,0000	0,0002	0,0011	0,0004
15	0,0002	0,0000	0,0002	0,0007	0,0004
16	0,0006	0,0000	0,0001	0,0004	0,0002
17	0,0002	0,0001	0,0003	0,0006	0,0004
18	0,0002	0,0000	0,0001	0,0004	0,0002
19	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

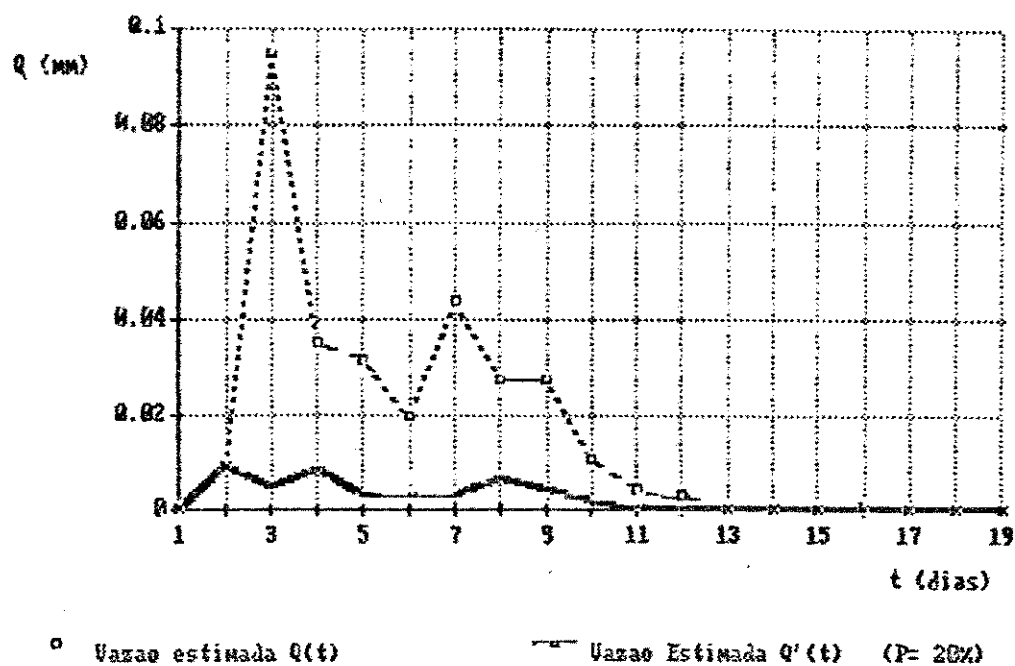


Fig 5.9.a - Estimativa da Vazão (B. do Jaguaribe II)

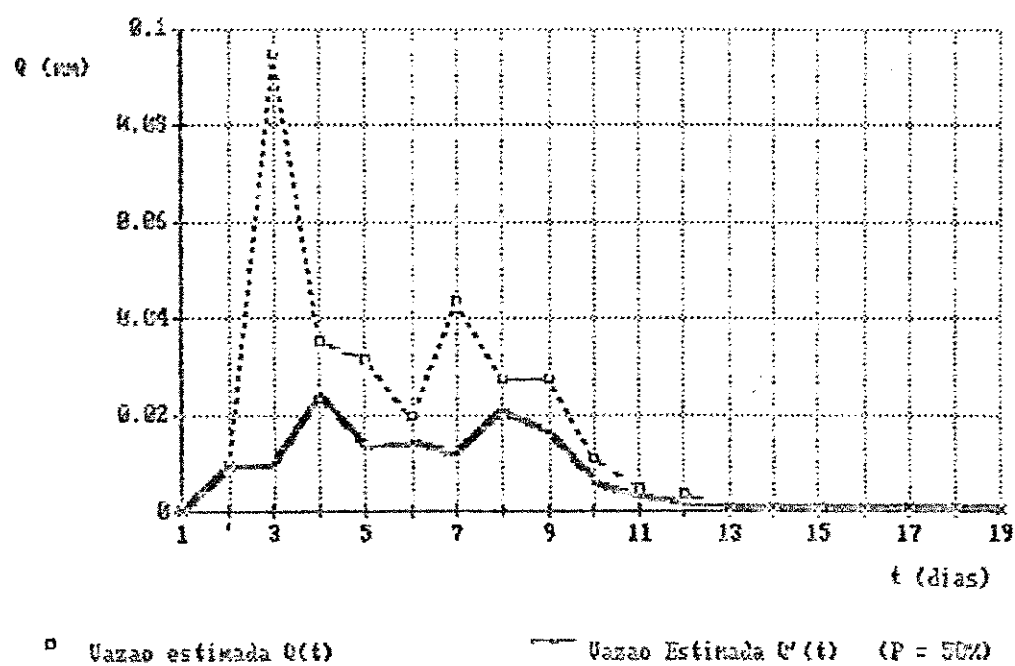


Fig 5.9.b - Estimativa da Vazão (B. do Jaguaribe II)

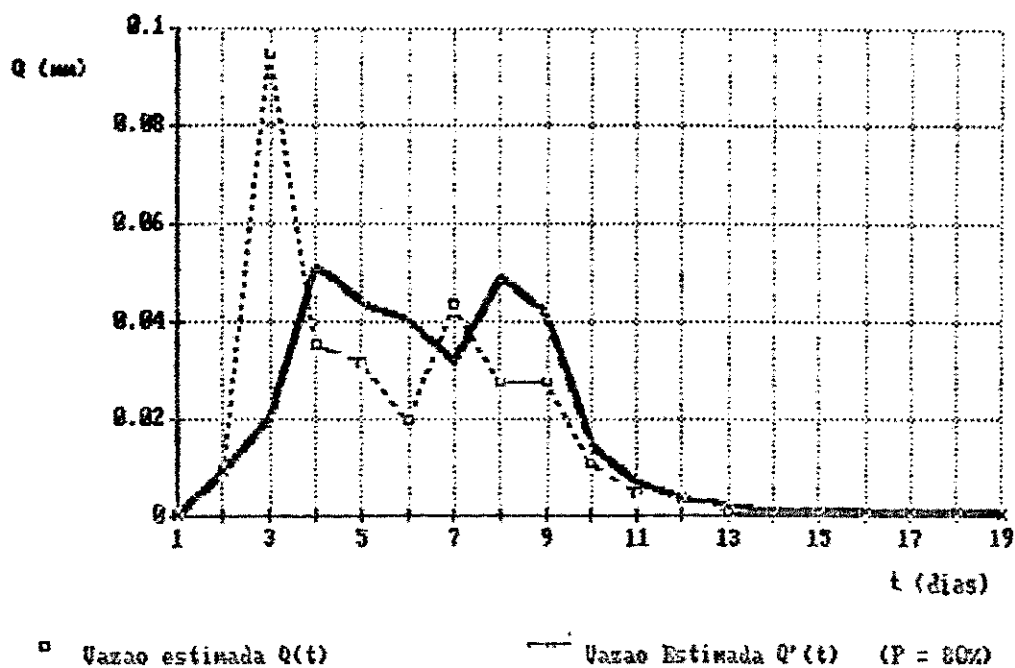


Fig 5.9.c - Estimativa da Vazão (B. do Jaguaribe II)

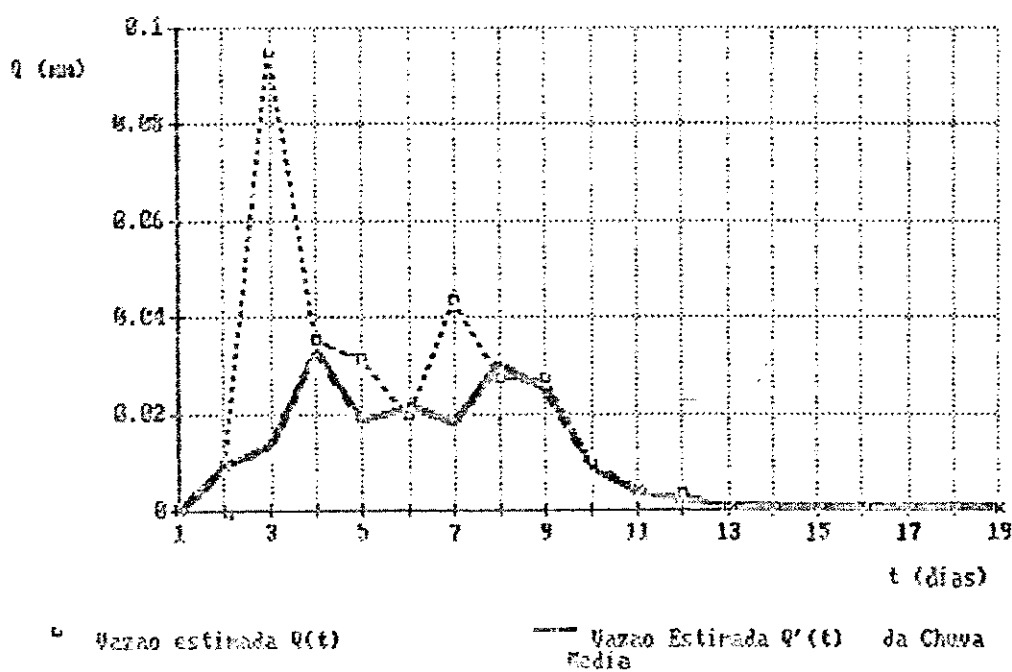


Fig 5.9.d - Estimativa da Vazão (B. do Jaguaribe II)

Tabela 5.38

Estimativa das Vazões (Bacia do Jaguaribe II)

Data de início: 1 / Mar / 1968

c = 0,0279

Tempo (dia)	Vazão Estimada (mm) utilizando				
	Precipitação Observada	Precipitação prevista pelo modelo			
		Probabilidade			Média
		20%	50%	80%	
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0294	0,0294	0,0294	0,0294	0,0294
3	0,0142	0,0137	0,0492	0,1198	0,0791
4	0,0184	0,0100	0,0607	0,1974	0,0921
5	0,1255	0,0086	0,0656	0,2500	0,0987
6	0,1181	0,0212	0,0977	0,2790	0,1461
7	0,1362	0,0253	0,0916	0,2733	0,1407
8	0,0880	0,0270	0,1090	0,2990	0,1665
9	0,3609	0,0654	0,1768	0,3004	0,2264
10	0,4073	0,0701	0,1985	0,4000	0,2681
11	0,4149	0,0736	0,2097	0,4291	0,2871
12	0,3396	0,0454	0,1738	0,4644	0,2685
13	0,3975	0,0363	0,1414	0,4368	0,2311
14	0,4358	0,0624	0,1925	0,4377	0,2776
15	0,4385	0,0703	0,2131	0,4715	0,3045
16	0,3258	0,0574	0,1934	0,4794	0,2920
17	0,4289	0,0780	0,2246	0,4275	0,3071
18	0,5291	0,0848	0,2455	0,4748	0,3345
19	0,3662	0,0312	0,1215	0,3853	0,1968
20	0,3141	0,0152	0,0737	0,2871	0,1305
21	0,2577	0,0076	0,0517	0,2427	0,0999
22	0,1839	0,0038	0,0366	0,1929	0,0747
23	0,1165	0,0032	0,0265	0,1341	0,0528
24	0,0608	0,0022	0,0168	0,0817	0,0326
25	0,0261	0,0012	0,0088	0,0414	0,0168
26	0,0091	0,0011	0,0049	0,0174	0,0082
27	0,0025	0,0009	0,0029	0,0066	0,0041

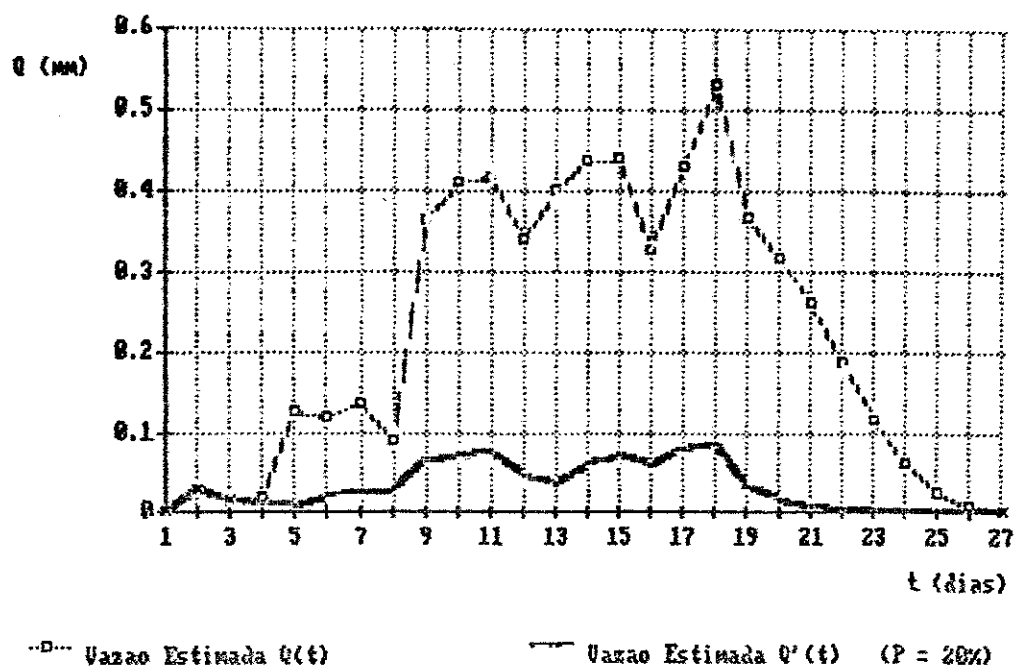


Fig 5.10.a- Estimativa da Vazão (B. do Jaguaribe II)

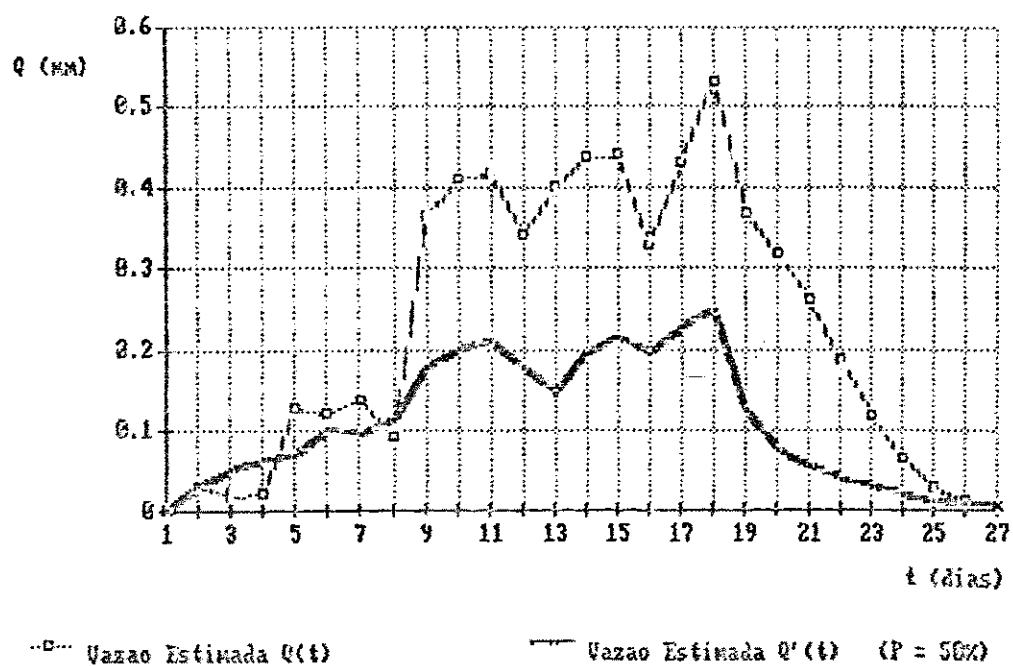


Fig 5.10.b- Estimativa da Vazão (B. do Jaguaribe II)

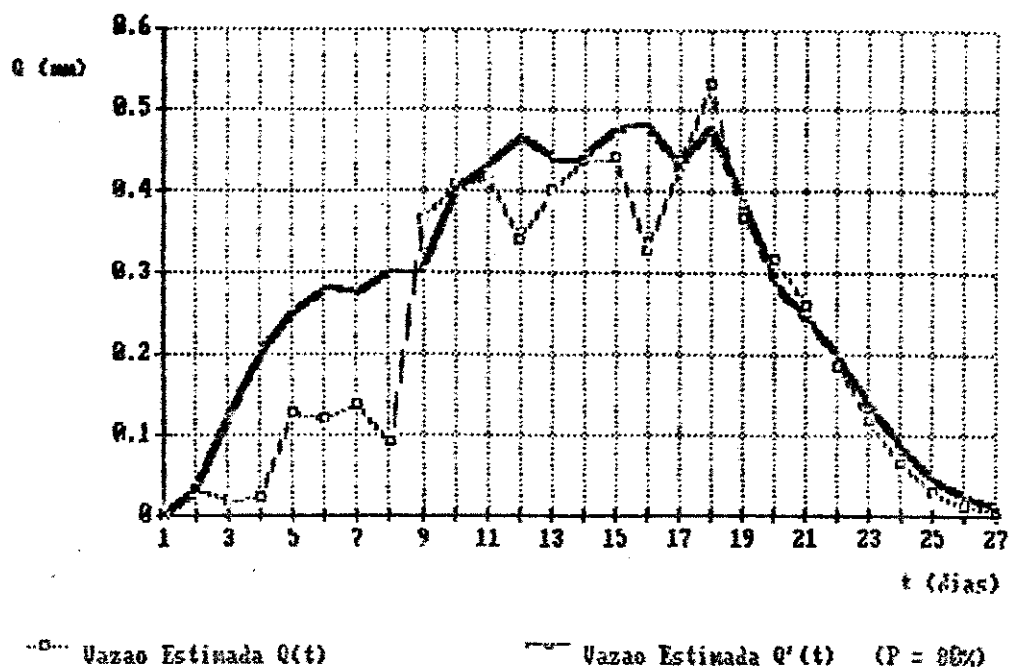


Fig 5.10.c- Estimativa da Vazão (B. do Jaguaribe II)

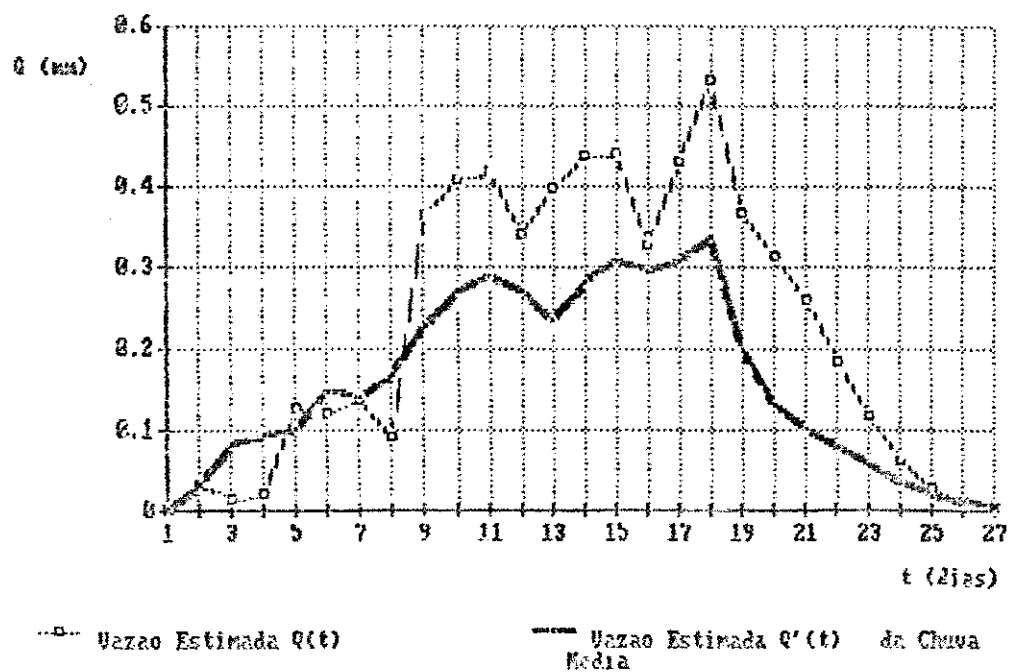


Fig 5.10.d- Estimativa da Vazão (B. do Jaguaribe II)

Tabela 5.39

Estimativa das Vazões (Bacia do Jaguaribe II)

Data de início: 1 / Mar / 1970

c = 0,0338

Tempo (dia)	Vazão Estimada (mm) utilizando				
	Precipitação Observada	Precipitação prevista pelo modelo			
		Probabilidade			Média
		20%	50%	80%	
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,1022	0,1022	0,1022	0,1022	0,1022
3	0,1534	0,0651	0,1247	0,1885	0,1612
4	0,0627	0,0541	0,1357	0,2443	0,1914
5	0,5364	0,0856	0,1954	0,2450	0,2406
6	0,7931	0,0944	0,2302	0,3359	0,3033
7	0,9770	0,0482	0,1644	0,4006	0,2748
8	1,4200	0,0840	0,2231	0,3838	0,3158
9	1,2056	0,0744	0,2297	0,5247	0,3684
10	0,9785	0,0557	0,2021	0,5266	0,3471
11	0,6619	0,0519	0,1909	0,5041	0,3297
12	0,3491	0,0193	0,0946	0,3374	0,1924
13	0,1597	0,0092	0,0557	0,2295	0,1929
14	0,0832	0,0052	0,0354	0,1591	0,0815
15	0,0400	0,0028	0,0216	0,1054	0,0516
16	0,0222	0,0012	0,0119	0,0621	0,0293
17	0,0098	0,0014	0,0081	0,0353	0,0177
18	0,0041	0,0008	0,0041	0,0166	0,0085
19	0,0030	0,0005	0,0021	0,0072	0,0040
20	0,0007	0,0004	0,0015	0,0037	0,0025
21	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

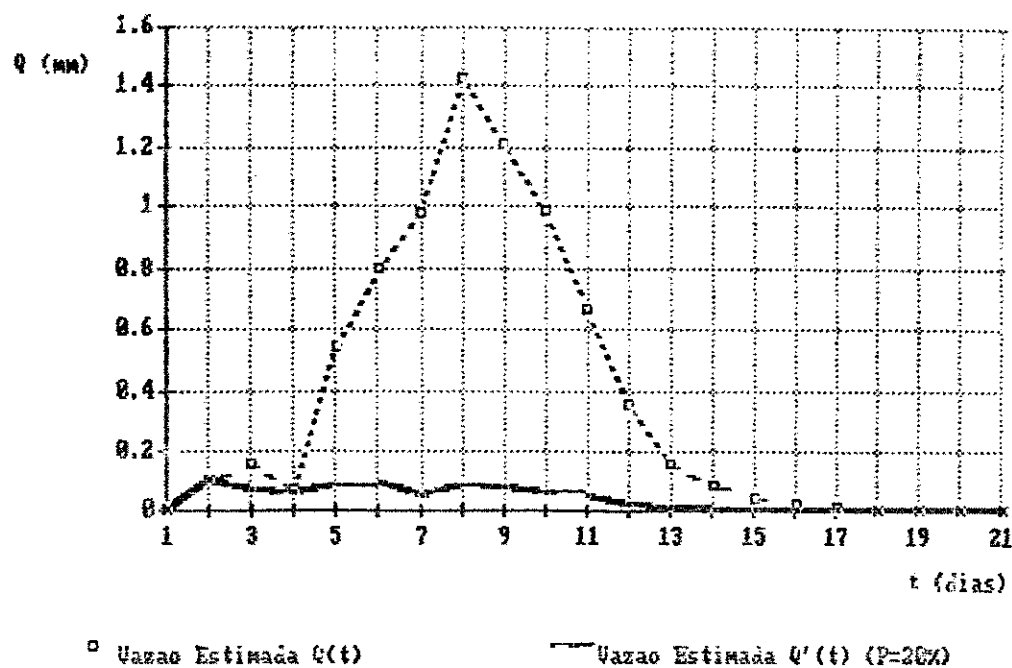


Fig 5.11.a- Estimativa da Vazão (B. do Jaguaribe II)

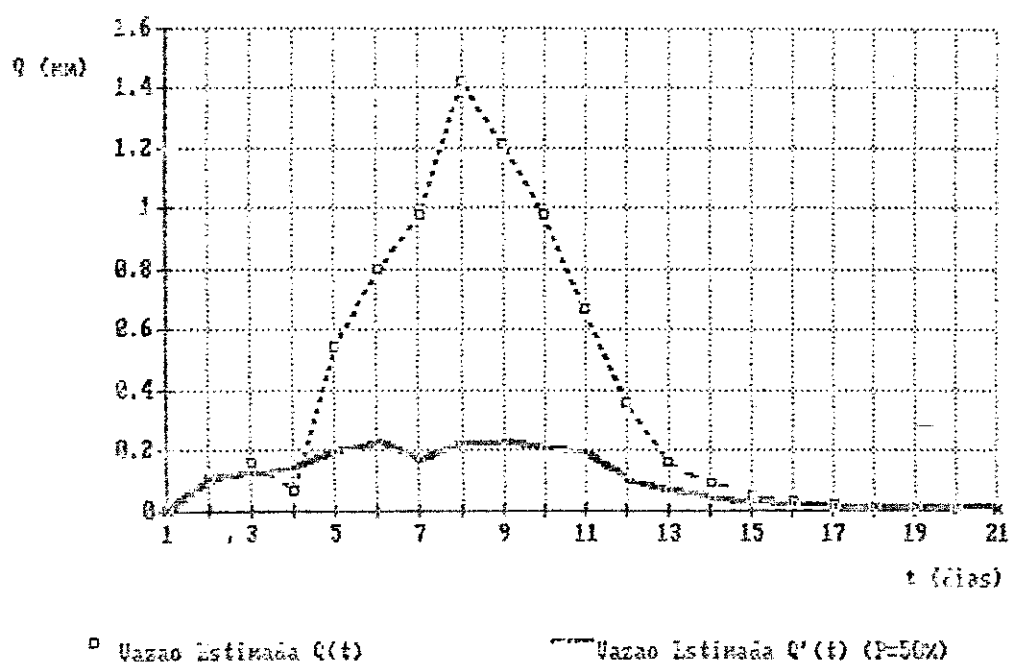


Fig 5.11.b- Estimativa da Vazão (B. do Jaguaribe II)

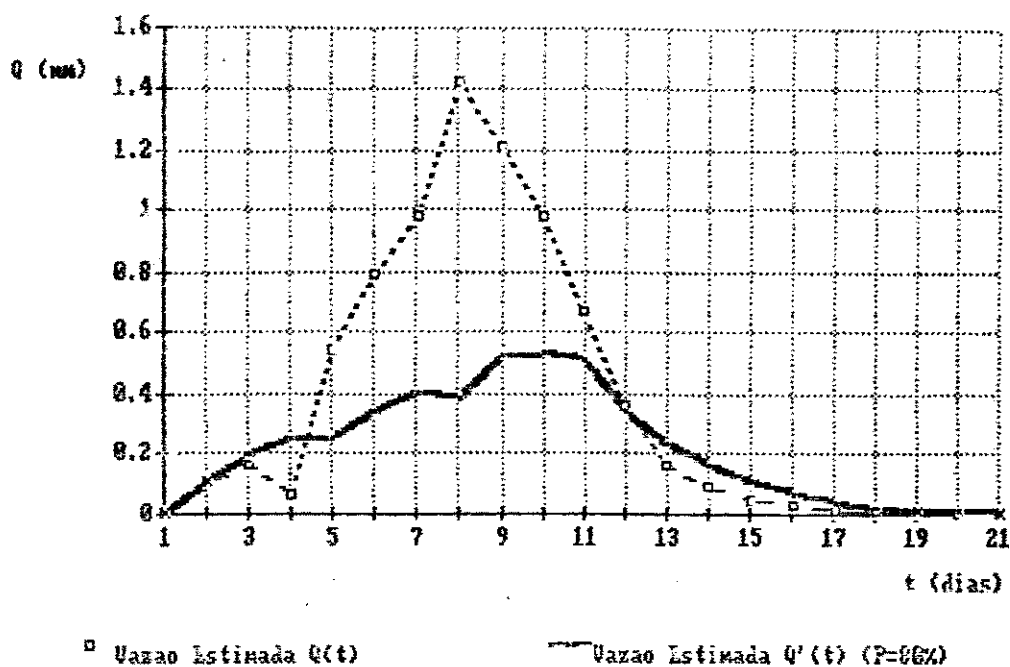


Fig 5.11.c- Estimativa da Vazão (B. do Jaguaribe II)

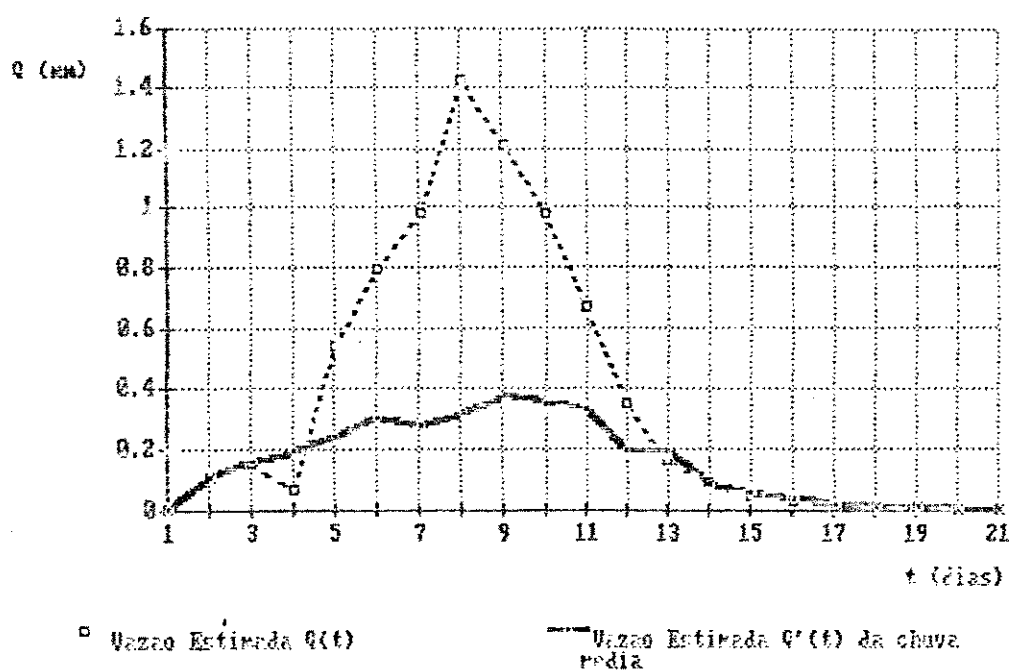


Fig 5.11.d- Estimativa da Vazão (B. do Jaguaribe II)

5.3 - Considerações Finais

Na seção 5.2 procurou-se mostrar a aplicação da precipitação prevista pelo modelo estocástico de Markov na estimativa do escoamento superficial em uma bacia. Através dos modelos chuva-deflúvio desenvolvidos para a bacia do Salgado e do Jaguaribe II (a montante de Corredores) pode-se apresentar alguns exemplos de estimativa da vazão utilizando-se a precipitação prevista pelo modelo de Markov e a precipitação observada. Comparando-se os hidrogramas obtidos apresentados em gráficos observa-se, da mesma forma que observara-se anteriormente na previsão da precipitação que, para níveis de probabilidade mais elevados, diga-se de 80% por exemplo, as estimativas fornecem uma maior margem de segurança. Esse resultado mostra que, o modelo de previsão da precipitação associado a um modelo chuva-deflúvio pode garantir com uma certa segurança, a ser especificada pelo nível de probabilidade assumido na previsão, o valor da vazão esperada a partir do dia seguinte em uma bacia. É necessário entretanto, que se disponha de um bom modelo chuva-deflúvio e que se determine o nível de probabilidade mais adequado, de acordo com a finalidade da previsão. Para a previsão de cheias, por exemplo, deve-se estabelecer um nível de probabilidade de não excedência elevado uma vez que a ocorrência de valores altos da precipitação é rara e, portanto, a probabilidade de serem superados (probabilidade complementar) é muito pequena.

6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nas discussões e aplicações realizadas anteriormente podem ser feitas algumas conclusões apresentadas a seguir:

1. Observa-se que, devido à inexistência de um método sistemático para a escolha dos intervalos de classe de uma matriz de transição torna-se necessário recorrer a um processo de tentativas para a construção de uma matriz cujas linhas possam ser bem representadas por uma distribuição de probabilidades. A seleção de uma função de distribuição de probabilidades fica entretanto limitada às características observadas na análise qualitativa das distribuições das frequências de transição correspondentes às linhas de uma matriz, o que implica na necessidade de uma análise desse tipo ;

2. Verifica-se que o modelo de Markov desenvolvido para a previsão da altura de chuva provável de ocorrer no dia seguinte em uma bacia, dada a condição de ser esse um dia chuvoso, apresenta resultados satisfatórios, podendo a metodologia apresentada ser utilizada para o desenvolvimento de modelos de previsão da precipitação diária em outras regiões. A distribuição Gamma com dois parâmetros se ajusta bem na representação das linhas das matrizes de transição de todas as sub-bacias da bacia do Jaguaribe, demonstrando assim a homogeneidade regional do modelo;

3. O modelo desenvolvido para a bacia do Jaguaribe não pode ser considerado muito bom para a previsão dos valores mais altos da precipitação. Isto se deve ao fato de que a ocorrência das precipitações elevadas é rara na bacia, e portanto fez-se necessário a definição de intervalos de classe de grande amplitude no processo de desenvolvimento do modelo;

4. O método do hidrograma unitário com componentes de segunda ordem parece bastante satisfatório para o desenvolvimento de uma relação chuva-deflúvio a nível diário;

5. As vazões geradas através do uso da Série de Volterra com os dois primeiros termos e a função de entrada na forma de impulso (Hidrograma Unitário Instantâneo com componentes de segunda ordem) mostram uma variação consistente com o nível de probabilidade de excedência da precipitação estimada;

6. As vazões previstas pelo uso do modelo com 80% de probabilidade de não excedência das chuvas foram em geral superiores às vazões geradas utilizando-se as precipitações observadas. As vazões geradas a partir das precipitações estimadas para uma probabilidade de não excedência de 20% foram em todos os casos apresentados inferiores às vazões geradas utilizando-se as chuvas ocorridas. Isso reforça a necessidade de usar-se um nível de probabilidade elevado para estimar as precipitações, quando a finalidade é a previsão de cheias.

Para o desenvolvimento de modelos de previsão da precipitação considerando outras bacias de estudo e utilizando-

se a metodologia aqui apresentada devem ser feitas algumas recomendações que conduzam a melhores resultados:

- aplicação nas bacias em que se verifique uma distribuição espacial e temporal das chuvas mais uniforme ;
- utilização de um método de cálculo das precipitações médias que considere a distribuição espacial dos postos na bacia nos casos em que a densidade dos postos seja baixa;
- desenvolvimento de um critério mais objetivo que permita a distribuição dos eventos em intervalos de classe discretos para ajuste das distribuições específicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENJAMIN, J. R. e CORNELL, C. A. (1970), Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers. Mc Graw Hill Book Company. U.S.A
- BONEH, A. e DISKIN, M. H. (1972), Floods and Droughts Proceedings of the Second Internacional Symposium in Hydrology, Fort Collins, Colorado, U.S.A.
- COSTA NETO, P. L. O. (1977), Estatística por Pedro Luis de Oliveira Costa Neto, São Paulo. E. Blucher.
- DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (1979), Inventário das Estações Pluviométricas.
- GAMBACH, K. (1980), Praktische und Theoretische Untersuchungen von Gebietsniederschlaegen einzelner Regenergebnisse im Einzugsgebiet der oberen Swist, Diplomarbeit, Meteorologisches Institut der Universität Bonn.
- GENOVEZ, A. M. e CHAUDRY, F. H. (1987), Anais, VII Simposio Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos, Vol. 2, pp 642-652, Salvador, 8-13 Nov..
- GUTKNECHT, D. (1977), Verbesserung der Abflussvorhersage durch Verwendung Prognostizierter Regenwerte, IX Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Budapest, 5-10 Setembro.
- IBGE - , Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1977), Geografia do Brasil. Região Nordeste. Volume 2. Rio de Janeiro.

- JAMIESON, D. G. (1972), River Dee Research Program, 3. A Short-Term Control Strategy for Multipurposes Reservoirs Systems, Water Resources Research, Vol.8, no 4, Aug., pp. 911-920.
- JOHNSON, E. R. e BRAS, R. L. (1980), Multivariate Short-Term Rainfall Prediction, Water Resources Research, Vol. 16, no1, Feb., pp. 173-185.
- LATTERMANN, A. e KOCH, U. Flood Forecast Improvement by Stochastic Estimation of the Rainfall Depth. Intern. Symposium on Real-Time Operation of Hydrosystems, Waterloo (Canada), 1981.
- SRINIVASAN, V. S. e GOMES, H. P. (1988), Proceedings, International Conference on Computer Methods and Water Resources, Hydrology of Arid and Semi-Arid Areas, Rabat, Marrocos, 14-19 Mar..
- SUDENE -, Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste. (1967), Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe. Monografia Hidrológica. G.V.J..
- WISNER, R. J. (1973), Elements of Probability. Scott, Foresmann and Company, Glenview, Illinois, U.S.A.
- YEVJEVICH, V. (1972), Probability and Statistics in Hydrology, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado U.S.A.
- WEISS, N. A. e YOSELOFF, M. L. (1978), Matematica Finita [Finite Mathematics] Trad. por Roberto Angelo de Barros Padilha , Guanabara Dois, Rio de Janeiro.

APÊNDICE I

(FIGURAS E GRAFICOS)

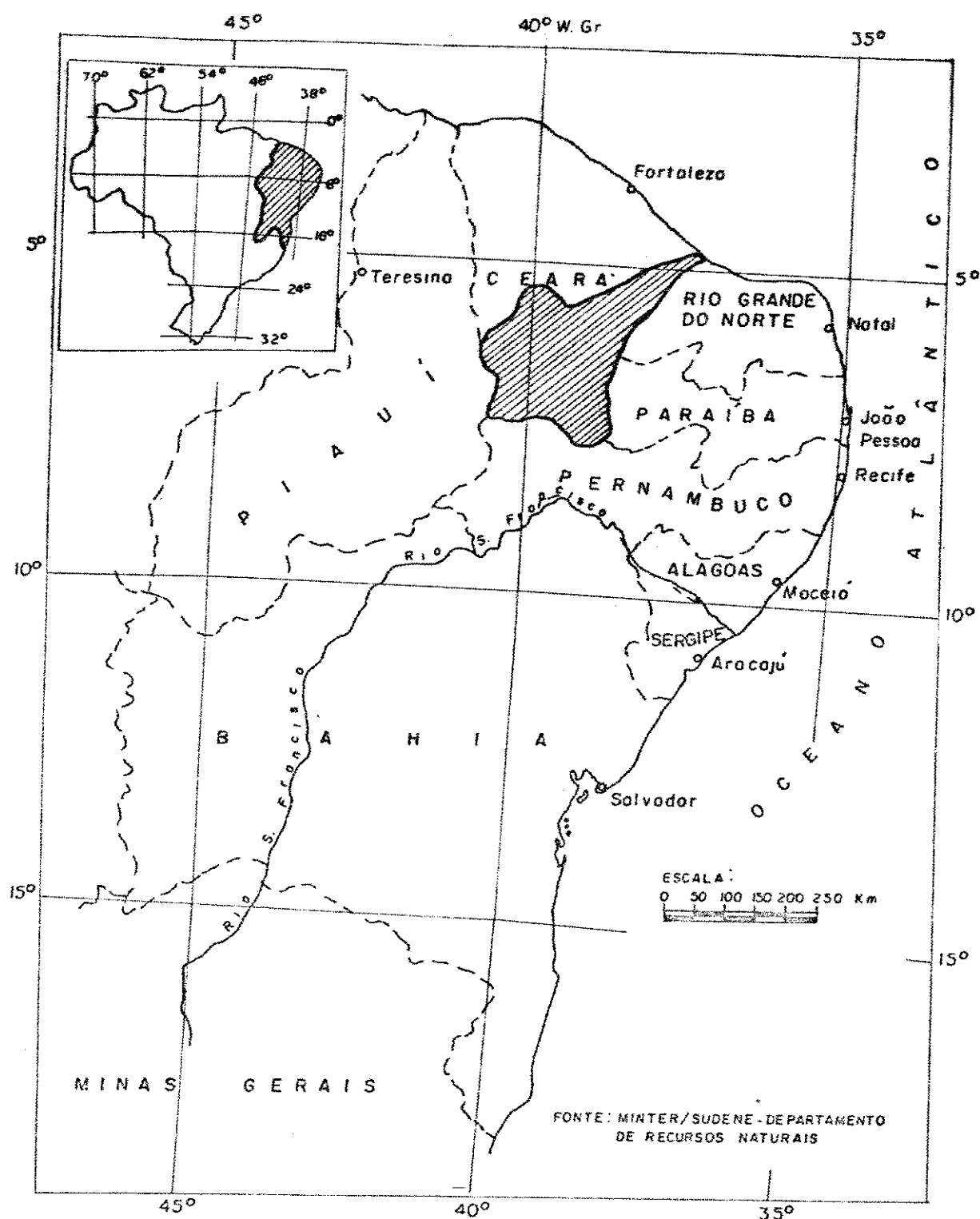


FIG. A.1 — Localização da bacia do rio Jaguaribe

L = 645 Km
DECLIVIDADE = 0.78 m / Km
FONTE : SUDENE

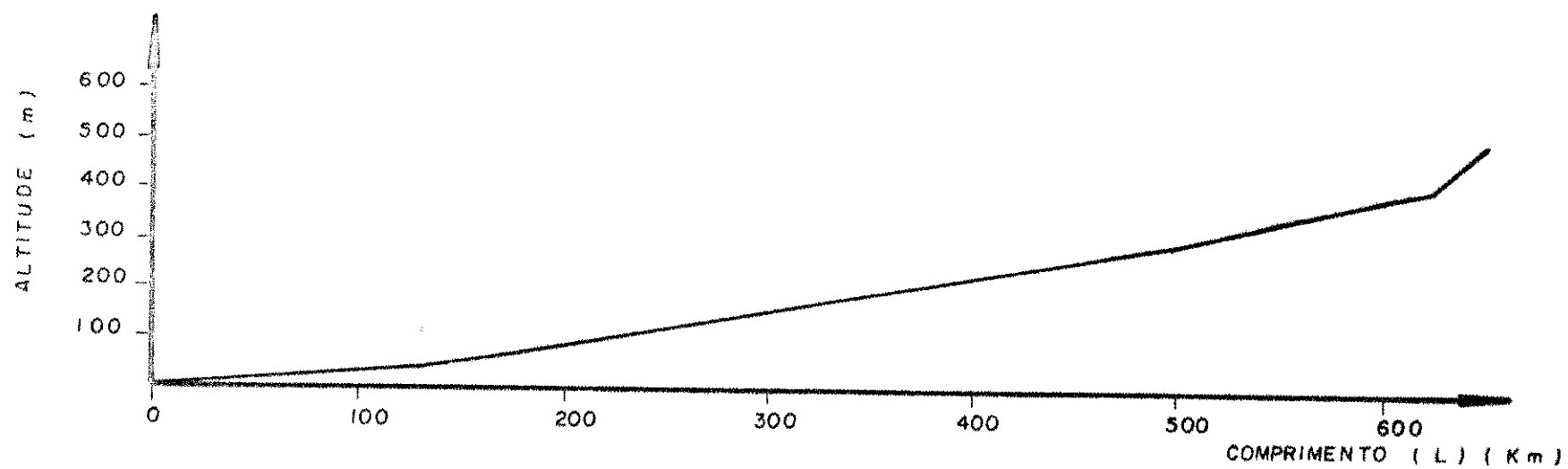
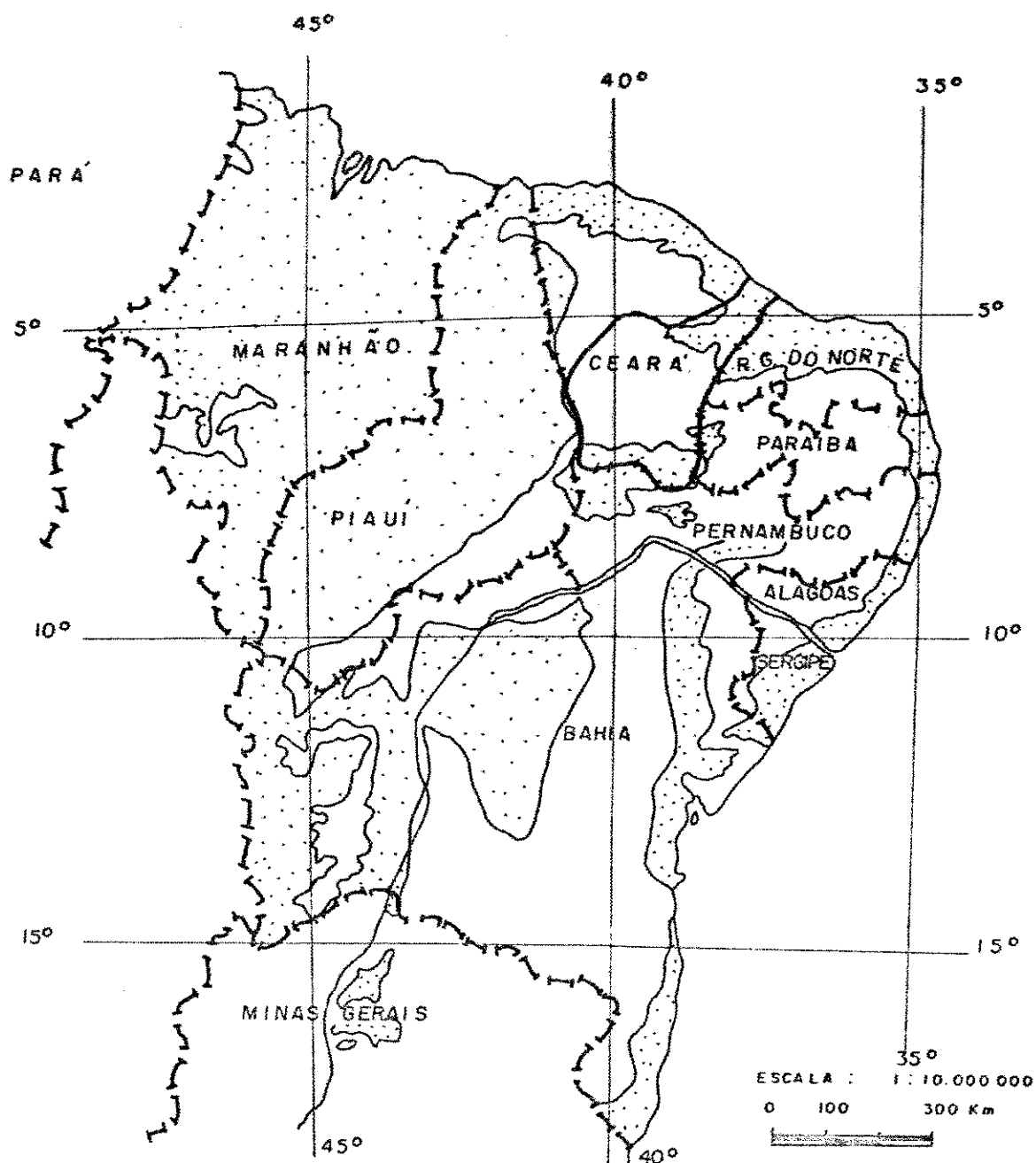


FIG. A .2 — Perfil longitudinal do Rio Jaguaribe



FONTE: MINTER / SUDENE - DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS

CONVENÇÕES



ÁREAS SEDIMENTARES



ÁREAS CRISTALINAS

FIG.A.3 — Área ocupada por terrenos cristalinos e sedimentares

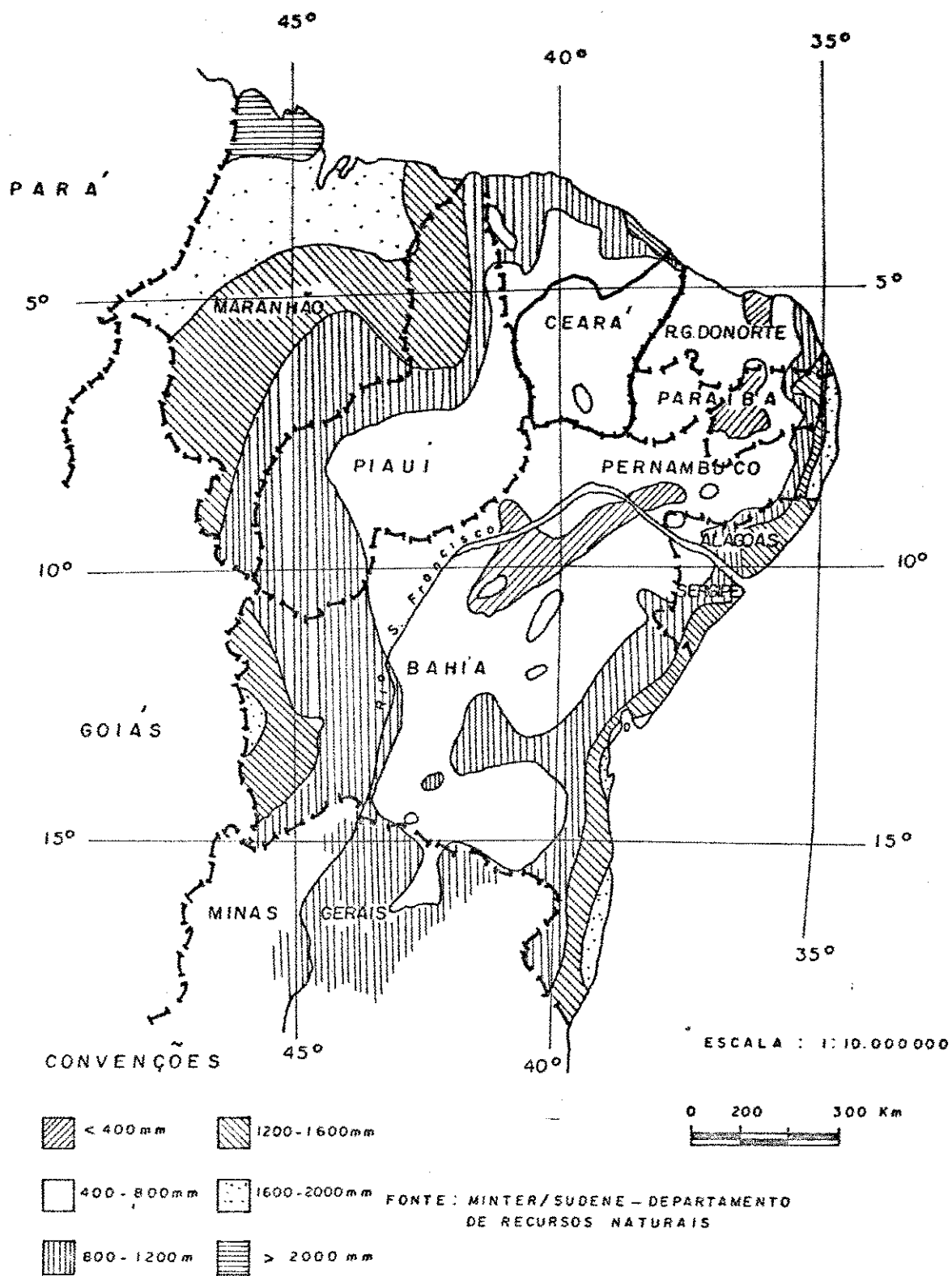


FIG.A.4 — Isoietas médias anuais — "dados in natura"

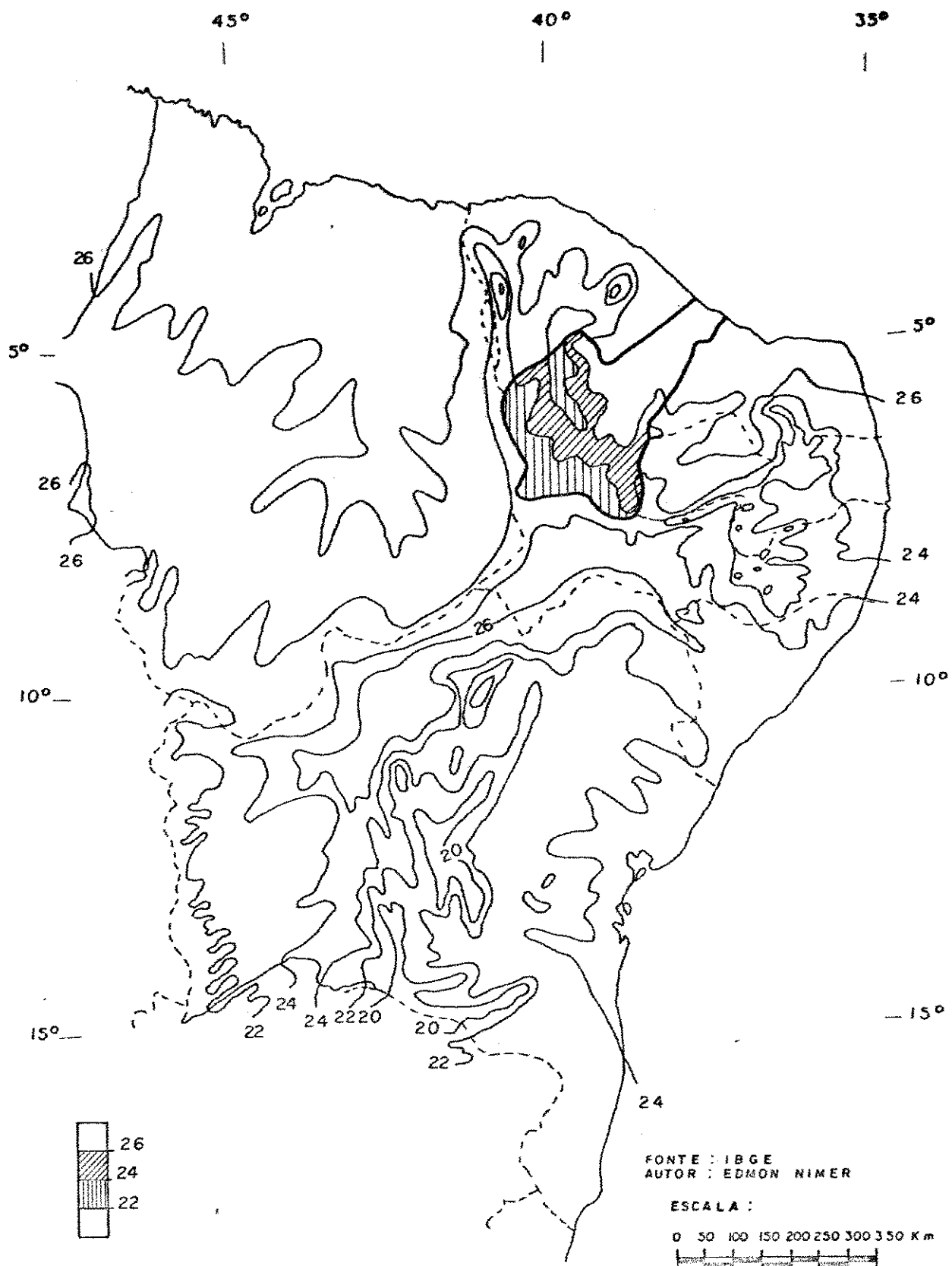


FIG.A.5 — Temperatura média anual (°C)

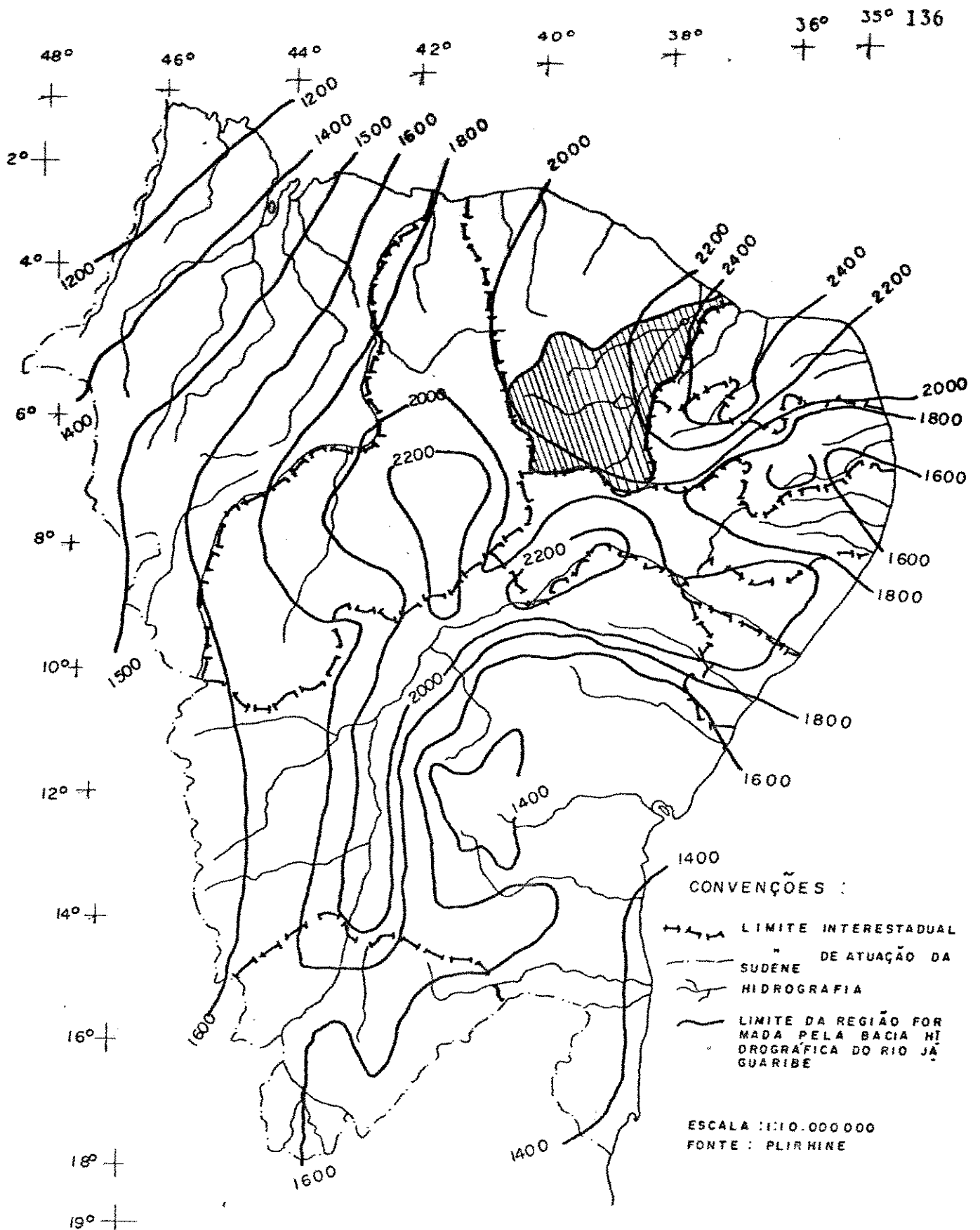


FIG.A.6 — Evaporação potencial em "mm"

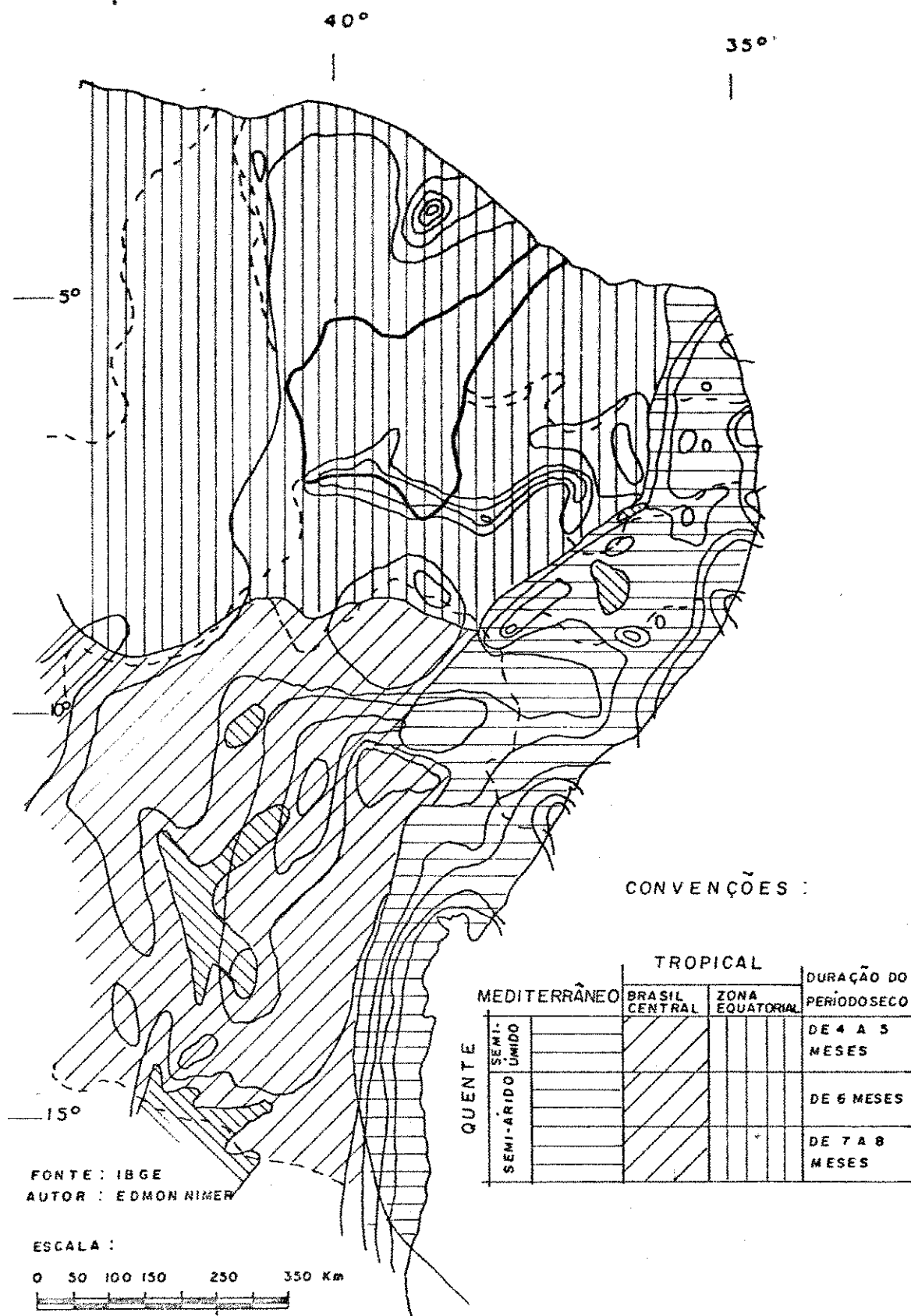


FIG. A.7 — Diferenciações Climáticas

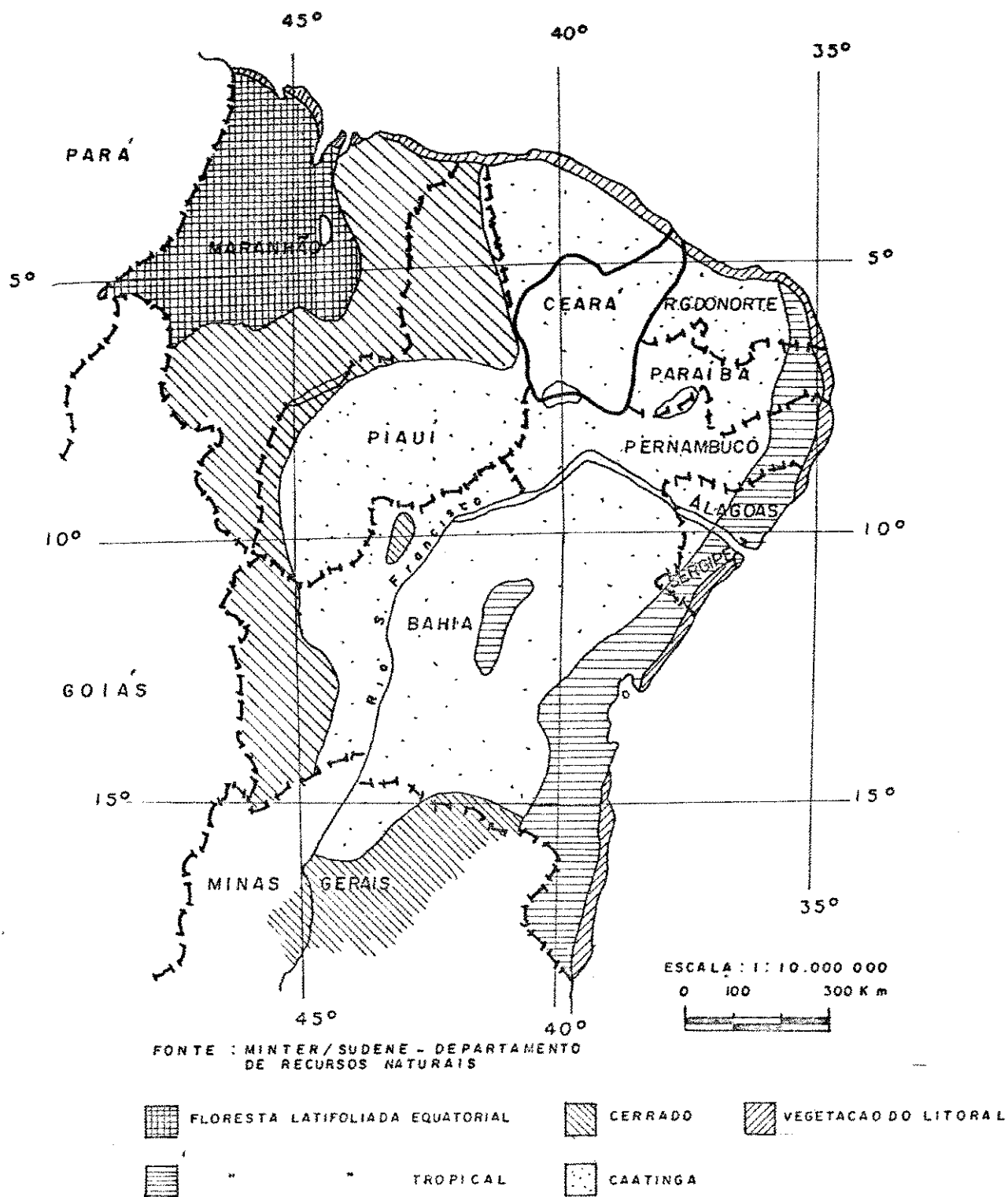


FIG.A.8 — Vegetação

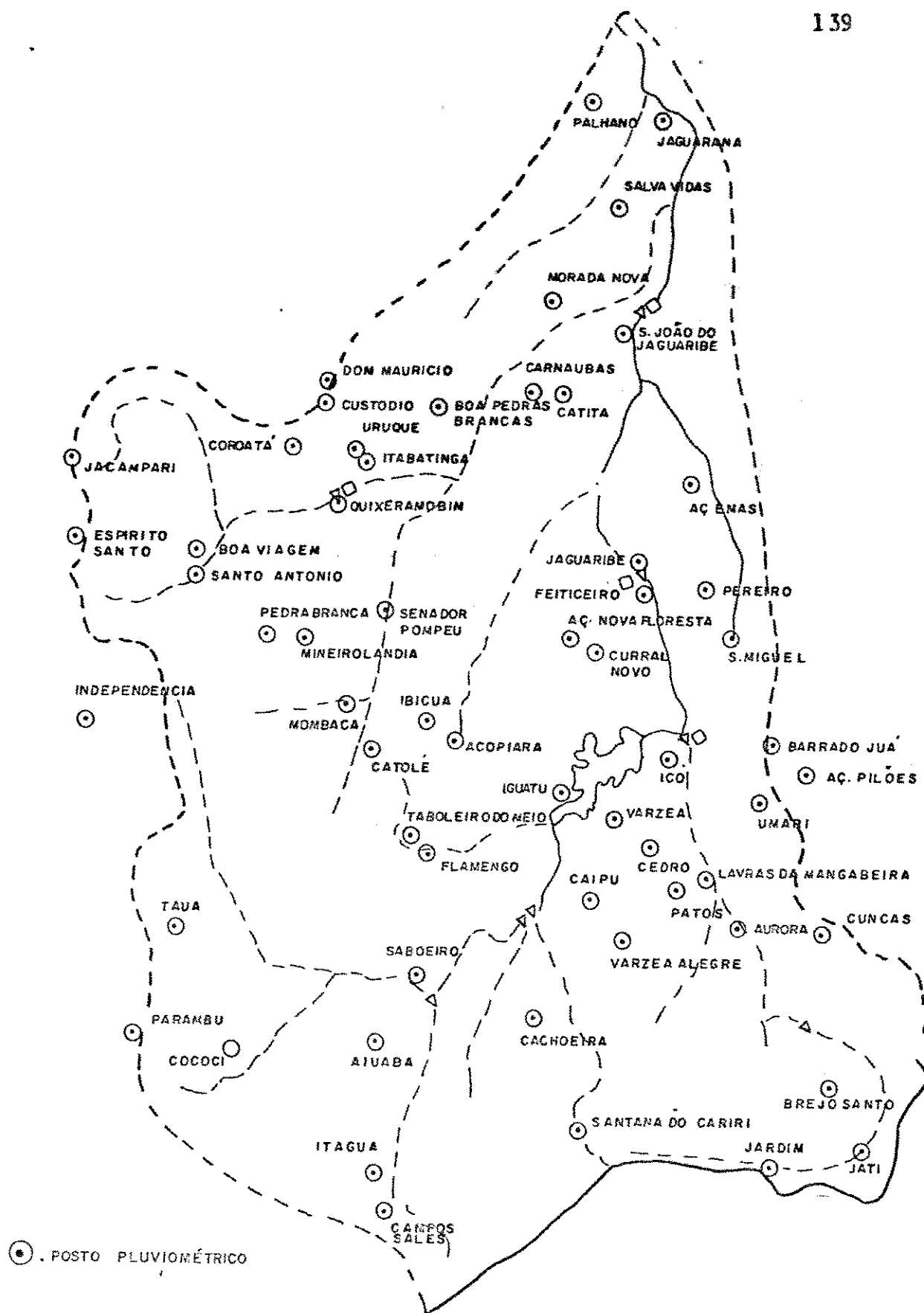


FIG. A. 9 — Bacia do Rio Jaguaribe (Serie 1946-1970).

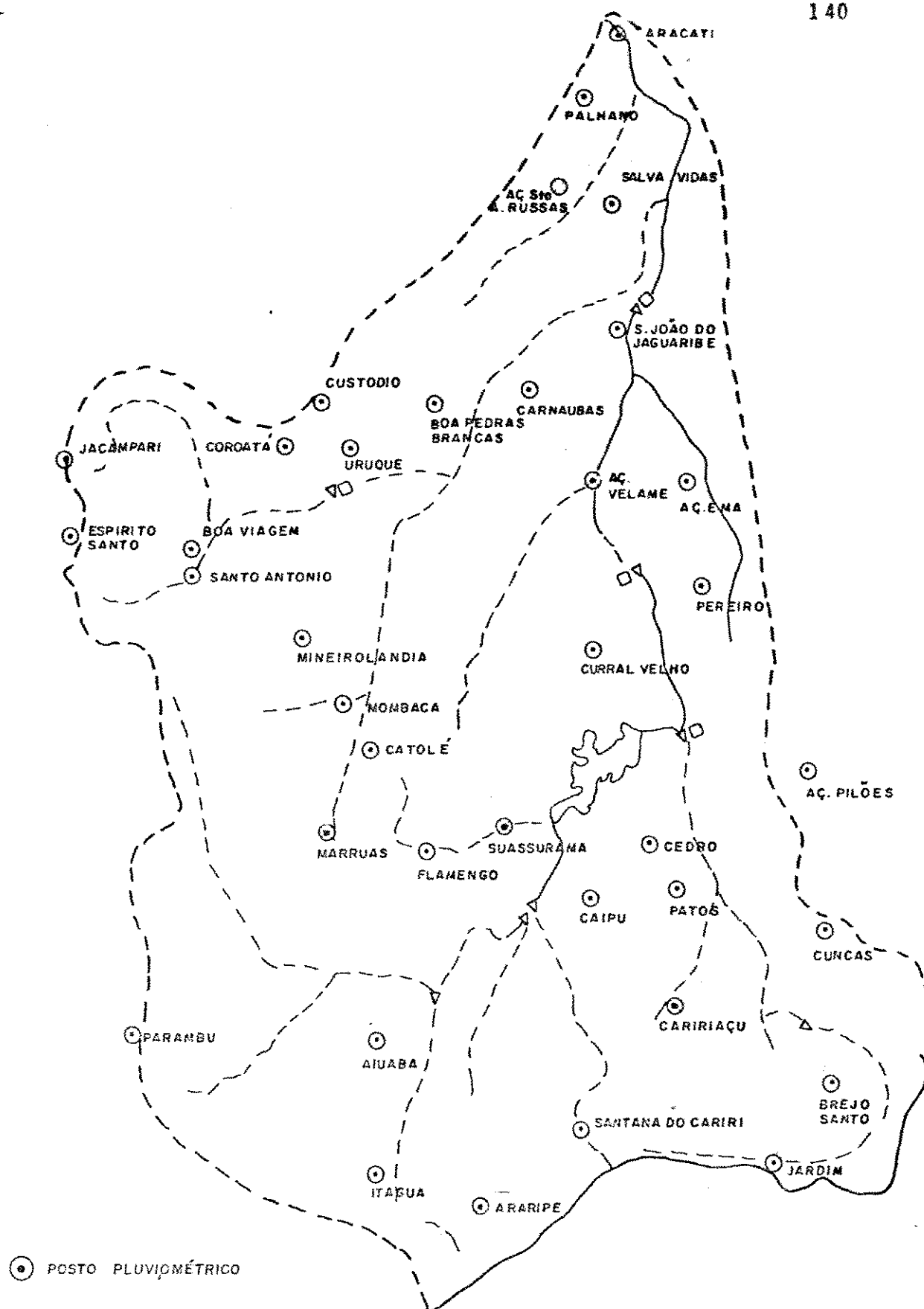


FIG. A.10.— Bacia do Rio Jaguaribe (Série 1948-1983).

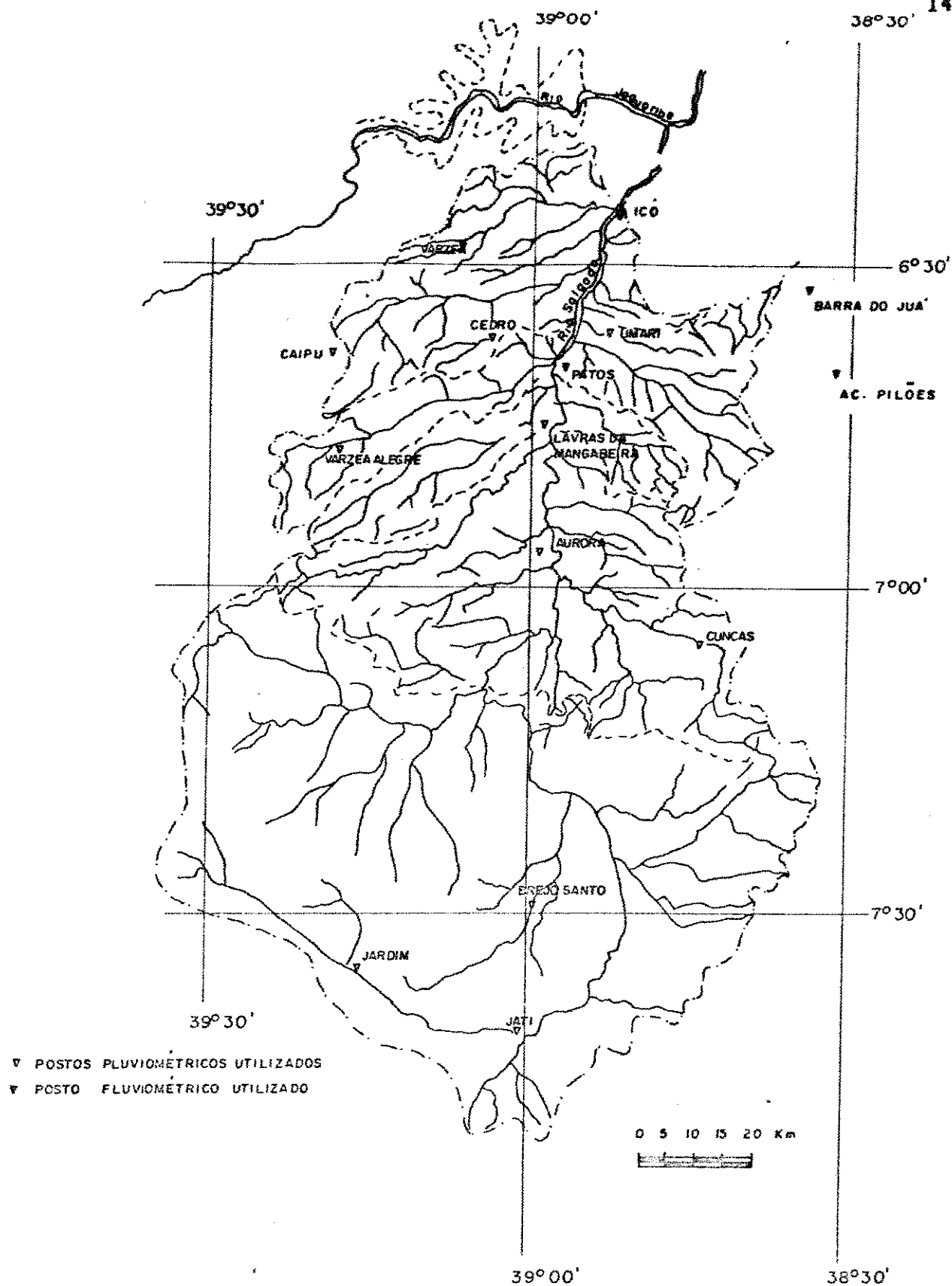


FIG.A.II.— Bacia do Selgado (a montante do Ico)

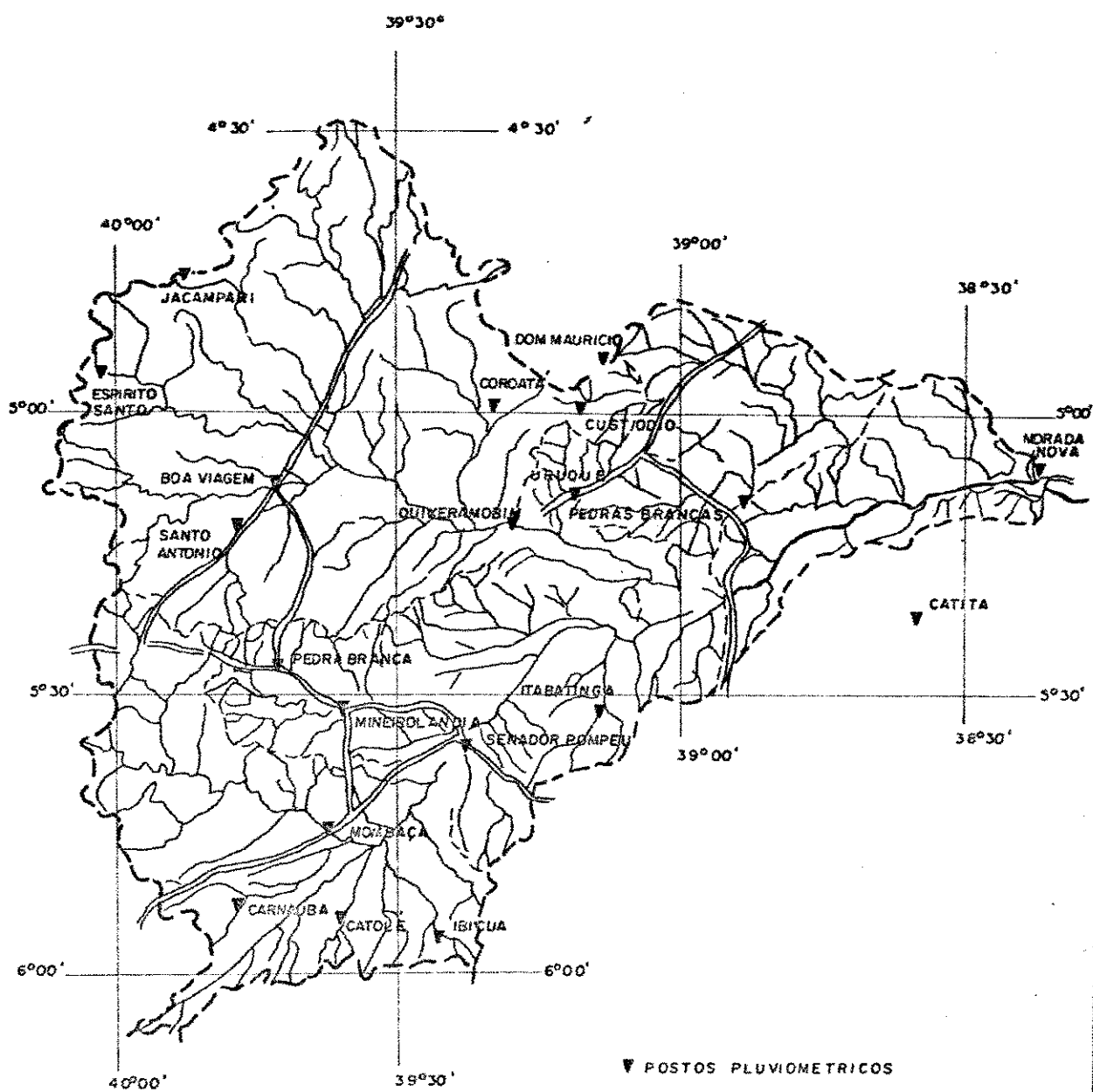


FIG.A.12.— Bacia do Rio Banabuiu

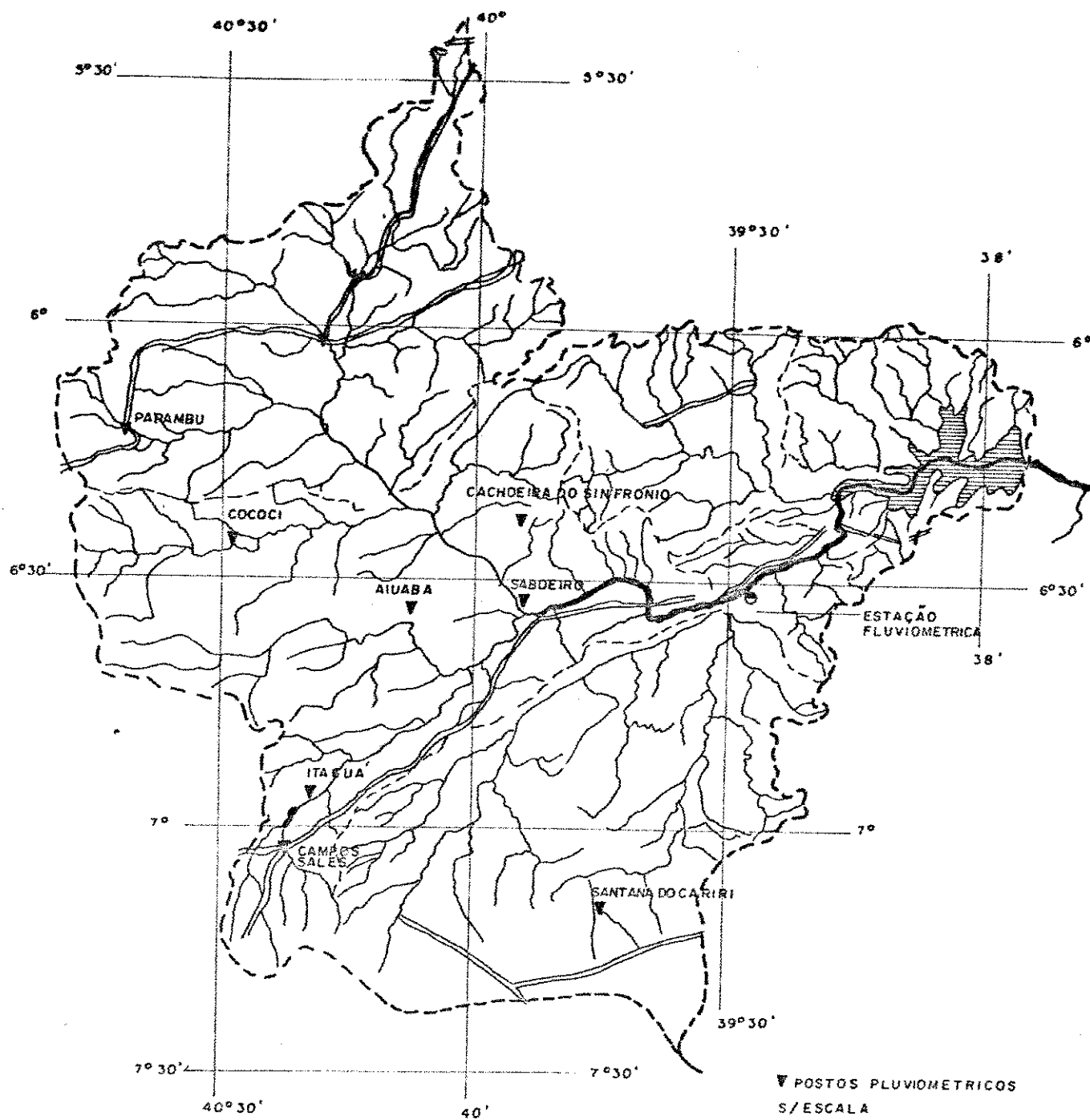


FIG. A.13.— Bocío do Rio Jaguaribe (o montante do Corredores)

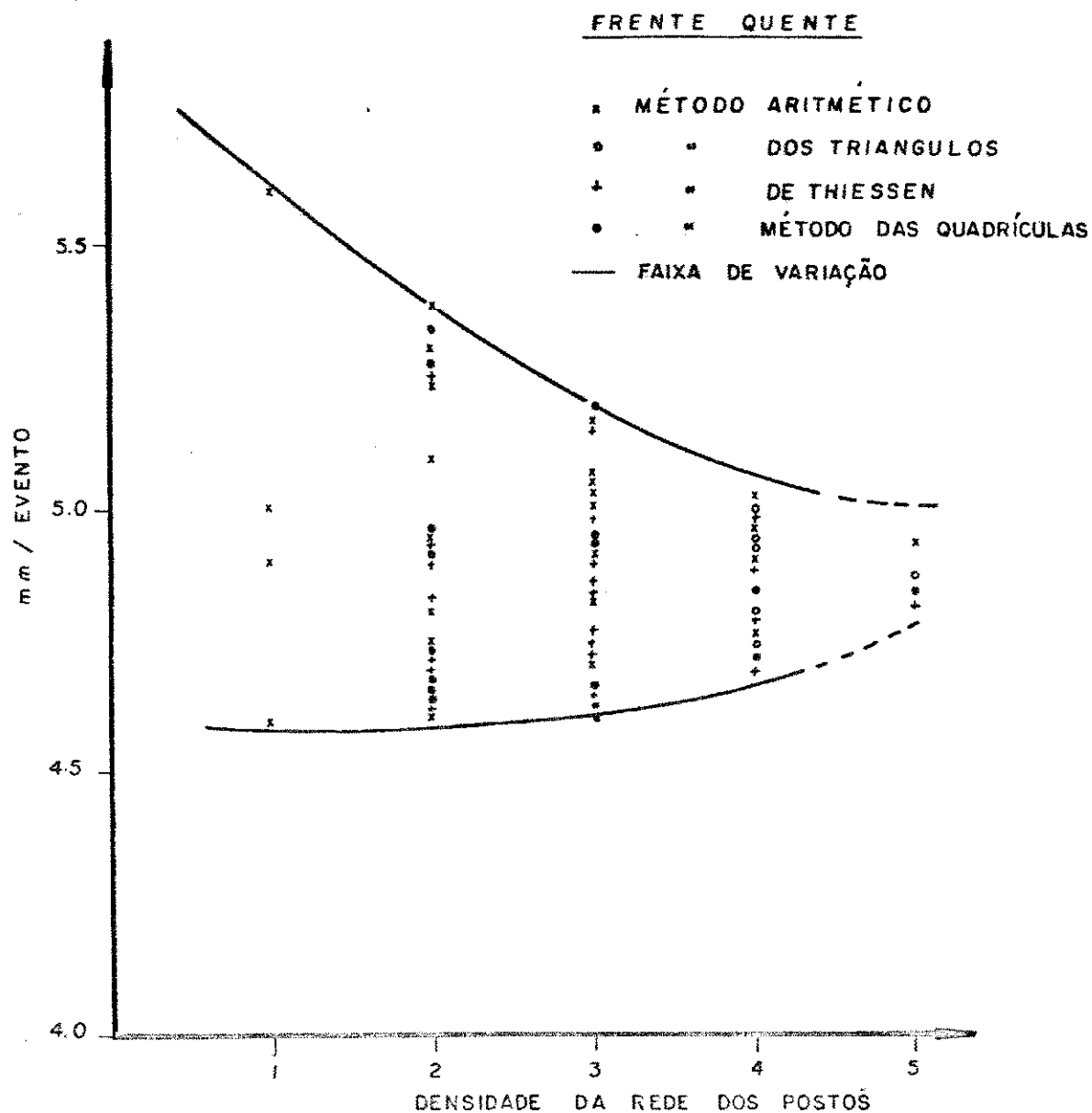
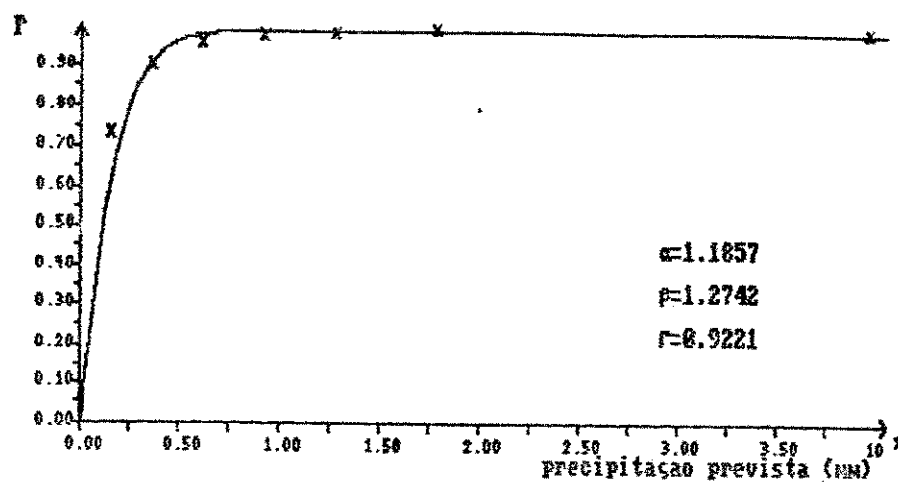


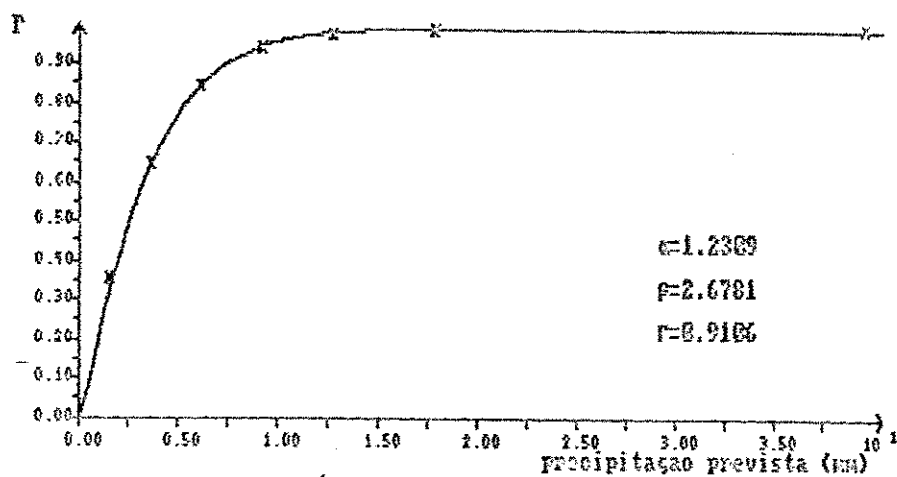
Fig. A.14 - Variação da precipitação média em uma bacia com a densidade dos postos pluviométricos.

Fig. A.15 - DIAGRAMAS DE PREVISÃO
(BACIA DO JAGUARIBE- SÉRIE 1946-1970)

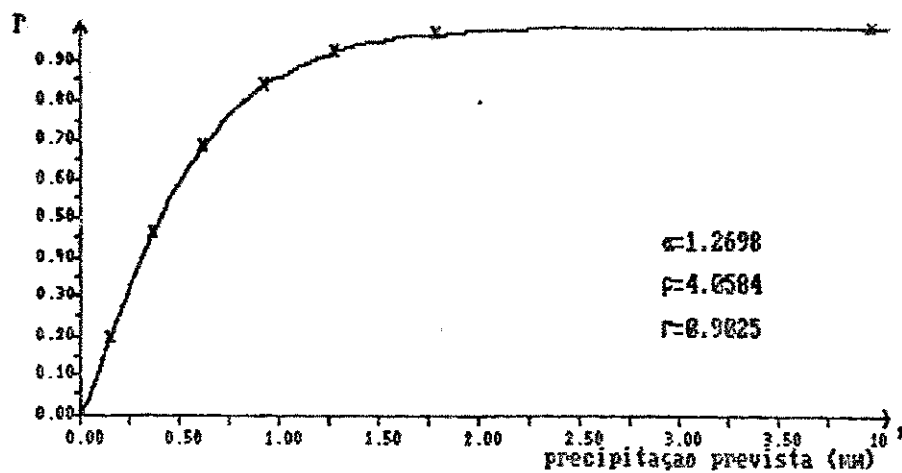
- (a) Precipitação no dia anterior: 0,01 - 1,50 mm
- (b) Precipitação no dia anterior: 1,51 - 3,50 mm
- (c) Precipitação no dia anterior: 3,51 - 6,00 mm
- (d) Precipitação no dia anterior: 6,01 - 9,00 mm
- (e) Precipitação no dia anterior: 9,01 - 12,50 mm
- (f) Precipitação no dia anterior: 12,51 - 17,50 mm
- (g) Precipitação no dia anterior: 17,51 - 39,00 mm



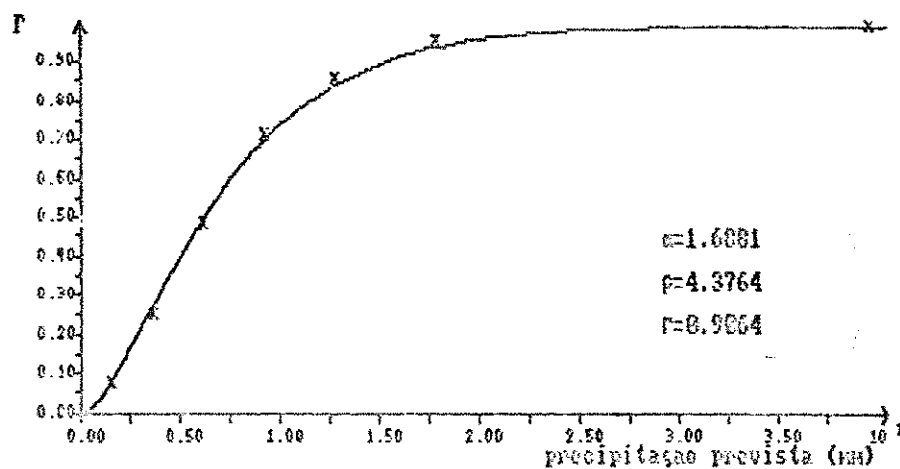
(a) - Precipitação no dia anterior: 0,01 - 1,50



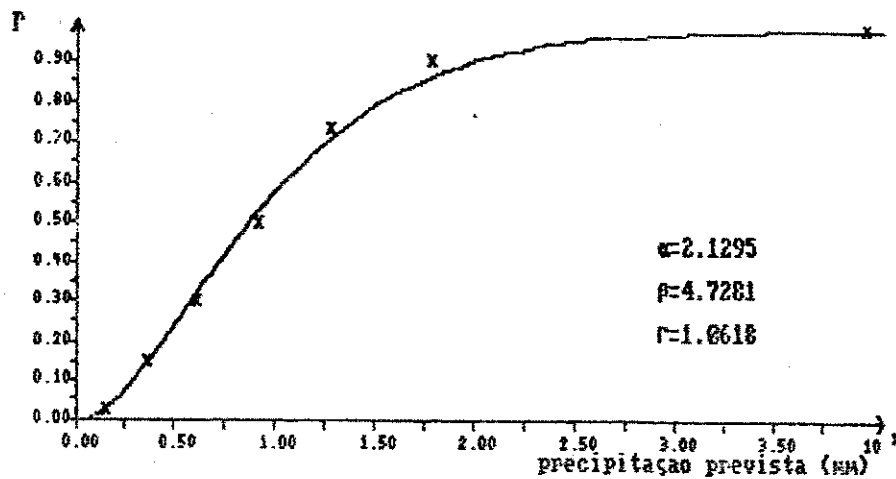
(b) - Precipitação no dia anterior: 1,51 - 3,50



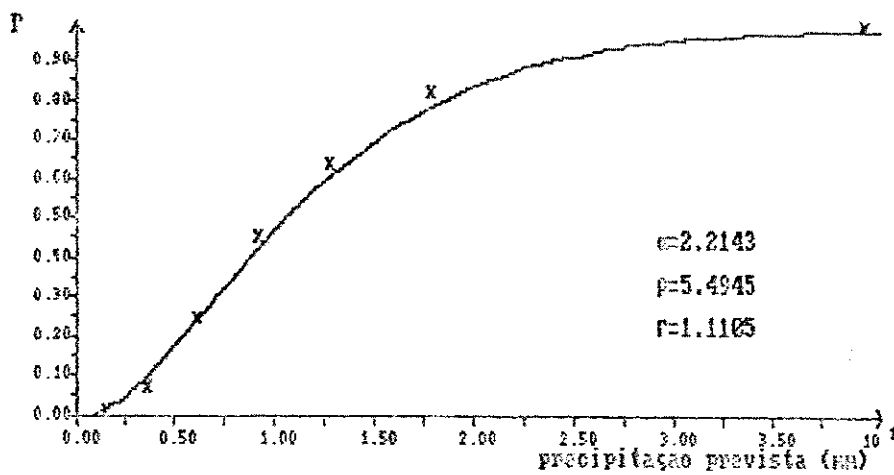
(c) - Precipitação no dia anterior: 3,51 - 6,08



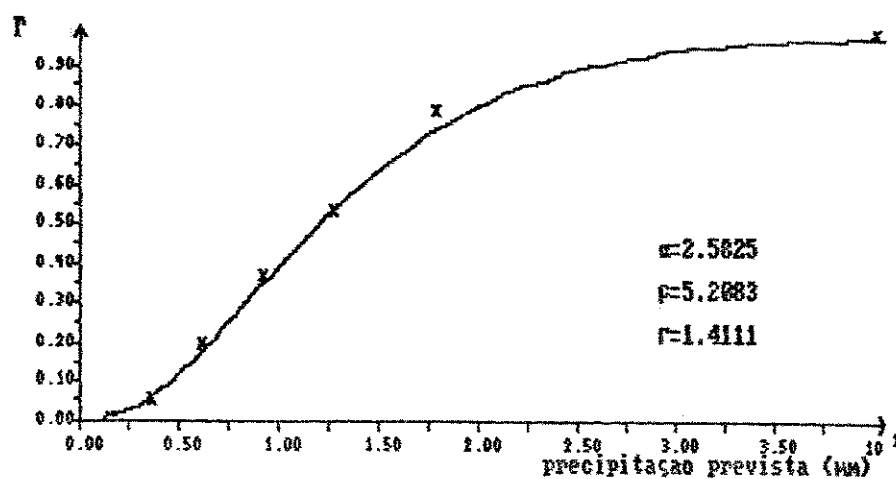
(d) - Precipitação no dia anterior: 6,01 - 9,08



(e) - Precipitação no dia anterior: 9,01 - 12,50



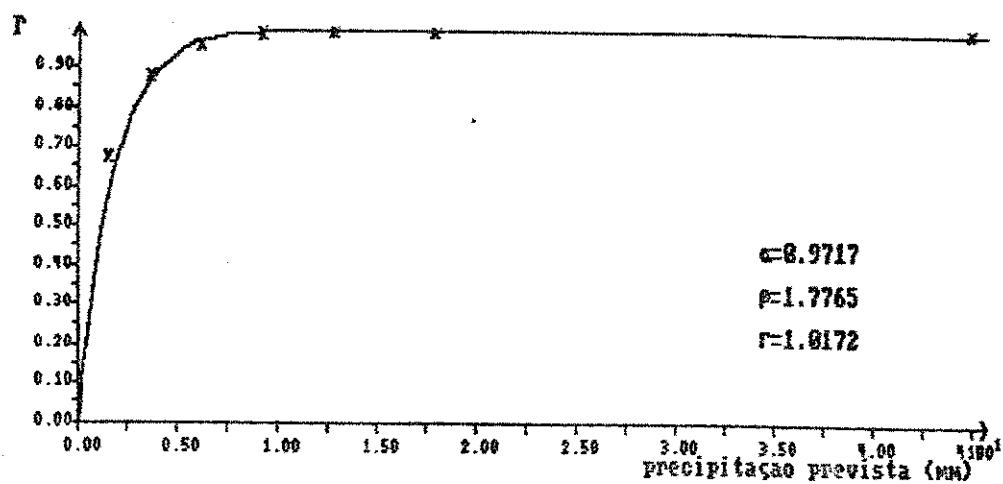
(f) - Precipitação no dia anterior: 12,51 - 17,50



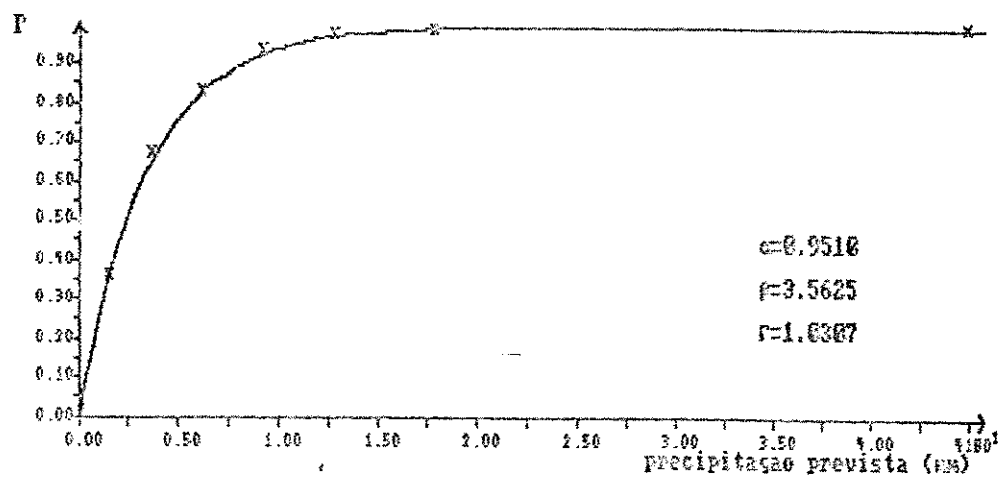
(g) - Precipitação no dia anterior: 17,51 - 39,00

Fig. A.16 - DIAGRAMAS DE PREVISAO
(BACIA DO JAGUARIBE- SÉRIE 1948-1983)

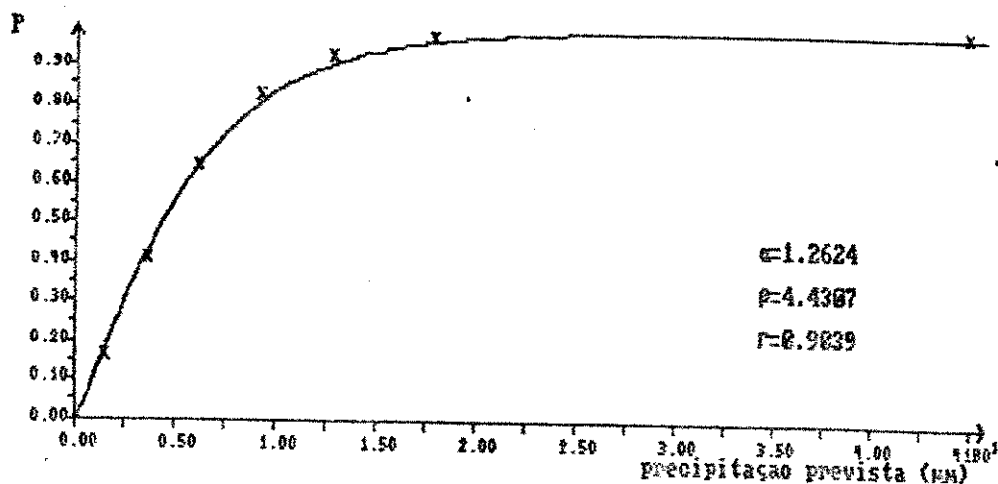
- (a) Precipitação no dia anterior: 0,01 - 1,50 mm
- (b) Precipitação no dia anterior: 1,51 - 3,50 mm
- (c) Precipitação no dia anterior: 3,51 - 6,00 mm
- (d) Precipitação no dia anterior: 6,01 - 9,00 mm
- (e) Precipitação no dia anterior: 9,01 -12,50 mm
- (f) Precipitação no dia anterior:12,51 -17,50 mm
- (g) Precipitação no dia anterior:17,51 -44,00 mm



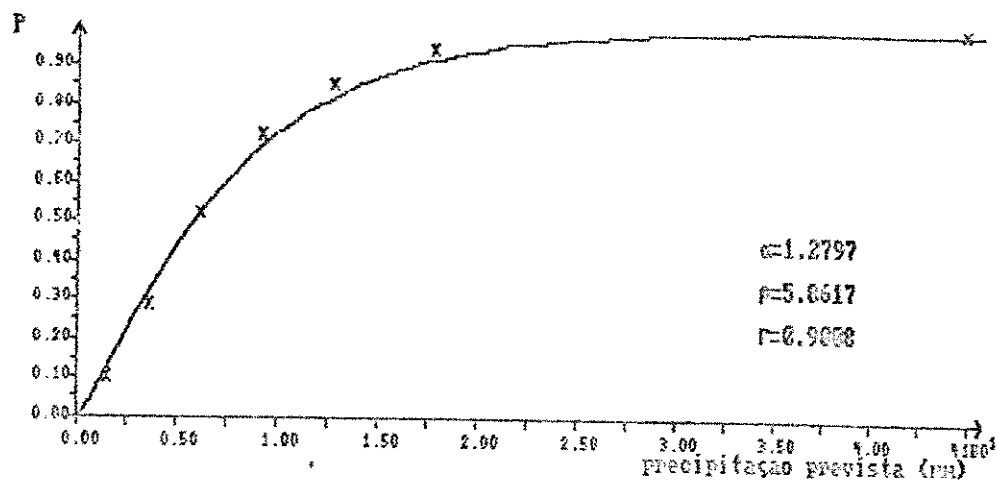
(a) - Precipitação no dia anterior: 0,01 - 1,58



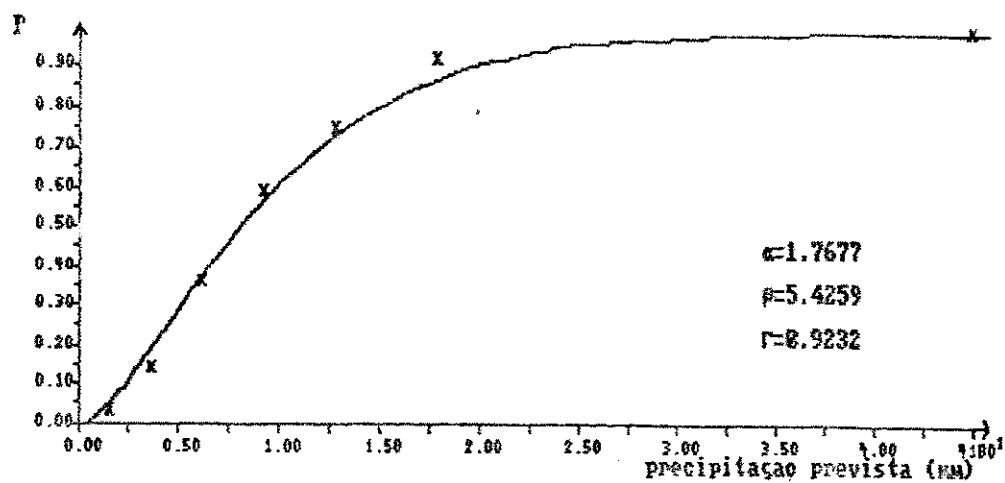
(b) - Precipitação no dia anterior: 1,51 - 3,58



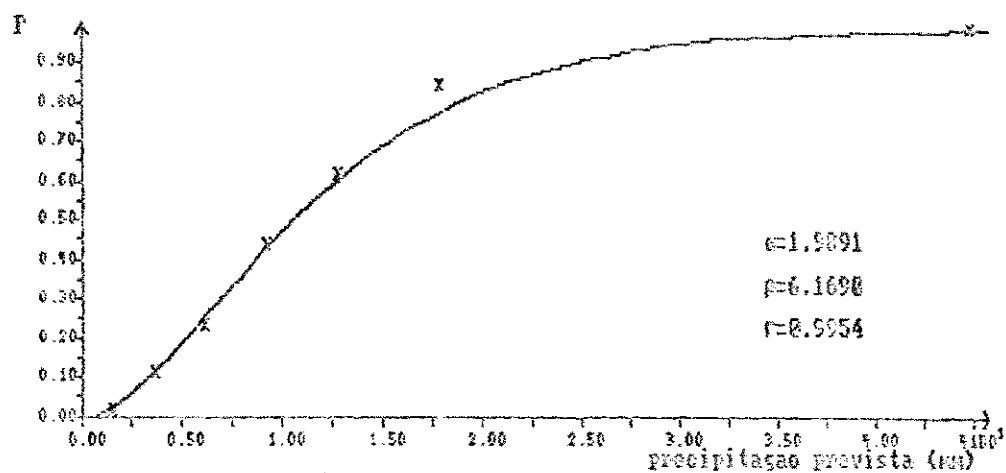
(c) - Precipitação no dia anterior: 3,51 - 6,88



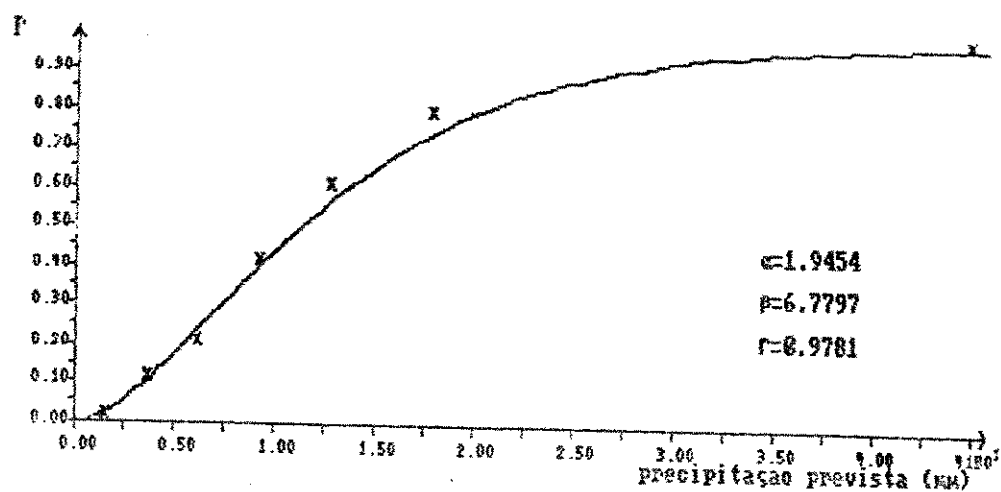
(d) - Precipitação no dia anterior: 6,01 - 9,00



(e) - Precipitação no dia anterior: 9,01 - 12,50



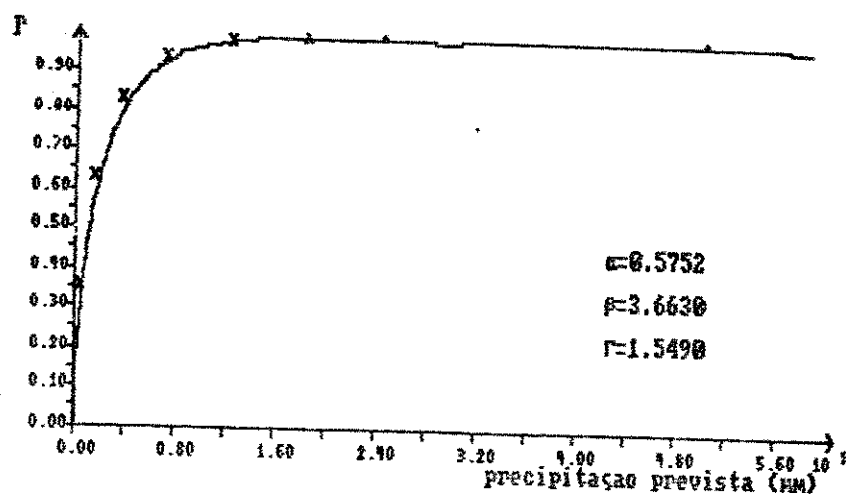
(f) - Precipitação no dia anterior: 12,51 - 17,50



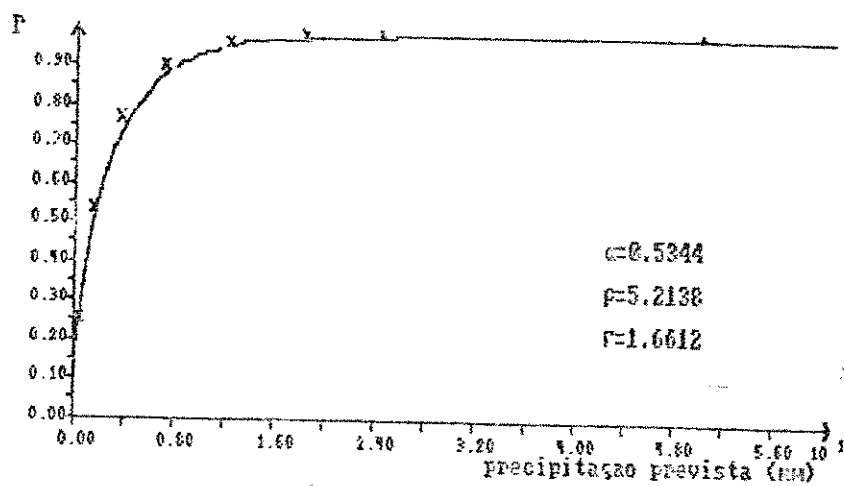
(g) - Precipitação no dia anterior: 17,51 - 44,00

Fig. A.17 - DIAGRAMAS DE PREVISÃO
(BACIA DO SALGADO)

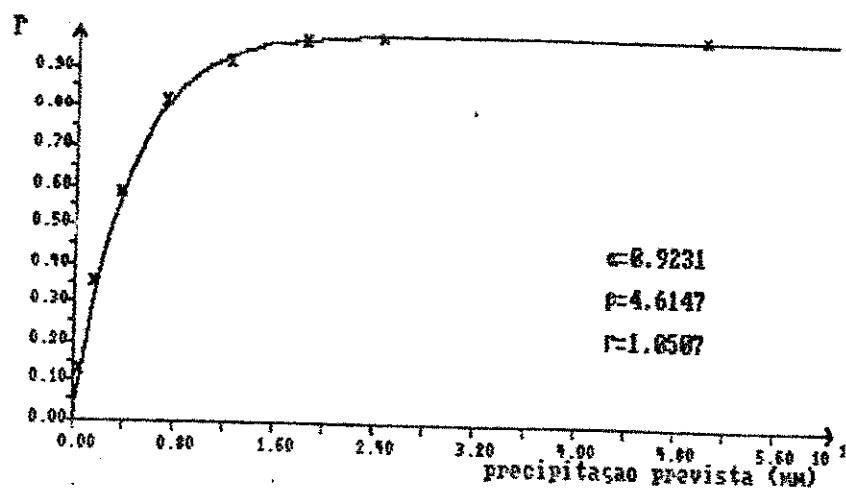
- (a) Precipitação no dia anterior: 0,01 - 0,50 mm
- (b) Precipitação no dia anterior: 0,51 - 1,50 mm
- (c) Precipitação no dia anterior: 1,51 - 3,50 mm
- (d) Precipitação no dia anterior: 3,51 - 7,00 mm
- (e) Precipitação no dia anterior: 7,01 - 12,00 mm
- (f) Precipitação no dia anterior: 12,01 - 18,00 mm
- (g) Precipitação no dia anterior: 18,01 - 24,00 mm
- (h) Precipitação no dia anterior: 24,01 - 49,50 mm



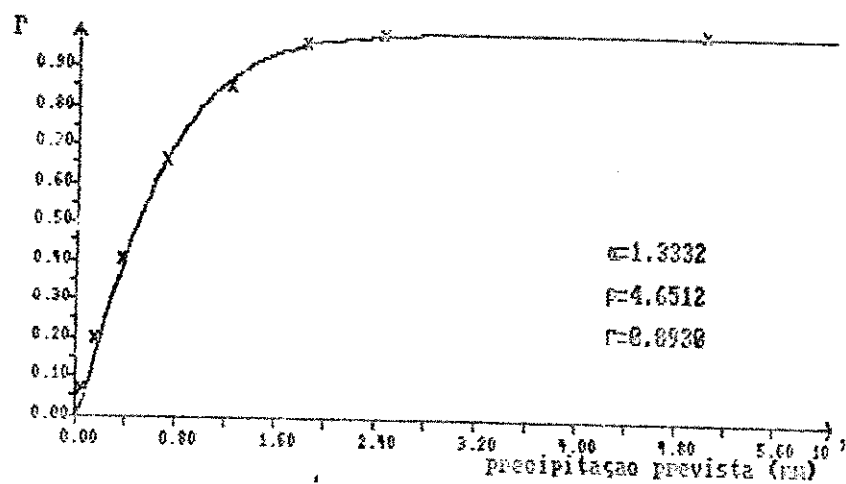
(a) - Precipitação no dia anterior: 0,01 - 0,50



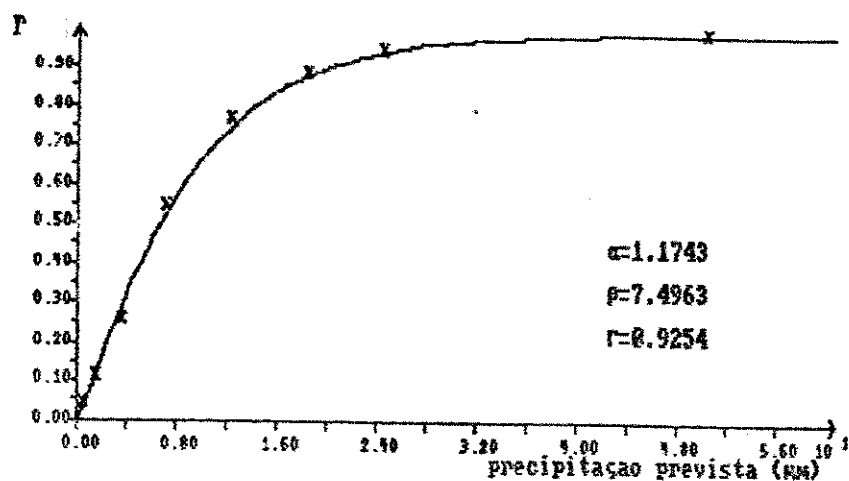
(b) - Precipitação no dia anterior: 0,51 - 1,50



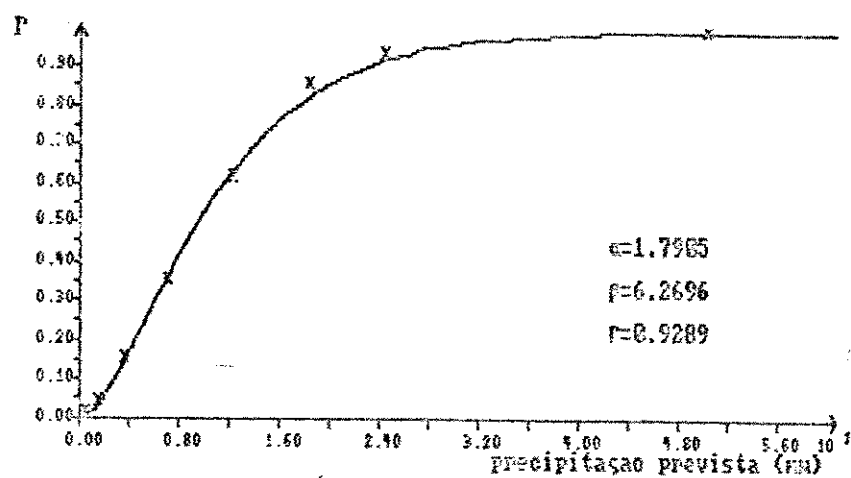
(c) - Precipitação no dia anterior: 1,51 - 3,50



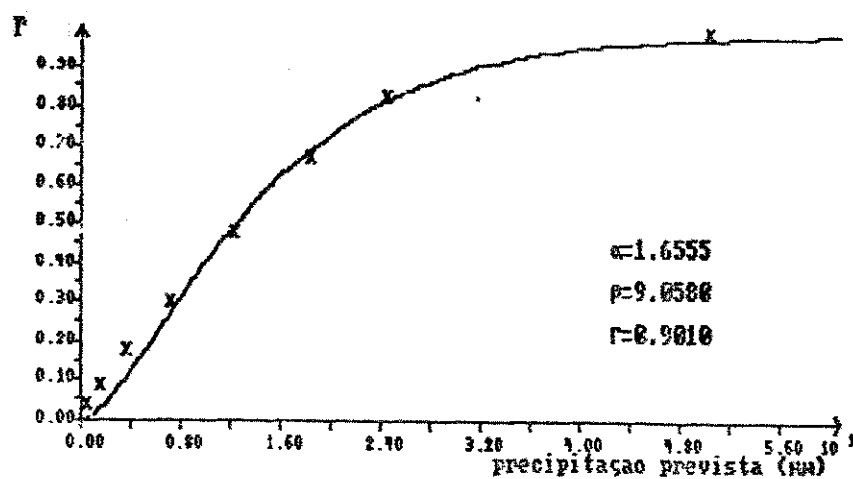
(d) - Precipitação no dia anterior: 3,51 - 7,00



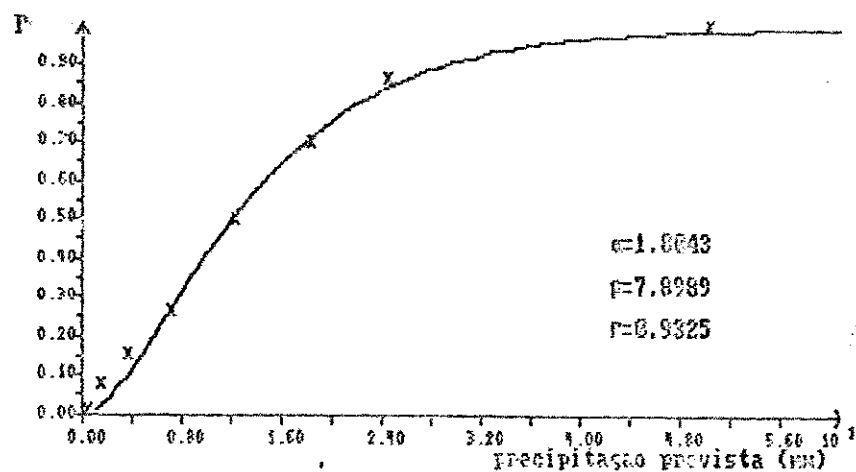
(e) - Precipitação no dia anterior: 7,01 - 12,00



(f) - Precipitação no dia anterior: 12,01 - 18,00



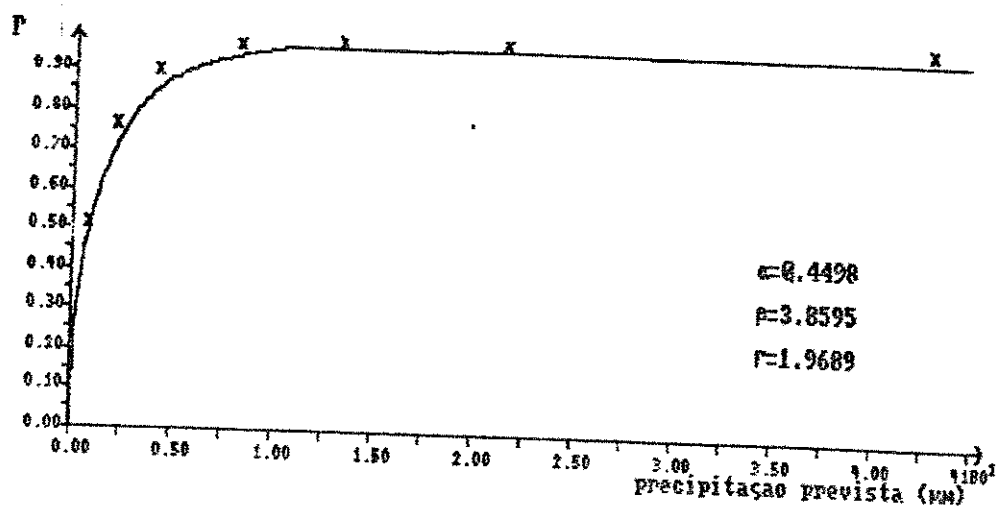
(g) - Precipitação no dia anterior: 18,01 - 24,00



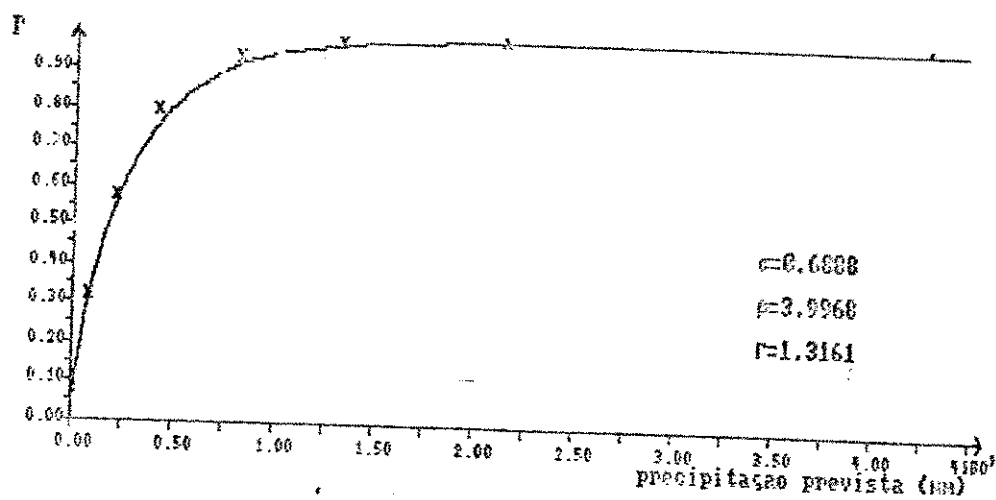
(h) - Precipitação no dia anterior: 24,01 - 49,50

Fig. A.18 - DIAGRAMAS DE PREVISÃO
(BACIA DO BANABUIU)

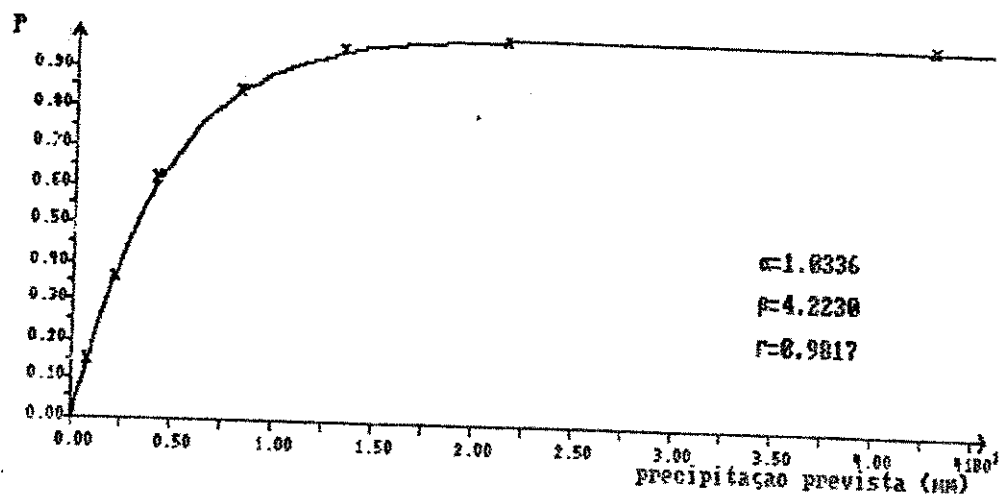
- (a) Precipitação no dia anterior: 0,01 - 0,75 mm
- (b) Precipitação no dia anterior: 0,76 - 2,00 mm
- (c) Precipitação no dia anterior: 2,01 - 4,00 mm
- (d) Precipitação no dia anterior: 4,01 - 8,00 mm
- (e) Precipitação no dia anterior: 8,01 - 13,00 mm
- (f) Precipitação no dia anterior: 13,01 - 21,00 mm
- (g) Precipitação no dia anterior: 21,01 - 42,00 mm



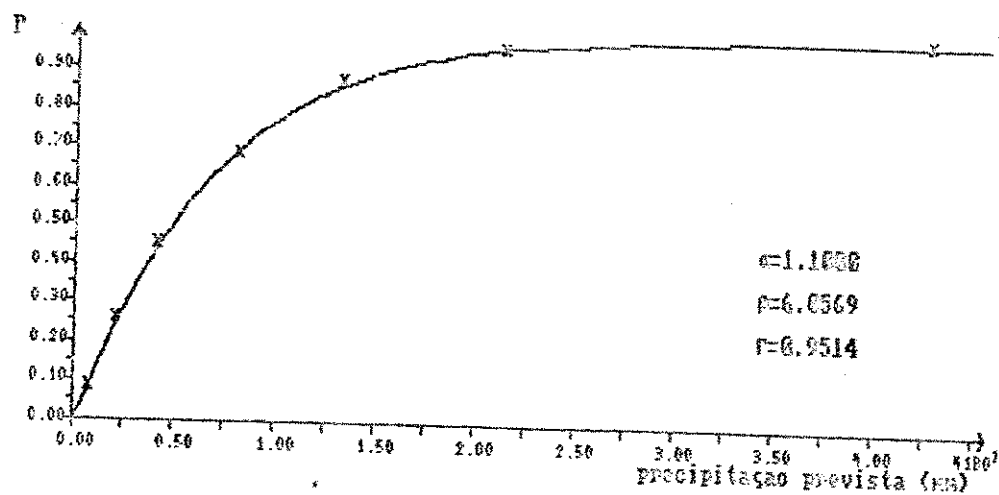
(a) - Precipitação no dia anterior: 0,01 - 0,75



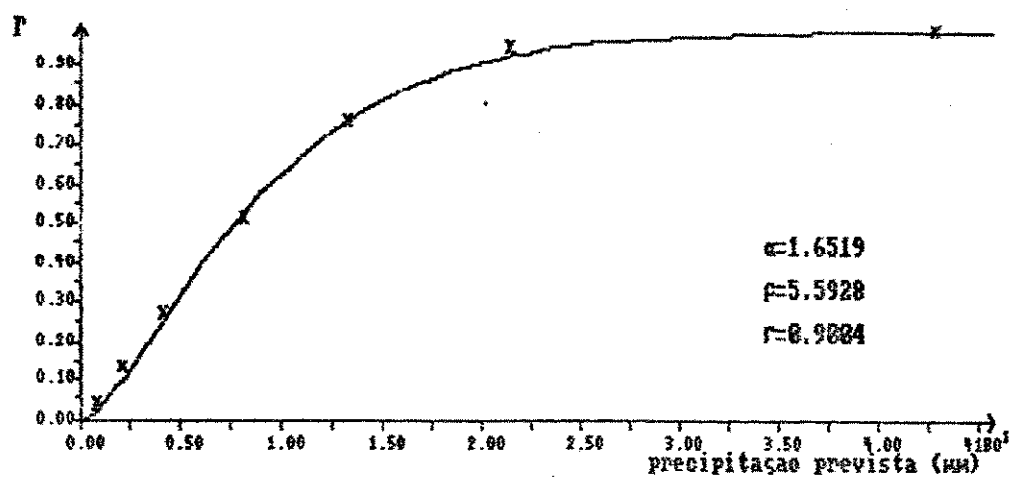
(b) - Precipitação no dia anterior: 0,76 - 2,03



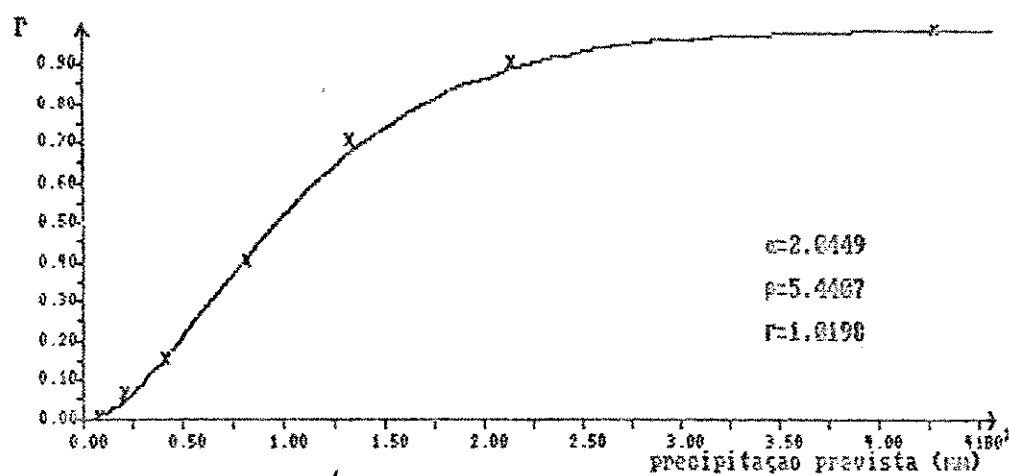
(c) - Precipitação no dia anterior: 2,01 - 4,00



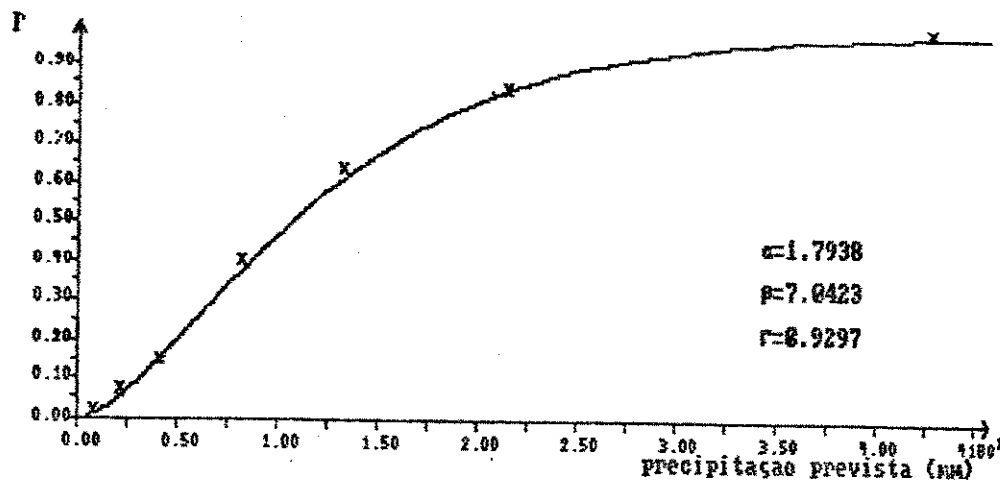
(d) - Precipitação no dia anterior: 4,01 - 8,00



(e) - Precipitação no dia anterior: 8,01 - 13,68



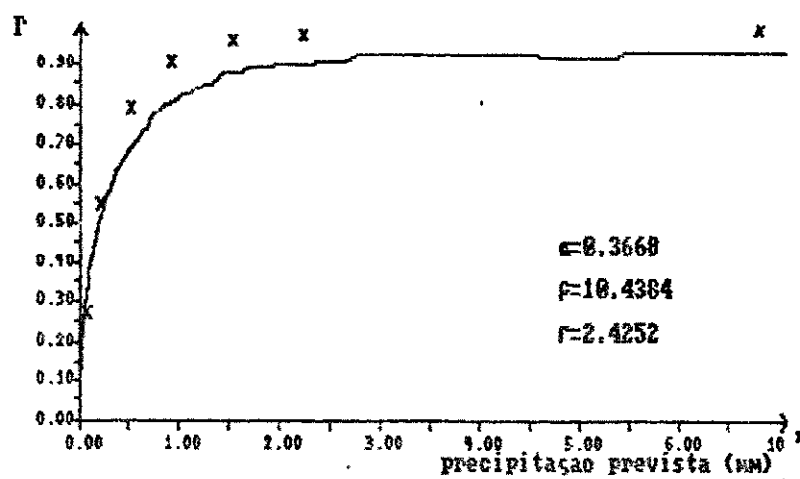
(f) - Precipitação no dia anterior: 13,01 - 21,68



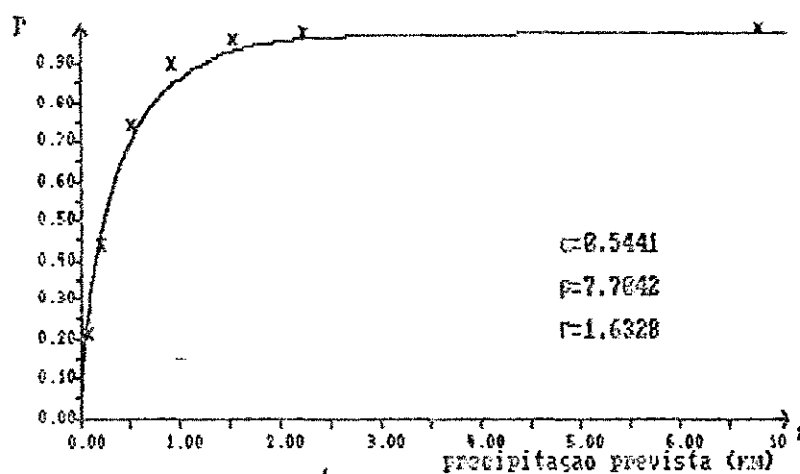
(g) - Precipitação no dia anterior: 21,81 - 42,88

Fig. A.19 - DIAGRAMAS DE PREVISAO
(BACIA DO JAGUARIBE II)

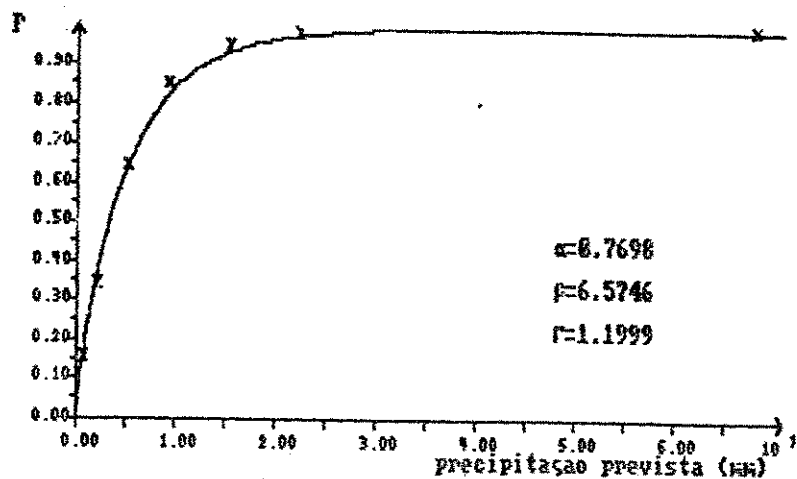
- (a) Precipitação no dia anterior: 0,01 - 0,75 mm
- (b) Precipitação no dia anterior: 0,76 - 2,00 mm
- (c) Precipitação no dia anterior: 2,01 - 5,00 mm
- (d) Precipitação no dia anterior: 5,01 - 9,00 mm
- (e) Precipitação no dia anterior: 9,01 - 15,00 mm
- (f) Precipitação no dia anterior: 15,01 - 22,00 mm
- (g) Precipitação no dia anterior: 22,01 - 67,00 mm



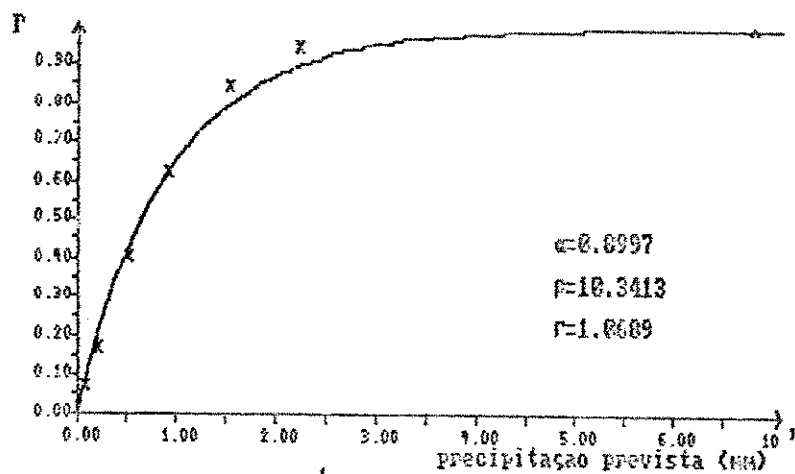
(a) - Precipitação no dia anterior: 0,01 - 0,75



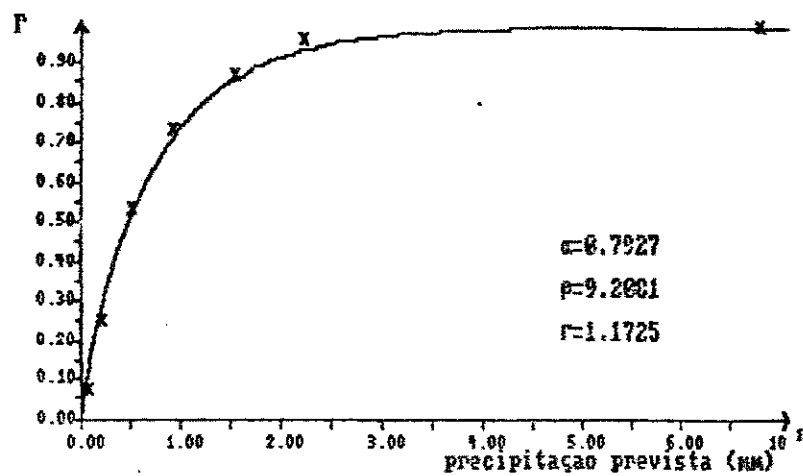
(b) - Precipitação no dia anterior: 0,76 - 2,00



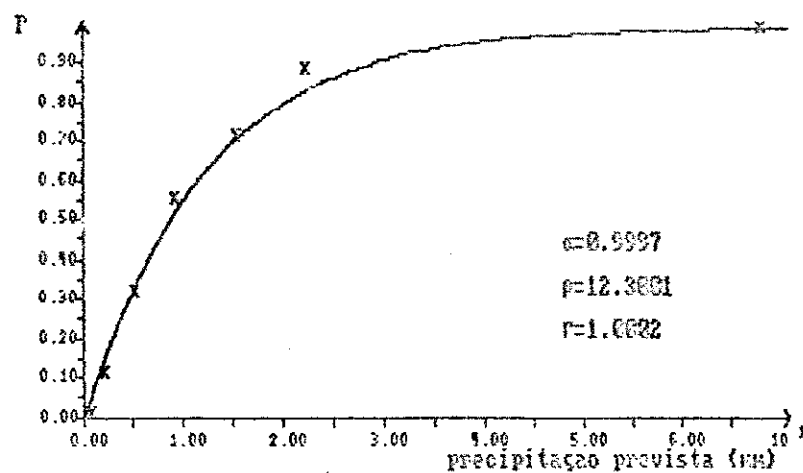
(c) - Precipitação no dia anterior: 2,81 - 5,68



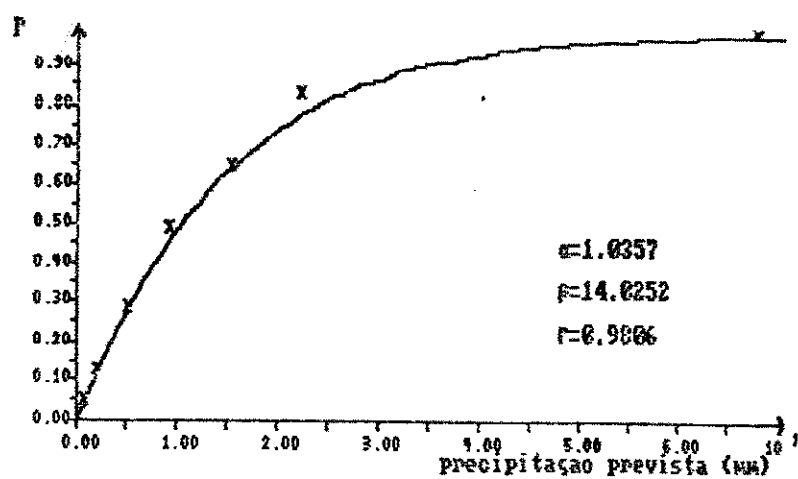
(d) - Precipitação no dia anterior: 5,61 - 9,88



(e) - Precipitação no dia anterior: 9,01 - 15,00



(f) - Precipitação no dia anterior: 15,01 - 22,00



(g) - Precipitação no dia anterior: 22,01 - 67,00

APÊNDICE II
(TABELAS COMPLEMENTARES)

A.1 - Matrizes de n fases

$$P(1) = \begin{bmatrix} 0.61900 & 0.38100 \\ 0.16800 & 0.83200 \end{bmatrix}$$

$$P(2) = \begin{bmatrix} 0.44717 & 0.55283 \\ 0.24377 & 0.75623 \end{bmatrix}$$

$$P(3) = \begin{bmatrix} 0.36967 & 0.63033 \\ 0.27794 & 0.72206 \end{bmatrix}$$

$$P(4) = \begin{bmatrix} 0.33472 & 0.66528 \\ 0.29335 & 0.70665 \end{bmatrix}$$

$$P(5) = \begin{bmatrix} 0.31896 & 0.68104 \\ 0.30030 & 0.69970 \end{bmatrix}$$

$$P(6) = \begin{bmatrix} 0.31185 & 0.68815 \\ 0.30344 & 0.69656 \end{bmatrix}$$

$$P(7) = \begin{bmatrix} 0.30864 & 0.69135 \\ 0.30485 & 0.69515 \end{bmatrix}$$

A.1 - Matrizes de n fases (Continuação)

$$P(8) = \begin{bmatrix} 0.30720 & 0.69280 \\ 0.30549 & 0.69451 \end{bmatrix}$$

$$P(9) = \begin{bmatrix} 0.30655 & 0.69345 \\ 0.30577 & 0.69422 \end{bmatrix}$$

$$P(10) = \begin{bmatrix} 0.30625 & 0.69375 \\ 0.30590 & 0.69410 \end{bmatrix}$$

$$P(11) = \begin{bmatrix} 0.30612 & 0.69388 \\ 0.30596 & 0.69404 \end{bmatrix}$$

$$P(12) = \begin{bmatrix} 0.30606 & 0.69394 \\ 0.30599 & 0.69401 \end{bmatrix}$$

$$P(13) = \begin{bmatrix} 0.30603 & 0.69397 \\ 0.30600 & 0.69400 \end{bmatrix}$$

$$P(14) = \begin{bmatrix} 0.30602 & 0.69398 \\ 0.30601 & 0.69399 \end{bmatrix}$$

A.1 - Matrizes de n fases (Continuação)

$$P(15) = \begin{bmatrix} 0.30601 & 0.69398 \\ 0.30601 & 0.69399 \end{bmatrix}$$

$$P(16) = \begin{bmatrix} 0.30601 & 0.69399 \\ 0.30601 & 0.69399 \end{bmatrix}$$

$$P(17) = \begin{bmatrix} 0.30601 & 0.69399 \\ 0.30601 & 0.69399 \end{bmatrix}$$

$$P(18) = \begin{bmatrix} 0.30601 & 0.69399 \\ 0.30601 & 0.69399 \end{bmatrix}$$

$$P(19) = \begin{bmatrix} 0.30601 & 0.69399 \\ 0.30601 & 0.69399 \end{bmatrix}$$

$$P(20) = \begin{bmatrix} 0.30601 & 0.69399 \\ 0.30601 & 0.69399 \end{bmatrix}$$

$$P(21) = \begin{bmatrix} 0.30601 & 0.69399 \\ 0.30601 & 0.69399 \end{bmatrix}$$

Tabela A.2 - Matrizes de n fases da Bacia do Jaguaribe

$$P^{(1)} = \begin{bmatrix} 0.74400 & 0.16600 & 0.05800 & 0.02400 & 0.00600 & 0.00200 & 0.00000 \\ 0.36600 & 0.28900 & 0.20000 & 0.09500 & 0.03600 & 0.01200 & 0.00200 \\ 0.20100 & 0.27000 & 0.21900 & 0.15700 & 0.08600 & 0.05300 & 0.01400 \\ 0.08400 & 0.17500 & 0.23700 & 0.22700 & 0.14300 & 0.09600 & 0.03800 \\ 0.03400 & 0.12400 & 0.15100 & 0.20000 & 0.23400 & 0.17000 & 0.08700 \\ 0.01600 & 0.06200 & 0.17100 & 0.20700 & 0.18700 & 0.18600 & 0.17100 \\ 0.01000 & 0.04800 & 0.14600 & 0.17500 & 0.16500 & 0.25200 & 0.20400 \end{bmatrix}$$

$$P^{(2)} = \begin{bmatrix} 0.62820 & 0.19220 & 0.09599 & 0.04979 & 0.02064 & 0.01025 & 0.00292 \\ 0.42769 & 0.22020 & 0.15312 & 0.09924 & 0.05438 & 0.03277 & 0.01258 \\ 0.30948 & 0.21262 & 0.17492 & 0.13112 & 0.08455 & 0.05833 & 0.02897 \\ 0.20003 & 0.19374 & 0.18913 & 0.16250 & 0.11733 & 0.08836 & 0.04890 \\ 0.12938 & 0.16098 & 0.18435 & 0.17892 & 0.14715 & 0.12208 & 0.07714 \\ 0.09740 & 0.14590 & 0.18484 & 0.18594 & 0.15339 & 0.13919 & 0.09334 \\ 0.08073 & 0.13145 & 0.18142 & 0.18831 & 0.15876 & 0.15146 & 0.10785 \end{bmatrix}$$

$$P^{(3)} = \begin{bmatrix} 0.56210 & 0.19779 & 0.11299 & 0.06647 & 0.03329 & 0.01958 & 0.00776 \\ 0.44041 & 0.20272 & 0.14155 & 0.09761 & 0.05878 & 0.03965 & 0.01926 \\ 0.35834 & 0.19049 & 0.15683 & 0.11891 & 0.07878 & 0.05755 & 0.03110 \\ 0.27729 & 0.19107 & 0.17025 & 0.14010 & 0.09972 & 0.07705 & 0.04450 \\ 0.21498 & 0.17860 & 0.17683 & 0.15615 & 0.11800 & 0.09630 & 0.05911 \\ 0.18701 & 0.17291 & 0.17997 & 0.16325 & 0.12564 & 0.10508 & 0.06613 \\ 0.16926 & 0.16758 & 0.18095 & 0.16763 & 0.13102 & 0.11177 & 0.07167 \end{bmatrix}$$

$$P^{(4)} = \begin{bmatrix} 0.52041 & 0.19833 & 0.12217 & 0.07718 & 0.04245 & 0.02712 & 0.01233 \\ 0.44134 & 0.19767 & 0.13669 & 0.09754 & 0.06042 & 0.04241 & 0.02192 \\ 0.36467 & 0.19183 & 0.14928 & 0.11218 & 0.07411 & 0.05476 & 0.03015 \\ 0.32729 & 0.19101 & 0.15952 & 0.12702 & 0.08830 & 0.06782 & 0.03902 \\ 0.28012 & 0.18582 & 0.16684 & 0.13922 & 0.10063 & 0.07980 & 0.04756 \\ 0.25892 & 0.18344 & 0.17013 & 0.14468 & 0.10613 & 0.08523 & 0.05146 \\ 0.24175 & 0.18135 & 0.17206 & 0.14833 & 0.10997 & 0.08916 & 0.05437 \end{bmatrix}$$

$$P^{(5)} = \begin{bmatrix} 0.48261 & 0.19773 & 0.12774 & 0.08429 & 0.04884 & 0.03267 & 0.01588 \\ 0.43973 & 0.19008 & 0.13820 & 0.09798 & 0.06132 & 0.04365 & 0.02302 \\ 0.40063 & 0.19413 & 0.14551 & 0.10008 & 0.07076 & 0.05217 & 0.02870 \\ 0.36063 & 0.19186 & 0.15285 & 0.11841 & 0.08051 & 0.06105 & 0.03468 \\ 0.32662 & 0.18932 & 0.15873 & 0.12714 & 0.08894 & 0.06893 & 0.04010 \\ 0.31161 & 0.18816 & 0.16136 & 0.13107 & 0.09274 & 0.07249 & 0.04255 \\ 0.30122 & 0.18723 & 0.16309 & 0.13375 & 0.09538 & 0.07500 & 0.04431 \end{bmatrix}$$

Tabela A.2 - Matrizes de n fases da Racia da Jaguaribe
(Continuação)

$$p(6) = \begin{bmatrix} 0.47412 & 0.19704 & 0.13136 & 0.08911 & 0.05327 & 0.03660 & 0.01846 \\ 0.43794 & 0.19554 & 0.13829 & 0.09045 & 0.06190 & 0.04431 & 0.02354 \\ 0.41098 & 0.19420 & 0.14334 & 0.10541 & 0.06841 & 0.05018 & 0.02746 \\ 0.38326 & 0.19273 & 0.14848 & 0.11257 & 0.07512 & 0.05627 & 0.03154 \\ 0.35956 & 0.19130 & 0.15278 & 0.11868 & 0.08093 & 0.06159 & 0.03514 \\ 0.34689 & 0.19065 & 0.15472 & 0.12144 & 0.08354 & 0.06398 & 0.03676 \\ 0.34154 & 0.19016 & 0.15609 & 0.12334 & 0.08535 & 0.06566 & 0.03790 \end{bmatrix}$$

$$p(7) = \begin{bmatrix} 0.46134 & 0.19647 & 0.13379 & 0.09241 & 0.05633 & 0.03935 & 0.02028 \\ 0.43651 & 0.19533 & 0.13849 & 0.09882 & 0.06229 & 0.04470 & 0.02383 \\ 0.41791 & 0.19441 & 0.14197 & 0.10362 & 0.06678 & 0.04875 & 0.02653 \\ 0.39876 & 0.19343 & 0.14554 & 0.10856 & 0.07141 & 0.05294 & 0.02933 \\ 0.38230 & 0.19253 & 0.14858 & 0.11281 & 0.07541 & 0.05657 & 0.03177 \\ 0.37488 & 0.19213 & 0.14995 & 0.11473 & 0.07721 & 0.05821 & 0.03287 \\ 0.36976 & 0.19184 & 0.15089 & 0.11605 & 0.07846 & 0.05935 & 0.03364 \end{bmatrix}$$

$$p(8) = \begin{bmatrix} 0.45255 & 0.19606 & 0.13545 & 0.09168 & 0.05845 & 0.04125 & 0.02154 \\ 0.43547 & 0.19524 & 0.13866 & 0.09909 & 0.06256 & 0.04495 & 0.02401 \\ 0.42264 & 0.19460 & 0.14106 & 0.10240 & 0.06565 & 0.04775 & 0.02587 \\ 0.40941 & 0.19393 & 0.14354 & 0.10581 & 0.06885 & 0.05063 & 0.02780 \\ 0.39602 & 0.19335 & 0.14565 & 0.10875 & 0.07160 & 0.05313 & 0.02946 \\ 0.38290 & 0.19308 & 0.14661 & 0.11008 & 0.07284 & 0.05425 & 0.03022 \\ 0.36934 & 0.19289 & 0.14727 & 0.11099 & 0.07370 & 0.05503 & 0.03074 \end{bmatrix}$$

$$p(9) = \begin{bmatrix} 0.44649 & 0.19576 & 0.13659 & 0.09624 & 0.05990 & 0.04256 & 0.02242 \\ 0.43473 & 0.19519 & 0.13879 & 0.09928 & 0.06274 & 0.04512 & 0.02412 \\ 0.42588 & 0.19475 & 0.14045 & 0.10156 & 0.06487 & 0.04705 & 0.02541 \\ 0.41675 & 0.19429 & 0.14216 & 0.10392 & 0.06708 & 0.04904 & 0.02673 \\ 0.40889 & 0.19389 & 0.14363 & 0.10595 & 0.06898 & 0.05075 & 0.02768 \\ 0.40535 & 0.19371 & 0.14429 & 0.10686 & 0.06983 & 0.05153 & 0.02840 \\ 0.40289 & 0.19359 & 0.14475 & 0.10750 & 0.07042 & 0.05206 & 0.02876 \end{bmatrix}$$

$$p(10) = \begin{bmatrix} 0.44232 & 0.19556 & 0.13737 & 0.09732 & 0.06091 & 0.04347 & 0.02302 \\ 0.43421 & 0.19516 & 0.13889 & 0.09941 & 0.06287 & 0.04523 & 0.02420 \\ 0.42811 & 0.19485 & 0.14003 & 0.10099 & 0.06434 & 0.04656 & 0.02508 \\ 0.42181 & 0.19454 & 0.14121 & 0.10261 & 0.06586 & 0.04793 & 0.02600 \\ 0.41638 & 0.19427 & 0.14222 & 0.10401 & 0.06717 & 0.04912 & 0.02679 \\ 0.41394 & 0.19415 & 0.14268 & 0.10464 & 0.06776 & 0.04965 & 0.02714 \\ 0.41224 & 0.19406 & 0.14300 & 0.10508 & 0.06817 & 0.05002 & 0.02739 \end{bmatrix}$$

Tabela A.2 - Matrizes de n faixas da Racia do Jaguaribe
(Continuação)

$$P(11) = \begin{bmatrix} 0.43945 & 0.19541 & 0.13790 & 0.09806 & 0.06160 & 0.04409 & 0.02344 \\ 0.43385 & 0.19514 & 0.13895 & 0.09950 & 0.06295 & 0.04531 & 0.02425 \\ 0.42964 & 0.19493 & 0.13974 & 0.10059 & 0.06397 & 0.04623 & 0.02486 \\ 0.42530 & 0.19471 & 0.14055 & 0.10171 & 0.06501 & 0.04717 & 0.02549 \\ 0.42156 & 0.19453 & 0.14125 & 0.10268 & 0.06592 & 0.04799 & 0.02604 \\ 0.41987 & 0.19444 & 0.14157 & 0.10311 & 0.06632 & 0.04836 & 0.02628 \\ 0.41870 & 0.19438 & 0.14179 & 0.10342 & 0.06661 & 0.04861 & 0.02645 \end{bmatrix}$$

$$P(12) = \begin{bmatrix} 0.43746 & 0.19531 & 0.13828 & 0.09857 & 0.06208 & 0.04452 & 0.02373 \\ 0.43360 & 0.19512 & 0.13900 & 0.09957 & 0.06301 & 0.04537 & 0.02429 \\ 0.43070 & 0.19498 & 0.13954 & 0.10032 & 0.06371 & 0.04600 & 0.02471 \\ 0.42771 & 0.19483 & 0.14010 & 0.10109 & 0.06443 & 0.04665 & 0.02514 \\ 0.42512 & 0.19470 & 0.14059 & 0.10176 & 0.06506 & 0.04721 & 0.02552 \\ 0.42396 & 0.19464 & 0.14080 & 0.10206 & 0.06534 & 0.04747 & 0.02569 \\ 0.42315 & 0.19460 & 0.14096 & 0.10227 & 0.06553 & 0.04764 & 0.02580 \end{bmatrix}$$

$$P(13) = \begin{bmatrix} 0.43609 & 0.19525 & 0.13853 & 0.09892 & 0.06241 & 0.04482 & 0.02392 \\ 0.43343 & 0.19511 & 0.13903 & 0.09961 & 0.06305 & 0.04540 & 0.02431 \\ 0.43143 & 0.19502 & 0.13940 & 0.10013 & 0.06353 & 0.04584 & 0.02460 \\ 0.42936 & 0.19491 & 0.13979 & 0.10066 & 0.06403 & 0.04629 & 0.02490 \\ 0.42758 & 0.19482 & 0.14013 & 0.10112 & 0.06446 & 0.04668 & 0.02516 \\ 0.42678 & 0.19478 & 0.14028 & 0.10133 & 0.06466 & 0.04685 & 0.02528 \\ 0.42622 & 0.19476 & 0.14038 & 0.10147 & 0.06479 & 0.04697 & 0.02536 \end{bmatrix}$$

$$P(14) = \begin{bmatrix} 0.43515 & 0.19520 & 0.13871 & 0.09917 & 0.06264 & 0.04503 & 0.02406 \\ 0.43331 & 0.19511 & 0.13905 & 0.09964 & 0.06308 & 0.04543 & 0.02433 \\ 0.43193 & 0.19504 & 0.13931 & 0.10000 & 0.06341 & 0.04573 & 0.02453 \\ 0.43051 & 0.19497 & 0.13958 & 0.10036 & 0.06376 & 0.04604 & 0.02473 \\ 0.42928 & 0.19491 & 0.13981 & 0.10068 & 0.06405 & 0.04631 & 0.02491 \\ 0.42873 & 0.19488 & 0.13991 & 0.10082 & 0.06419 & 0.04643 & 0.02499 \\ 0.42834 & 0.19486 & 0.13998 & 0.10092 & 0.06428 & 0.04651 & 0.02505 \end{bmatrix}$$

$$P(15) = \begin{bmatrix} 0.43450 & 0.19517 & 0.13883 & 0.09933 & 0.06279 & 0.04517 & 0.02415 \\ 0.43323 & 0.19510 & 0.13907 & 0.09966 & 0.06310 & 0.04544 & 0.02434 \\ 0.43228 & 0.19506 & 0.13924 & 0.09991 & 0.06333 & 0.04565 & 0.02448 \\ 0.43130 & 0.19501 & 0.13943 & 0.10016 & 0.06357 & 0.04587 & 0.02462 \\ 0.43045 & 0.19497 & 0.13959 & 0.10038 & 0.06377 & 0.04605 & 0.02474 \\ 0.42967 & 0.19493 & 0.13966 & 0.10048 & 0.06386 & 0.04613 & 0.02480 \\ 0.42900 & 0.19493 & 0.13971 & 0.10055 & 0.06393 & 0.04619 & 0.02484 \end{bmatrix}$$

Tabela A.2 - Matrizes de a fases da Bacia do Jaguaribe
(Continuação)

$$P(16) = \begin{bmatrix} 0.43405 & 0.19514 & 0.13891 & 0.09945 & 0.06290 & 0.04527 & 0.02422 \\ 0.43318 & 0.19510 & 0.13908 & 0.09967 & 0.06311 & 0.04546 & 0.02435 \\ 0.43252 & 0.19507 & 0.13920 & 0.09984 & 0.06327 & 0.04560 & 0.02444 \\ 0.43184 & 0.19503 & 0.13933 & 0.10002 & 0.06343 & 0.04575 & 0.02454 \\ 0.43126 & 0.19501 & 0.13944 & 0.10017 & 0.06357 & 0.04587 & 0.02462 \\ 0.43099 & 0.19499 & 0.13948 & 0.10024 & 0.06364 & 0.04593 & 0.02466 \\ 0.43081 & 0.19498 & 0.13952 & 0.10029 & 0.06368 & 0.04597 & 0.02469 \end{bmatrix}$$

$$P(17) = \begin{bmatrix} 0.43374 & 0.19513 & 0.13897 & 0.09953 & 0.06298 & 0.04533 & 0.02426 \\ 0.43314 & 0.19510 & 0.13908 & 0.09968 & 0.06312 & 0.04546 & 0.02435 \\ 0.43268 & 0.19508 & 0.13917 & 0.09980 & 0.06323 & 0.04556 & 0.02442 \\ 0.43222 & 0.19505 & 0.13925 & 0.09992 & 0.06334 & 0.04566 & 0.02448 \\ 0.43181 & 0.19503 & 0.13933 & 0.10003 & 0.06344 & 0.04575 & 0.02454 \\ 0.43163 & 0.19502 & 0.13936 & 0.10007 & 0.06348 & 0.04579 & 0.02457 \\ 0.43151 & 0.19502 & 0.13939 & 0.10011 & 0.06351 & 0.04582 & 0.02459 \end{bmatrix}$$

$$P(18) = \begin{bmatrix} 0.43353 & 0.19512 & 0.13901 & 0.09958 & 0.06303 & 0.04538 & 0.02429 \\ 0.43311 & 0.19510 & 0.13909 & 0.09969 & 0.06313 & 0.04547 & 0.02435 \\ 0.43280 & 0.19508 & 0.13915 & 0.09977 & 0.06320 & 0.04554 & 0.02440 \\ 0.43248 & 0.19506 & 0.13921 & 0.09985 & 0.06328 & 0.04561 & 0.02445 \\ 0.43220 & 0.19505 & 0.13926 & 0.09993 & 0.06335 & 0.04567 & 0.02449 \\ 0.43207 & 0.19504 & 0.13928 & 0.09996 & 0.06338 & 0.04568 & 0.02451 \\ 0.43198 & 0.19504 & 0.13930 & 0.09998 & 0.06340 & 0.04571 & 0.02452 \end{bmatrix}$$

$$P(19) = \begin{bmatrix} 0.43338 & 0.19511 & 0.13904 & 0.09962 & 0.06306 & 0.04541 & 0.02432 \\ 0.43309 & 0.19509 & 0.13909 & 0.09969 & 0.06313 & 0.04547 & 0.02436 \\ 0.43288 & 0.19508 & 0.13913 & 0.09975 & 0.06318 & 0.04552 & 0.02439 \\ 0.43265 & 0.19507 & 0.13917 & 0.09981 & 0.06324 & 0.04557 & 0.02442 \\ 0.43246 & 0.19506 & 0.13921 & 0.09986 & 0.06328 & 0.04561 & 0.02445 \\ 0.43238 & 0.19506 & 0.13922 & 0.09988 & 0.06330 & 0.04563 & 0.02446 \\ 0.43232 & 0.19506 & 0.13924 & 0.09989 & 0.06332 & 0.04564 & 0.02447 \end{bmatrix}$$

$$P(20) = \begin{bmatrix} 0.43328 & 0.19510 & 0.13905 & 0.09965 & 0.06309 & 0.04543 & 0.02433 \\ 0.43308 & 0.19509 & 0.13909 & 0.09970 & 0.06313 & 0.04547 & 0.02436 \\ 0.43293 & 0.19509 & 0.13912 & 0.09974 & 0.06317 & 0.04551 & 0.02438 \\ 0.43278 & 0.19508 & 0.13915 & 0.09978 & 0.06321 & 0.04554 & 0.02440 \\ 0.43264 & 0.19507 & 0.13917 & 0.09981 & 0.06324 & 0.04557 & 0.02442 \\ 0.43258 & 0.19507 & 0.13918 & 0.09982 & 0.06325 & 0.04558 & 0.02443 \\ 0.43254 & 0.19507 & 0.13919 & 0.09984 & 0.06326 & 0.04559 & 0.02444 \end{bmatrix}$$

Tabela A.2 - Matrizes de n fases da Bacia do Jaguaribe
(Continuação)

$$P(21) = \begin{bmatrix} 0.43321 & 0.19510 & 0.13907 & 0.09966 & 0.06310 & 0.04545 & 0.02434 \\ 0.43307 & 0.19509 & 0.13909 & 0.09970 & 0.06313 & 0.04548 & 0.02436 \\ 0.43297 & 0.19509 & 0.13911 & 0.09973 & 0.06316 & 0.04550 & 0.02437 \\ 0.43286 & 0.19508 & 0.13913 & 0.09975 & 0.06318 & 0.04552 & 0.02439 \\ 0.43277 & 0.19508 & 0.13915 & 0.09978 & 0.06321 & 0.04554 & 0.02440 \\ 0.43273 & 0.19508 & 0.13916 & 0.09979 & 0.06322 & 0.04555 & 0.02441 \\ 0.43270 & 0.19507 & 0.13916 & 0.09979 & 0.06322 & 0.04556 & 0.02441 \end{bmatrix}$$

$$P(22) = \begin{bmatrix} 0.43316 & 0.19510 & 0.13908 & 0.09968 & 0.06311 & 0.04546 & 0.02435 \\ 0.43306 & 0.19509 & 0.13909 & 0.09970 & 0.06314 & 0.04548 & 0.02436 \\ 0.43299 & 0.19509 & 0.13911 & 0.09972 & 0.06315 & 0.04549 & 0.02437 \\ 0.43292 & 0.19508 & 0.13912 & 0.09974 & 0.06317 & 0.04551 & 0.02438 \\ 0.43286 & 0.19508 & 0.13913 & 0.09975 & 0.06319 & 0.04552 & 0.02439 \\ 0.43283 & 0.19508 & 0.13914 & 0.09976 & 0.06319 & 0.04553 & 0.02439 \\ 0.43281 & 0.19508 & 0.13914 & 0.09977 & 0.06320 & 0.04553 & 0.02440 \end{bmatrix}$$

$$P(23) = \begin{bmatrix} 0.43312 & 0.19509 & 0.13908 & 0.09968 & 0.06312 & 0.04546 & 0.02435 \\ 0.43306 & 0.19509 & 0.13909 & 0.09970 & 0.06314 & 0.04548 & 0.02436 \\ 0.43301 & 0.19509 & 0.13910 & 0.09971 & 0.06315 & 0.04549 & 0.02437 \\ 0.43296 & 0.19509 & 0.13911 & 0.09973 & 0.06316 & 0.04550 & 0.02437 \\ 0.43292 & 0.19508 & 0.13912 & 0.09974 & 0.06317 & 0.04551 & 0.02438 \\ 0.43290 & 0.19508 & 0.13912 & 0.09974 & 0.06318 & 0.04551 & 0.02438 \\ 0.43288 & 0.19508 & 0.13913 & 0.09975 & 0.06318 & 0.04552 & 0.02438 \end{bmatrix}$$

$$P(24) = \begin{bmatrix} 0.43310 & 0.19509 & 0.13909 & 0.09969 & 0.06313 & 0.04547 & 0.02435 \\ 0.43305 & 0.19509 & 0.13909 & 0.09970 & 0.06314 & 0.04548 & 0.02436 \\ 0.43302 & 0.19509 & 0.13910 & 0.09971 & 0.06314 & 0.04548 & 0.02436 \\ 0.43299 & 0.19509 & 0.13911 & 0.09972 & 0.06315 & 0.04549 & 0.02437 \\ 0.43296 & 0.19509 & 0.13911 & 0.09973 & 0.06316 & 0.04550 & 0.02437 \\ 0.43294 & 0.19508 & 0.13911 & 0.09973 & 0.06316 & 0.04550 & 0.02438 \\ 0.43293 & 0.19508 & 0.13912 & 0.09973 & 0.06317 & 0.04550 & 0.02438 \end{bmatrix}$$

$$P(25) = \begin{bmatrix} 0.43308 & 0.19509 & 0.13909 & 0.09969 & 0.06313 & 0.04547 & 0.02435 \\ 0.43305 & 0.19509 & 0.13909 & 0.09970 & 0.06314 & 0.04548 & 0.02436 \\ 0.43303 & 0.19509 & 0.13910 & 0.09971 & 0.06314 & 0.04548 & 0.02436 \\ 0.43300 & 0.19509 & 0.13910 & 0.09971 & 0.06315 & 0.04549 & 0.02437 \\ 0.43298 & 0.19509 & 0.13911 & 0.09972 & 0.06315 & 0.04549 & 0.02437 \\ 0.43297 & 0.19509 & 0.13911 & 0.09972 & 0.06315 & 0.04549 & 0.02437 \\ 0.43297 & 0.19509 & 0.13911 & 0.09972 & 0.06316 & 0.04550 & 0.02437 \end{bmatrix}$$

Tabela A.2 - Matrizes de n fases da Bacia do Jaguaribe
(Continuação)

p(26):

0.43307	0.19509	0.13909	0.09970	0.06313	0.04547	0.02436
0.43305	0.19509	0.13909	0.09970	0.06314	0.04548	0.02436
0.43303	0.19509	0.13910	0.09971	0.06314	0.04548	0.02436
0.43302	0.19509	0.13910	0.09971	0.06314	0.04548	0.02436
0.43300	0.19509	0.13910	0.09971	0.06315	0.04549	0.02437
0.43300	0.19509	0.13910	0.09971	0.06315	0.04549	0.02437
0.43299	0.19509	0.13910	0.09972	0.06315	0.04549	0.02437

P(27):	0.43306	0.19509	0.13909	0.09970	0.06313	0.04547	0.02436
	0.43305	0.19509	0.13909	0.09970	0.06314	0.04548	0.02436
	0.43304	0.19509	0.13910	0.09970	0.06314	0.04548	0.02436
	0.43303	0.19509	0.13910	0.09971	0.06314	0.04548	0.02436
	0.43302	0.19509	0.13910	0.09971	0.06314	0.04548	0.02436
	0.43301	0.19509	0.13910	0.09971	0.06314	0.04548	0.02436
	0.43301	0.19509	0.13910	0.09971	0.06315	0.04549	0.02436

	0.43306	0.19509	0.13909	0.09970	0.06313	0.04547	0.02436
	0.43305	0.19509	0.13909	0.09970	0.06314	0.04548	0.02436
	0.43304	0.19509	0.13908	0.09970	0.06314	0.04548	0.02436
P(28):	0.43303	0.19509	0.13910	0.09970	0.06314	0.04548	0.02436
	0.43302	0.19509	0.13910	0.09971	0.06314	0.04548	0.02436
	0.43302	0.19509	0.13910	0.09971	0.06314	0.04548	0.02436
	0.43302	0.19509	0.13910	0.09971	0.06314	0.04548	0.02436

P(29):	0.43305	0.19509	0.13909	0.09970	0.06313	0.04547	0.02436
	0.43305	0.19509	0.13909	0.09970	0.06313	0.04548	0.02436
	0.43304	0.19509	0.13909	0.09970	0.06314	0.04548	0.02436
	0.43304	0.19509	0.13909	0.09970	0.06314	0.04548	0.02436
	0.43303	0.19509	0.13910	0.09970	0.06314	0.04548	0.02436
	0.43303	0.19509	0.13910	0.09970	0.06314	0.04548	0.02436

$p^{(30)}$:	0.43305	0.19509	0.13909	0.09970	0.06313	0.04547	0.02436
	0.43305	0.19509	0.13909	0.09970	0.06313	0.04548	0.02436
	0.43304	0.19509	0.13909	0.09970	0.06313	0.04548	0.02436
	0.43304	0.19509	0.13909	0.09970	0.06314	0.04548	0.02436
	0.43303	0.19509	0.13909	0.09970	0.06314	0.04548	0.02436
	0.43303	0.19509	0.13909	0.09970	0.06314	0.04548	0.02436

Tabela A.2 - Matrizes de 8 fases da Bacia de Jaguaribe
(Continuação)

P(31):	0.43305	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04547	0.02436
	0.43304	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04548	0.02436
	0.43301	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04548	0.02436
	0.43301	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04548	0.02436
	0.43301	0.19508	0.13909	0.09970	0.06314	0.04548	0.02436
	0.43301	0.19508	0.13909	0.09970	0.06314	0.04548	0.02436

P(32):

0.43305	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04547	0.02436
0.43304	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04547	0.02436
0.43304	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04548	0.02436
0.43304	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04548	0.02436
0.43304	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04548	0.02436
0.43304	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04548	0.02436
0.43304	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04548	0.02436

P(33)	0.43305	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04547	0.02436
	0.43304	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04547	0.02436
	0.43304	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04547	0.02436
	0.43304	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04547	0.02436
	0.43304	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04548	0.02436
	0.43304	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04548	0.02436
	0.43304	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04548	0.02436
	0.43304	0.19508	0.13909	0.09970	0.06313	0.04548	0.02436

[illegible][illegible]

Tabela A.3 - Estações Pluviométricas da Bacia do
Rio Jaguaribe

Código da Estação	nº	Nome da Estação	Série das Precipitações				
			1	2	3	4	5
2799895	1	Espírito Santo	*	*		*	
2890415	2	Jacampari	*	*		*	
2891876	3	Dom Maurício		*		*	
2891969	4	Custódio	*	*		*	
2891988	5	Cedro	*	*	*		
2892918	6	Salva Vidas	*	*			
2893669	7	Aç.S.A. Russas	*				
2894148	8	Aracati	*				
2894413	9	Palhano	*	*			
2894643	10	Jaguarana		*			
3709736	11	Independência		*			
3719731	12	Santo Antonio	*	*		*	
3728459	13	Parambu	*	*			*
3729018	14	Tauá		*			*
3729802	15	Cococi		*			*
3739279	16	Aiauaaba	*	*			*
3739931	17	Itagua	*	*			*
3749125	18	Campos Sales		*			*
3749475	19	Araripe	*				
3800256	20	Boa Viagem	*	*		*	
3800957	21	Pedra Branca		*		*	
3801036	22	Coroatá	*	*		*	
3801367	23	Uruqué	*	*		*	
3801441	24	Quixeramobim		*		*	
3802328	25	Boq. P. Brancas	*	*		*	
3802583	26	Carnaúbas	*	*		*	

Tabela A.3 - Estações Pluviométricas da Bacia do
Rio Jaguaribe
(continuação)

Código da Estação	nº	Nome da Estação	Série das Precipitações				
			1	2	3	4	5
3802699	27	Catita		*		*	
3803224	28	Morada Nova		*		*	
3803549	29	S.J.do Jaguaribe	*	*			
3810078	30	Mineirolândia	*	*		*	
3810574	31	Mombaca	*	*		*	
3810875	32	Catolé	*	*		*	
3811129	33	Senador Pompeu		*		*	
3811168	34	Itabatinga		*		*	
3811816	35	Ibicua		*		*	
3812285	36	Aç. Velame	*				
3812779	37	Jaguaribe		*			
3812917	38	Aç. N. Floresta		*			
3812937	39	Feiticeiro		*			
3813532	40	Aç. Ema	*	*			
3820026	41	Marruas	*				
3820369	42	Taboleiro Meio		*			
3820567	43	Flamengo	*	*			
3821207	44	Acopiara		*			
3821618	45	Suassurama	*				
3821742	46	Iguatu		*			
3821978	47	Varzea		*	*		
3822029	48	Curral Novo	*	*			
3822832	49	Icô		*	*		
3823107	50	Pereiro	*	*			
3823402	51	São Miguel		*			

Tabela A.3 - Estações Pluviométricas da Bacia do
Rio Jaguaribe
(continuação)

Código da Estação	nº	Nome da Estação	Série das Precipitações				
			1	2	3	4	5
3830023	52	Saboeiro		*			*
3830669	53	Cachoeira		*			*
3831239	54	Caipu	*	*	*		
3831543	55	Várzea Alegre		*	*		
3831587	56	Patos	*	*	*		
3832089	57	Barra do Juá		*	*		
3832361	58	Umari		*	*		
3832398	59	Açude Pilões	*	*	*		
3832507	60	L. Mangabeira		*	*		
3832809	61	Aurora		*	*		
3840356	62	Santana Cariri	*	*			*
3841046	63	Caririaçu	*				
3842254	64	Cuncas	*	*	*		
3842906	65	Brejo Santo	*	*	*		
3851146	66	Jardim	*	*	*		
3851399	67	Jati		*	*		
nº total de postos			37	60	15	20	9

Legenda:

1. Bacia do Jaguaribe (1948-1983)
2. Bacia do Jaguaribe (1946-1970)
3. Bacia do Salgado
4. Bacia do Banabuiú
5. Bacia do Jaguaribe II

**MATRIZES GENERICAS PARA VISUALIZAÇÃO DA DISPERSÃO
DOS DADOS NO ESPAÇO DOS ESTADOS I E J**

LIMITES DE CLASSE NO ESTADO J

1 - 0,01 - 1,00	8 - 15,01 - 20,00
2 - 1,01 - 2,00	9 - 20,01 - 25,00
3 - 2,01 - 3,00	10 - 25,01 - 30,00
4 - 3,01 - 4,00	11 - 30,01 - 35,00
5 - 4,01 - 5,00	12 - 35,01 - 40,00
6 - 5,01 - 10,00	13 - 40,01 - 45,00
7 - 10,01 - 15,00	14 - 45,01 - V.MAX

VALORES MAXIMOS DA PRECIPITAÇÃO

BACIA DO JAGUARIBE - 50,00 mm
 BACIA DO SALGADO - 50,00 mm
 BACIA DO BANABUIU - 42,00 mm
 BACIA DO JAGUARIBE II - 67,00 mm

Tabela A.4 - Matriz genérica para visualização dos dados no espaço dos estados i e j
(Bacia do Jaguaribe - série 1946-1970)

Intervalo de Classe (tempo : t-1) mm	Intervalo de Classe (tempo : t) mm														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	SOMA
45,01 - 46,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46,01 - 47,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47,01 - 48,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48,01 - 49,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49,01 - 50,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOMA	1423	643	400	292	246	704	288	118	42	16	4	1	0	0	4177

Tabela A.5 - Matriz genérica para visualização dos dados no espaço dos estados i e j
(Bacia do Salgado) (Continuação)

Intervalo de Classe (tempo : $t-1$) ■	Intervalo de Classe (tempo : t) ■														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	SOMA
15,01 - 16,00	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
16,01 - 17,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17,01 - 18,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18,01 - 19,00	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
19,01 - 20,00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
SOMA	768	402	285	241	186	600	290	152	76	28	16	7	4	3	3058

Tabela A.6 - Matriz genérica para visualização dos dados no espaço dos estados i e j
(Ria de Banabuiu)

Intervalo de Classe (tempo : t-1) mm	Intervalo de Classe (tempo : t) mm													SOMA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0,01 - 1,00	551	185	93	47	24	58	9	6	2	1	0	0	0	976
1,01 - 2,00	194	96	75	42	34	62	8	6	2	0	0	0	0	519
2,01 - 3,00	80	60	48	45	30	65	18	4	4	0	0	0	0	354
3,01 - 4,00	42	43	42	20	14	61	24	5	1	0	0	0	0	252
4,01 - 5,00	33	31	19	18	7	47	20	5	2	2	1	0	0	185
5,01 - 6,00	19	22	13	15	14	37	19	17	2	2	0	0	0	150
6,01 - 7,00	17	16	18	14	17	35	18	7	2	2	1	0	0	147
7,01 - 8,00	6	15	11	9	1	33	29	6	4	0	0	1	1	116
8,01 - 9,00	13	8	7	5	6	41	15	6	1	1	3	0	0	106
9,01 - 10,00	7	8	6	7	9	15	18	13	1	0	1	0	0	85
10,01 - 11,00	2	6	7	8	1	27	12	16	4	0	1	0	0	84
11,01 - 12,00	4	4	3	6	6	19	17	6	4	0	1	0	0	70
12,01 - 13,00	2	2	1	5	3	16	10	6	2	4	0	0	0	51
13,01 - 14,00	0	2	4	1	2	17	10	1	2	1	1	0	0	41
14,01 - 15,00	2	2	2	3	2	16	12	2	1	1	1	0	0	44
15,01 - 16,00	0	3	3	3	0	8	7	4	0	1	0	0	0	29
16,01 - 17,00	1	2	1	1	4	14	11	4	1	1	2	0	0	42
17,01 - 18,00	1	3	0	1	1	7	10	2	0	1	0	0	0	26
18,01 - 19,00	0	0	0	0	2	6	2	3	2	1	0	0	0	16
19,01 - 20,00	0	0	0	1	0	2	2	3	4	0	1	1	0	14
20,01 - 21,00	0	0	0	0	1	6	2	4	0	0	0	0	0	13
21,01 - 22,00	2	1	0	0	3	3	3	2	3	1	1	0	1	20
22,01 - 23,00	0	1	0	0	0	3	0	2	1	0	1	0	0	8
23,01 - 24,00	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2
24,01 - 25,00	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	4
25,01 - 26,00	0	0	2	2	0	2	1	3	0	0	0	0	0	10
26,01 - 27,00	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	3
27,01 - 28,00	0	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	5
28,01 - 29,00	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
29,01 - 30,00	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	3
30,01 - 31,00	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3
31,01 - 32,00	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	3
32,01 - 33,00	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
33,01 - 34,00	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
34,01 - 35,00	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	4
35,01 - 36,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36,01 - 37,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37,01 - 38,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38,01 - 39,00	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2
39,01 - 40,00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
40,01 - 41,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41,01 - 42,00	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2
SOMA	976	512	355	255	184	610	290	126	46	22	15	3	2	3396

Tabela A.7 - Matriz genérica para visualização dos dados no espaço dos estados i e j
(Bacia do Jaguaribe II, a montante de Corredores) (Continuação)

Intervalo de Classe (tempo : t-1)	Intervalo de Classe (tempo : t)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	SOMA
48,01 - 49,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49,01 - 50,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50,01 - 51,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51,01 - 52,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52,01 - 53,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53,01 - 54,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54,01 - 55,00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
55,01 - 56,00	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
56,01 - 57,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
57,01 - 58,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58,01 - 59,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59,01 - 60,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60,01 - 61,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61,01 - 62,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62,01 - 63,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63,01 - 64,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64,01 - 65,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65,01 - 66,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66,01 - 67,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
SOMA	460	302	243	190	168	462	199	103	43	20	17	6	1	5	2219

Tabela A.6 - Número total dos eventos no estado j (dia seguinte) correspondente
aos vários intervalos da precipitação no estado i (presente)
(Bacia do Jaguaribe série 1946-1970)

[illegible]

Tabela A.9 - Número total dos eventos no estado j (dia seguinte) correspondente aos vários intervalos da precipitação no estado i (Bacia do Salgado)

Limite Inferior da Classe a ₁ (mm)	Limite Superior da Classe no estado i (mm)									
	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁	a ₁
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
0,01	758	1154	1442	1687	1876	2035	2176	2301	2402	2479
1,01	394	683	928	1118	1276	1418	1542	1644	1721	1785
2,01	287	532	722	880	1022	1146	1248	1325	1389	1461
3,01	244	434	592	734	858	960	1037	1101	1173	1232
4,01	189	347	489	613	715	792	856	928	987	1040
5,01	158	300	424	526	603	667	739	798	851	894
6,01	141	265	367	444	508	580	639	692	735	767
7,01	124	226	303	367	439	498	551	594	626	672
8,01	101	178	242	314	373	426	469	501	547	583
9,01	77	141	213	272	325	368	400	446	482	500
10,01	64	136	195	248	291	323	369	405	423	445
11,01	72	131	184	227	259	305	341	359	381	403
12,01	59	112	155	187	233	269	287	309	331	348
13,01	53	96	128	174	210	228	250	272	289	301
14,01	43	75	121	157	175	197	219	236	248	262
15,01	32	78	114	132	154	176	193	205	219	230
16,01	45	81	99	121	143	160	172	186	197	205
17,01	36	54	76	98	115	127	141	152	160	168
18,01	18	40	62	79	91	105	116	124	132	138
19,01	22	44	61	73	87	98	106	114	120	123
20,01	22	39	51	65	76	84	92	98	101	104
21,01	17	29	43	54	62	70	76	79	82	85
22,01	12	26	37	45	53	59	62	65	68	73
23,01	14	25	33	41	47	50	53	56	61	65
24,01	11	19	27	33	36	39	42	47	51	54
25,01	8	16	22	25	28	31	36	40	43	44
26,01	7	13	16	19	22	27	31	34	35	38
27,01	6	9	12	15	20	24	27	28	31	33
28,01	3	6	9	14	18	21	22	25	27	29
29,01	3	6	11	15	18	19	22	24	26	26
30,01	3	8	12	15	16	19	21	23	23	23
31,01	5	9	12	13	16	18	20	20	20	23
32,01	4	7	8	11	13	15	15	15	18	19
33,01	3	4	7	9	11	11	11	14	15	15
34,01	1	4	6	8	8	8	11	12	12	12
35,01	3	5	7	7	7	10	11	11	11	11
36,01	2	4	4	4	7	8	8	8	8	9
37,01	2	2	2	5	6	6	6	6	7	7
38,01	0	0	3	4	4	4	4	5	5	5
39,01	0	3	4	4	4	4	5	5	5	6
40,00	3	4	4	4	4	5	5	5	6	7
41,00	1	1	1	1	2	2	2	3	4	4
42,00	0	0	0	1	1	1	2	3	3	3
43,00	0	0	1	1	1	2	3	3	3	3
44,00	0	1	1	1	2	3	3	3	3	3
45,00	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3
46,00	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2

Tabela A.9 - Número total dos eventos no estado j (dia seguinte) correspondente aos vários intervalos da precipitação no estado i (Bacia do Salgado)
(Continuação)

Limite Inferior da Classe a_i (mm)	Limite Superior da Classe no estado i (mm)									
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}
	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
17,00	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2
18,00	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
19,00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

122

APÊNDICE III
(PROGRAMAS DESENVOLVIDOS)

LISTA DE PROGRAMAS DESENVOLVIDOS

1. - M É D I A (Fortran)
2. - E V E N T O S (Fortran)
3. - T R A N S (Fortran)
4. - M O D E L O (Fortran)
5. - G A M M A (Fortran)
6. - H U (Fortran)
7. - O N D A (Fortran)

```

//CCTDECO1 JOE MSGCLASS=W
// EXEC  KATPCB,TIME=30
//FT01F001 DD UNIT=(TAPE,,DEFER),VOL=SER=RHD211,
// DCB=(RECFM=FB,LRECL=232,BLKSIZE=2320),LABEL=(1,BLP)
//FI06F001 DD SYSDUT=W,CUTILIM=0
//SYSIN DD  *
$JOB          GRANRIC,TIME=30,PAGES=100
$NOWARNING
      REAL JAN(36,31),MAR(36,31),MAI(36,31),JUN(36,31),FM(7700)
      DIMENSION FEV(36,29),ABR(36,30),DEZ(36,31),P(31),NCL(70),M(36)
      *LANC(36)
      INTEGER A(36),B(36),C(36),D(36),E(36),F(36),G(36)

C
C *****
C
C          P R O G R A M A   M E D I A
C
C *****
C  ESTE PROGRAMA CALCULA A PRECIPITACAO MEDIA DIARIA DE UMA BACIA
C  PELO METODO DA MEDIA ARITMETICA. CONSIDERA AS SEGUINTE VARIAVEIS
C  DE ENTRADA
C  NN = NUMERO DE POSTOS PLUVIOMETRICOS
C  IJ = NUMERO DE ANOS DA SERIE DE DADOS
C  IN = ANO DE INICIO DA SERIE
C  ND = NUMERO DE DIAS DA SERIE DE DADOS
C
C  OBS.  1. ESTE PROGRAMA SE* E* VALIDO PARA O ESTUDO DO PERIODO
C         CHUVOSO DE DEZEMBRO A JUNHO.
C         2. NO CALCULO DO NUMERO DE DIAS CONSIDERE PARA O ANO
C            BISEXTO 214 DIAS E PARA O NAO BISEXTO 213 DIAS.
C
C *****
C  SERIE - 1948/1982
C *****
      NA=8
      IJ=35
      IN=948
      ND=7464
      INICIO=IN

C
C  ZERA AS MATRIZES
      DO 1 K=1,IJ
      DO 2 I=1,31
      JAN(K,I)=0.
      MAR(K,I)=0.
      MAI(K,I)=0.
      JUN(K,I)=0.
      DEZ(K,I)=0.
2  CONTINUE
      A(K)=0
      B(K)=0
      C(K)=0
      D(K)=0
      E(K)=0
      F(K)=0
      G(K)=0
1  CONTINUE
      DO 3 K=1,IJ
      DO 4 I=1,29
      FEV(K,I)=0.

```

```

4 CONTINUE
3 CONTINUE
  DO 5 K=1,IJ
  DO 6 I=1,30
    ABR(K,I)=0.
6 CONTINUE
5 CONTINUE

```

C

C

```

  LE OS CODIGOS
  READ(5,7)(NCOD(J),J=1,NN)
7 FORMAT(I7)
  DO 20 J=1,NN
    K=1
    INICIO=IN
    DO 10 II=1,80000
      READ(1,15,END=200)ICOD,IAND,MES,(P(I),I=1,31)
15 FORMAT(I7,2X,I3,I2,31(F6.1,1X),1X)

```

C

C

```

  PROCURA O CODIGO NCOD(J) NA FITA
  IF(NCOD(J)-ICOD)25,35,10

```

C

C

```

  O CODIGO NAO FOI ENCONTRADO.EDITA MENSAGEM E PARA.

```

C

```

25 WRITE(6,30)NCOD(J)
30 FORMAT(15X,'O CODIGO-',J8,1X,'NAO EXISTE NA FITA OU NAO FOI DIGIT
  *DO CORRETAMENTE.')
```

C

C

```

  PROCURA O ANC NA FITA
35 IF(IAND-INICIO)40,42,26
26 INICIO=INICIO+1
  K=K+1
  IF(K-IJ)27,27,20
27 GO TO 35

```

C

C

```

  AINDA NAO ACHOU O ANC
40 GO TO 10

```

C

C

```

  ENCONTROU O ANC.VERIFICA QUAL O MES NA FITA.
42 IF(MES-6)45,45,43
43 IF(MES-12)40,44,40
44 MES=7
45 GO TO (55,60,65,70,75,80,85),MES

```

C

C

```

  O MES EH JANEIRO
55 N=31
  DO 56 I=1,N
56 JAN(K,I)=JAN(K,I)+P(I)
  A(K)=A(K)+1
  GO TO 10

```

C

C

```

  O MES EH FEVEREIRO
60 CALL EISEXT(N,I/LO)
  DO 64 I=1,N
64 FEV(K,I)=FEV(K,I)+P(I)
  B(K)=B(K)+1
  M(K)=K
  GO TO 10

```

C

C

```

  O MES EH MARCO

```

```

65 N=31
   DC 66 I=1,N
66 MAR(K,I)=MAR(K,I)+P(I)
   C(K)=C(K)+1
   GO TO 10

```

```

C
C   O MES EH ABRIL
70 N=30
   DC 74 I=1,N
74 ABR(K,I)=ABR(K,I)+P(I)
   D(K)=D(K)+1
   GO TO 10

```

```

C
C   O MES EH MAIO
75 N=31
   DC 76 I=1,N
76 MAI(K,I)=MAI(K,I)+P(I)
   E(K)=E(K)+1
   GO TO 10

```

```

C
C   O MES EH JUNHO
80 N=30
   DC 84 I=1,N
84 JUN(K,I)=JUN(K,I)+P(I)
   F(K)=F(K)+1
   GO TO 10

```

```

C
C   O MES EH DEZEMBRO
85 N=31
   DC 86 I=1,N
86 DEZ(K,I)=DEZ(K,I)+P(I)
   G(K)=G(K)+1
   K=K+1
   INICIO=INICIO+1
   IF(K-IJ)10,10,20
10 CONTINUE

```

```

C
C   TERMINOU DE PEGAR OS DADOS DE TODOS OS MESES E ANOS DO CODIGO
C   NCOB(IJ).FAZ O LOOP PARA PEGAR O CODIGO SEGUINTE.
20 CONTINUE

```

```

C
C   JA ACUMULOU OS DADOS DE TODOS OS POSTOS.AGORA CALCULA AS MEDIAS E
C   MANDA IMPRIMIR.

```

```

C   ALGUNS MESES DA SERIE DE DADOS APRESENTARAM INCONSISTENCIAS
C   E POR ISSO FORAM EXCLUIDOS DO CALCULO. OS COEFICIENTES DE
C   REFERENCIA DO NUMERO DE POSTOS UTILIZADOS FORAM MODIFICADOS
C   ATRAVES DA SUBROTINA COEFIC. O INDICE I DEFINE O ANO DA SE-
C   RIE QUE SUPREU ALTERNADOS.

```

```

I=3
CALL COEFIC(A,P,C,D,F,F,C,I)
I=4
CALL COEFIC(A,P,C,D,R,F,C,I)
WRITE(6,87)
87 FORMAT(BOX,'PRECIPITACOES MEDIAS DA SERIE DE 1948-1967')
J=1
DO 185 K=1,IJ
L=IN - 1 + K
WRITE(6,C2)L

```

```

88 FORMAT(1X,'ANC-1',I3)
C
C   CALCULA AS MEDIAS DE JANEIRO
DO 89 I=1,31
  JAN(K,I)=JAN(K,I)/A(K)
  PM(J)=JAN(K,I)
89 J=J+1
  WRITE(6,90)(JAN(K,I),I=1,15)
90 FORMAT(1X,'JANEIRO',/,1X,15F6.2)
  WRITE(6,95)(JAN(K,I),I=16,31)
95 FORMAT(1X,15F6.2)
C
C   CALCULA AS MEDIAS DE FEVEREIRO
M1=M(K)
DO 100 I=1,M1
  FEV(K,I)=FEV(K,I)/E(K)
  PM(J)=FEV(K,I)
100 J=J+1
  WRITE(6,101)(FEV(K,I),I=1,15)
101 FORMAT(1X,'FEVEREIRO',/,1X,15F6.2)
  WRITE(6,105)(FEV(K,I),I=16,M1)
105 FORMAT(1X,14F7.2)
C
C   CALCULA AS MEDIAS DE MARÇO
DO 110 I=1,31
  MAR(K,I)=MAR(K,I)/C(K)
  PM(J)=MAR(K,I)
110 J=J+1
  WRITE(6,115)(MAR(K,I),I=1,15)
115 FORMAT(1X,'MARÇO',/,1X,15F6.2)
  WRITE(6,120)(MAR(K,I),I=16,31)
120 FORMAT(1X,15F6.2)
C
C   CALCULA AS MEDIAS DE ABRIL
DO 125 I=1,30
  ABR(K,I)=ABR(K,I)/D(K)
  PM(J)=ABR(K,I)
125 J=J+1
  WRITE(6,125)(ABR(K,I),I=1,15)
130 FORMAT(1X,'ABRIL',/,1X,15F6.2)
  WRITE(6,135)(ABR(K,I),I=16,20)
135 FORMAT(1X,15F6.2)
C
C   CALCULA AS MEDIAS DE MAIO
DO 140 I=1,31
  MAI(K,I)=M/I(K,I)/E(K)
  PM(J)=MAI(K,I)
140 J=J+1
  WRITE(6,145)(MAI(K,I),I=1,15)
145 FORMAT(1X,'MAIO',/,1X,15F6.2)
  WRITE(6,150)(MAI(K,I),I=16,31)
150 FORMAT(1X,16F6.2)
C
C   CALCULA AS MEDIAS DE JUNHO
DO 155 I=1,31
  JUN(K,I)=JUN(K,I)/F(K)
  PM(J)=JUN(K,I)
155 J=J+1
  WRITE(6,155)(JUN(K,I),I=1,15)
160 FORMAT(1X,'JUNHO',/,1X,15F6.2)

```

```

      WRITE(6,165)(JUN(K,I),I=16,20)
165  FORMAT(1X,15F6.2)
C
C      CALCULA AS MEDIAS DE DEZEMBRO
      DO 170 I=1,31
      DEZ(K,I)=DEZ(K,I)/C(K)
      PM(J)=DEZ(K,I)
170  J=J+1
      WRITE(6,175)(DEZ(K,I),I=1,15)
175  FORMAT(1X,'DEZEMBRO',/,1X,15F6.2)
      WRITE(6,180)(DEZ(K,I),I=16,31)
180  FORMAT(1X,16F6.2)
185  CONTINUE
C
C      IMPRIME A SEQUENCIA DAS MEDIAS DIARIAS
      WRITE(6,202)
202  FORMAT(///)
      WRITE(6,182)(PM(J),J=1,ND)
182  FORMAT(1X,10F6.2)
C
C      IMPRIME OS COEFICIENTES DAS MEDIAS DIARIAS
      WRITE(6,201)
201  FORMAT(4X,23(1H-))
      WRITE(6,205)
205  FORMAT(5X,'ANO',38X,'MESES')
      WRITE(6,210)
210  FORMAT(12X,'JANEIRO',3X,'FEVEREIRO',4X,'MARCO',6X,'ABRIL',6X,'
      *MAIO',7X,'JUNHO',5X,'DEZEMBRO')
      WRITE(6,201)
      LANC(1)=1000+IA
      DO 220 I=1,IJ
      LANC(I)=LANC(I)+1-1
220  WRITE(6,215)LANC(I),A(I),B(I),C(I),D(I),E(I),F(I),G(I)
215  FORMAT(5X,14,5X,12,6(1X,12))
200  STOP
      END
C
C      VERIFICA SE O ANO EH BISEXTO
      SUBROUTINE BISEXTO(K,NANO)
      R=FLOAT(NANO)
      X=(R-904.)/4.
      L=INT(X)
      IF(L-X)190,195,190
195  N=29
      GO TO 198
190  N=28
198  RETURN
      END
C
C      SUBROTINA PARA ATRIBUICAO DO NUMERO DE POSTOS UTILIZADOS NO
C      CALCULO. N'EH O NUMERO DE POSTOS EXCLUIDOS NO ANO I.
      SUBROUTINE COEFIC(A,B,C,D,E,F,G,I)
      INTEGER A(30),B(30),C(30),D(30),E(30),F(30),G(30)
      READ(5,230)N
230  FORMAT(1X,I2)
      A(I)=A(I)-N
      B(I)=B(I)-N
      C(I)=C(I)-N
      D(I)=D(I)-N
      E(I)=E(I)-N

```

```
F(I)=F(I)-N  
G(I)=G(I)-N  
RETURN  
END
```

```
$ENTRY  
2891988  
3831239  
3831587  
3832398  
3841046  
3842254  
3842906  
3851146
```

```
DIMENSION P(5500),M(10)
REAL LSC(10),LIC,MAX,MIN
```

```
C
C *****
C *
C *          P R O G R A M A   E V E N T O S
C *
C *****
C *          ESTE PROGRAMA FOI DESENVOLVIDO PARA AUXILIAR
C *          NA ESCOLHA DOS INTERVALOS DE CLASSE DE UMA
C *          MATRIZ DE TRANSICAO SIMETRICA. CALCULA UMA
C *          TABELA INDICATIVA DO NUMERO DE EVENTOS NO
C *          ESTADO J (INTERVALO DE TEMPO PRESENTE), DADO
C *          O INTERVALO DE CLASSE NO ESTADO I (INTERVALO
C *          DE TEMPO ANTERIOR).
C *
C *          V A R I A V E I S
C *          P   - PRECIPITACAO MEDIA DIARIA
C *          N   - NUMERO DE DIAS DA SERIE DAS PRECIPITACOES
C *          LIC - LIMITE INFERIOR DA CLASSE NO ESTADO I
C *               (INTERVALO DE TEMPO ANTERIOR, I-1)
C *          LSC - LIMITE SUPERIOR DA CLASSE NO ESTADO I
C *          MAX - VALOR MAXIMO DA PRECIPITACAO MEDIA
C *          M   - NUMERO DE EVENTOS NO ESTADO J, DADO UM IN-
C *               TERVALO DE CLASSE NO ESTADO I
C *****
C
C          LE O NUMERO DE DIAS DA SERIE E O VALOR MAXIMO
C          READ(5,1)N,MAX
C          1 FORMAT(1X,14,1X,F5.2)
C
C          LE A SERIE DAS PRECIPITACOES
C          READ(5,2)(P(I),I=1,N)
C          2 FORMAT(1X,10(F6.2))
C
C          IMPRESSAO DO CABECALHO
C          WRITE(6,12)
C          12 FORMAT(2X,'LIMITE INFERIOR',23X,'AMPLITUDE DA CLASSE',/)
C          WRITE(6,18)
C          18 FORMAT(22X,'1',5X,'2',5X,'3',5X,'4',5X,'5',5X,'6',5X,'7',5X,'8',
C *              *5X,'9',4X,'10',/)
C
C          DEFINE A AMPLITUDE DAS CLASSES NO ESTADO I
C          LIC=0.01
C          30 K=1
C          LSC(K)=LIC + 1
C          M(K)=0
C
C          VERIFICA EM QUE CLASSE SE ENCONTRA O EVENTO
C          20 I=1
C          5 I=I+1
C          IF(I-N)14,14,200
C          14 J=I-1
C          IF(P(J).LE.LIC) GO TO 5
C          IF(P(J).GT.LSC(K)) GO TO 5
C          IF(P(I).LE.0.01) GO TO 5
C          M(K)=M(K)+1
C          GO TO 5
C          200 K = K + 1
C          IF(K.GT.10) GO TO 40
```

```
M(K)=0
LSD(K)=LSD(K-1) + 1
GC TC 20
40 WRITE(6,15) LIC, (P(K), K=1,10)
15 FORMAT(2X,F5.2,11X,10(2X,I4))
LIC=LIC + 1
IF(LIC.GT.MAX) GC TC 50
GO TC 30

C
C FIM DO CALCULO
50 STOP
END
```

```

C*****
C
C               PROGRAMA   T R A N S
C
C*****
C      ESTE PROGRAMA CALCULA A MATRIZ DE TRANSICAO,
C      A MATRIZ DAS FREQUENCIAS ABSOLUTAS E A MATRIZ
C      DAS PROBABILIDADES DE TRANSICAO ACUMULADAS
C      DE UMA CADEIA DE MARKOV. CONSIDERA AS SEGUIN-
C      TES VARIAVEIS
C
C      1. N      - NUMERO DE DIAS DA SERIE DE DADOS
C      2. P      - CADEIA DE MARKOV, NESTE CASO A PRECIPITACAO
C      3. KH      - NUMERO DE CLASSES DE FREQUENCIA DE HOJE(ESTADO J)
C      4. KC      - NUMERO DE CLASSES DE FREQUENCIA DE ONTEM(ESTADO I)
C      5. MAX     - VALOR MAXIMO DA PRECIPITACAO
C      6. M      - MATRIZ DAS FREQUENCIAS (ABSOLUTAS E RELATIVAS)
C      7. FREQ    - MATRIZ DAS PROBABILIDADES DE T. ACUMULADAS
C      8. LIC     - LIMITE INFERIOR DA CLASSE DO DIA ANTERIOR (ONTEM)
C      9. LSC     - LIMITE SUPERIOR DA CLASSE DO DIA ANTERIOR (ONTEM)
C      10. LIH    - LIMITE INFERIOR DA CLASSE DO DIA PRESENTE (HOJE)
C      11. LSH    - LIMITE SUPERIOR DA CLASSE DO DIA PRESENTE (HOJE)
C      12. S      - HIFEN
C      13. TOTAL - SOMA DE UMA COLUNA DA MATRIZ DE TRANSICAO
C      14. ISOMA - SOMA DAS FREQUENCIAS ABSOLUTAS DE UMA LINHA DA MATRIZ
C
C      **** RESTRICOES DO MODELO DE PREVISAO ****
C      1) CONSIDERA QUE NO DIA DA PREVISAO (TEMPO T-1) FOI OBSERVADO UM
C         VALOR NAO NULO
C      2) CONSIDERA QUE NO DIA SEGUINTE (TEMPO T) TAMBEM IRA CHOVER.
C
C *****
C
C      DIMENSION M(15,15),SOMA(15),X=(15,15),P(7500),TOTAL(15),
C      *FREQ(15,15),X1(15,15),ISOMA(15)
C      INTEGER H,C,S
C      REAL LS(15),LIC(15),LIH(15),LSC(15),LSH(15),MAX
C
C      LE C NUMERO DE DIAS DA SERIE E C VALOR MAXIMO
C      READ(5,1)N,MAX,S
C      1 FORMAT(1X,I4,1X,F6.2,1X,/)
C
C      LE AS PRECIPITACOES MEDIAS
C      READ(5,2)(P(I),I=1,N)
C      2 FORMAT(1X,10F6.2)
C
C      ENTRA COM O NUMERO DE CLASSES DE ONTEM E DE HOJE NA TELA
C      WRITE(7,17)
C      17 FORMAT(2X,'ENTRE COM O NUMERO DE CLASSES DE ONTEM',/)
C      READ(7,6)KC
C      6 FORMAT(12)
C      WRITE(7,18)
C      18 FORMAT(2X,'ENTRE COM O NUMERO DE CLASSES DE HOJE',/)
C      READ(7,6)KH
C
C      ENTRA COM OS LIMITES DAS CLASSES NA TELA
C      WRITE(7,10)
C      10 FORMAT(2X,'OS LIMITES DE CLASSES DEVEM ENTRAR NO FORMATO ABAIXO '
C      *,/, 'XX.XX - XX.XX',/)

```

```

WRITE(7,11)
11 FORMAT(2X,'LIMITES DE CLASSE DE ONTEM',/)
DO 7 L=1,KL
WRITE(7,9)L
9 FORMAT(2X,'LIMITES DA CLASSE',I2)
8 READ(7,3)LIC(L),S,LSO(L)
3 FORMAT(F5.2,A3,F5.2)
7 CONTINUE

C
C VERIFICA SE A MATRIZ EH SIMETRICA
WRITE(7,127)
127 FORMAT(2X,'A MATRIZ EH SIMETRICA .....',/,2X,'SE A RESPOSTA EH
*SIM DIGITE 001, SE EH NAO DIGITE 002')
READ(7,147)IRESF
147 FORMAT(I3)
GO TO (157,137),IRESF
157 DO 167 L=1,KC
LIH(L)=LIC(L)
167 LSH(L)=LSO(L)
GO TO 177

C
C A MATRIZ NAO EH SIMETRICA ENTRA COM OS LIMITES DE CLASSE DE HOJE
137 WRITE(7,12)
12 FORMAT(2X,'LIMITES DE CLASSE DE HOJE',/)
DO 15 L=1,KH
WRITE(7,9)L
15 READ(7,3)LIH(L),S,LSH(L)
15 CONTINUE

C
C IMPRIME MENSAGEM DE FIM DE LEITURA DOS DADOS
177 WRITE(7,600)
600 FORMAT(5X,'JA LEU TODOS OS DADOS')

C
C ZERA A MATRIZ DE TRANSICAO
DO 4 F=1,KH
DO 5 C=1,KC
5 MIC(F)=0.
TOTAL(F)=0.
4 CONTINUE

C
C VERIFICA AS ELSTRICCOES DO MODELO
I=1
13 I=I+1
IF(I-N)14,14,200
14 J=I-1
IF(P(J).LE.LIC(I)) GO TO 13
IF(P(J).GT.LSO(KC)) GO TO 12
IF(P(I).LE.O.O!) GO TO 13

C
C VERIFICA EM QUE CLASSE SE ENCONTRA A PRECIPITACAO DE ONTEM E A
PRECIPITACAO DE HOJE
L=1
CALL CLASSE(P,I,L,LSH,H)
L=1
CALL CLASSE(P,J,L,LSF,C)
100 MIC,H)=H(C,H) +1
GO TO 13

C
C CALCULA AS PROBABILIDADES DE TRANSICAO E AS SOMAS
200 DO 120 C=1,KC

```

```

      ISOMA(C)=C
120 SCMA(C)=C.
      DO 125 C=1,KC
      DO 130 H=1,KH
      XM(C,H)=M(C,H)
      SCMA(C)=XM(C,H)+SCMA(C)
130 ISOMA(C)=M(C,H) + ISOMA(C)
125 CONTINUE
      DO 135 C=1,KC
      DO 140 H=1,KH
140 XM(C,H)=XM(C,H)/SCMA(C)*100.
135 CONTINUE

C
C      CALCULA AS PROBABILIDADES DE TRANSICAO ACUMULADAS
      A=0.
      DO 365 C=1,KC
      DO 370 H=1,KH
      FREQ(C,H)=A + XM(C,H)
370 A=FREQ(C,H)
365 A=0.

C
C      IMPRIME OS LIMITES DAS CLASSES
      WRITE(6,225)
225 FORMAT(1H1,/,/,5X,'CLASSES DE FREQUENCIA DE ENTEN',/)
      WRITE(6,230)(L,LIC(L),S,LSC(L),L=1,KC)
230 FORMAT(5X,I2,2X,F5.2,AB,F5.2)
      WRITE(6,226)
226 FORMAT(1H1,/,/,5X,'CLASSES DE FREQUENCIA DE HOJE',/)
      WRITE(6,230)(L,LIF(L),S,LSH(L),L=1,KH)

C
C      IMPRIME A MATRIZ DAS FREQUENCIAS ABSOLUTAS
      WRITE(6,115)
115 FORMAT(///,40X,'MATRIZ DAS FREQUENCIAS ABSOLUTAS',/)
      WRITE(6,405)
405 FORMAT(5X,I24(1H-))
      WRITE(6,410)(L,L=1,KH)
410 FORMAT(5X,'ENTEN/HOJE',8X,I0(I2,6X), '      SOMA  ')
      WRITE(6,405)
      DO 415 C=1,KC
415 WRITE(6,420)LIC(C),S,LSC(C),(M(C,H),H=1,KH),ISOMA(C)
420 FORMAT(5X,F5.2,AB,F5.2,I0(14X,I4),I6,/)
      DO 425 C=1,KC
425 ISOMA(C)=0
      DO 430 H=1,KH
      DO 435 C=1,KC
435 ISOMA(H)=ISOMA(H)+M(C,H)
430 CONTINUE
      WRITE(6,405)
      LSCMA=0
      DO 450 H=1,KH
450 LSCMA= LSCMA + ISOMA(H)
      WRITE(6,440)(ISOMA(H),H=1,KH),LSCMA
440 FORMAT(5X,'SOMA ',11X,I5,I0(3X,I5))
      WRITE(6,405)

C
C      IMPRIME A MATRIZ DE TRANSICAO
      WRITE(6,455)
455 FORMAT(1H1,///,30X,'MATRIZ DAS PROBABILIDADES DE TRANSICAO',/)
      WRITE(6,235)
235 FORMAT(5X,I24(1H-))

```

```

      WRITE(6,145)((L,L=1,KH)
145  FORMAT(17X,'CONTEN/HOJE ',10(17X,12),/)
      WRITE(6,235)
      DO 155 C=1,KC
155  WRITE(6,160)L1C(C),S,LSC(0),(XM(C,H),H=1,KH)
160  FORMAT(15X,F5.2,A3,F5.2,10(13X,F6.2),/)
      DO 255 H=1,KH
      DO 270 C=1,KC
270  TOTAL(H)=TOTAL(H)+XM(C,H)
255  CONTINUE
      WRITE(6,235)
      WRITE(6,285)(TOTAL(H),H=1,KH)
285  FORMAT(15X,'TOTAL',8X,10(13X,F6.2))
      WRITE(6,235)

C
C   IMPRIME A MATRIZ DAS PROBABILIDADES DE TRANSICAO ACUMULADAS
      WRITE(6,395)
395  FORMAT(11H1,///,35X,'MATRIZ DAS PROBABILIDADES ACUMULADAS',/)
      WRITE(6,235)
      WRITE(6,236)
236  FORMAT(40X,'INTERVALES DE CLASSE DE ONTEM')
      WRITE(6,380)(L1C(L),S,LSC(1),L=1,KC)
380  FORMAT(15X,10(2X,F5.2,A3,F5.2))
      WRITE(6,235)
      DO 390 H=1,KH
390  WRITE(6,385)(FREQ(C,H),C=1,KC)
385  FORMAT(10(9X,F6.2))
      WRITE(6,235)

C
C   FIM DO PROGRAMA
400  STOP
      END

C
C   SUBROTINA PARA CALCULO DAS FREQUENCIAS DE TRANSICAO
      SUBROUTINE CLASSE(F,I,L,LS,R)
      INTEGER N
      DIMENSION P(7700)
      REAL LS(15)
180  IF(P(I)-LS(L))150,150,160
150  R=L
      GO TO 170
160  L=L+1
      GO TO 180
170  RETURN
      END

```

```

DIMENSION XI(30),P(30),PA(30),D(30),C(30),K(30),C(30)
*,FX(30),F(30),CC1(30),CC2(30),PR(5500)
INTEGER F(30),G(30),FC(30),GQ(30),H,C,S
REAL LIH(30),M1,M2,FH(30),LSH(30),N,LIC(30),LSC(30),MAX

```

```

*****

```

``` PROGRAMA M O D E L O ```

```

*****

```

```

ESTE PROGRAMA FAZ O AJUSTAMENTO DE DUAS DISTRIBUICOES DE
PROBABILIDADE, A DISTRIBUICAO GAMMA COM DOIS PARAMETROS
E A GUMBEL, AS LINHAS DE UMA DADA MATRIZ DE TRANSICAO. NO
CALCULO DOS PARAMETROS DA DISTRIBUICAO, MEDIA E DESVIO
PADRAO, EH UTILIZADO O METODO DOS MOMENTOS. OS TESTES DE
AJUSTAMENTO CONSIDERADOS SAO O DE KOLMOGOROV-SMIRNOV E O
DO QUI-QUADRADO. NO CALCULO DOS VALORES CRITICOS DO TESTE
DE KOLMOGOROV-SMIRNOV EH UTILIZADA A EQUACAO PARA UMA
AMOSTRA DE TAMANHO MAIOR DO QUE 50, SEGUNDO UM NIVEL DE
SIGNIFICANCIA IGUAL A 0,05 E A 0,10. PARA A APLICACAO DO
TESTE DO QUI-QUADRADO SAO CONSIDERADOS OS MESMOS NIVEIS DE
SIGNIFICANCIA E DEVE SER VERIFICADA A FREQUENCIA EM CADA
CLASSE (MAIOR OU IGUAL A 5).

```

```

SAO CONSIDERADAS AS SEGUINTE VARIAVEIS

```

```

NS - NUMERO DE DIAS DA SERIE
MAX - VALOR MAXIMO DA SERIE
PA - SERIE DAS PRECIPITACOES MEDIAS DIARIAS (CADEIA DE MARKOV)
KK - NUMERO DE CLASSES
LIH - LIMITE INFERIOR DA CLASSE DE HOJE (TEMPO T)
LSH - LIMITE SUPERIOR DA CLASSE DE HOJE (TEMPO T)
LIC - LIMITE INFERIOR DA CLASSE DE ONTEM (TEMPO T-1)
LSC - LIMITE SUPERIOR DA CLASSE DE ONTEM (TEMPO T-1)
CC1 - QUI-QUADRADO PARA UM NIVEL DE SIGNIFICANCIA IGUAL A 0,05
CC2 - QUI-QUADRADO PARA UM NIVEL DE SIGNIFICANCIA IGUAL A 0,10
F - FUNCAO DE PROBABILIDADE
N - TAMANHO DA AMOSTRA
M1 - MEDIA DA DISTRIBUICAO
M2 - DESVIO PADRAO DA DISTRIBUICAO
P - PROBABILIDADE DE TRANSICAO
PA - PROBABILIDADE DE TRANSICAO ACUMULADA
XI - PONTO MEDIO DA CLASSE
DELTA - INCREMENTO PARA RESOLUCAO DA INTEGRAL DA FUNCAO GAMMA
T - FUNCAO GAMMA
FH - FUNCAO DE PROBABILIDADE TECNICA ACUMULADA (GAMMA OU GUMBEL)
D - DIFERENCAS DO TESTE DE K-S
DKIT - VALOR CRITICO DO TESTE K-S
DMAX - DIFERENCA MAXIMA ENCONTRADA PELO TESTE
FX - FUNCAO DE PROBABILIDADE GAMMA
G - FREQUENCIA ESPERADA PELO CALCULO DA DISTRIBUICAO GAMMA
ALPHA - PARAMETRO DA DISTRIBUICAO GUMBEL E DA GAMMA
BETA - PARAMETRO DA DISTRIBUICAO GUMBEL E DA GAMMA
W - VARIAVEL REDUZIDA DA DISTRIBUICAO GUMBEL
FQ - FREQUENCIAS DE TRANSICAO AJUSTADAS EM NOVAS CLASSES
PARA O TESTE DO QUI-QUADRADO
GQ - FREQUENCIAS ESPERADAS PELA DISTRIBUICAO TECNICA
Q2 - QUI-QUADRADO
K1 - NUMERO DE GRAUS DE LIBERDADE DA DISTRIBUICAO

```

```

*****

```

```

LE O NUMERO DE DIAS DA SERIE, O VALOR MAXIMO E O SINAL DE HIPO-
TESE (15,155)LS,MAX,S

```

```

135 FORMAT(1X,14,1X,F5.2,1X,A1)
C
C      LE AS PRECIPITAÇÕES MEDIAS
      READ(5,132)(PR(I),I=1,NS)
132 FORMAT(1X,10F6.2)
C
C      LE O NUMERO DE CLASSES DE FREQUENCIA (MATRIZ QUADRADA)
      READ(5,1)KK
      1 FORMAT(I3)
C
C      LE OS INTERVALOS DE CLASSE DE HOJE(ESTADO J, TEMPO I-1)
      READ(5,2)(LIH(I),S,LSH(I),I=1,KK)
      2 FORMAT(F5.2,A3,F5.2)
C
C      LE OS VALORES CRITICOS DO QUI-QUADRADO
      READ(5,74)(QC1(I),I=1,20)
      74 FORMAT(10(F5.2,1X))
      READ(5,74)(QC2(I),I=1,30)
C
C      ENTRA COM O INTERVALO DE CLASSE DE ONTEM
610 WRITE(7,70)
      70 FORMAT(2X,'ENTRE COM O INTERVALO DE CLASSE DE ONTEM.',/,2X,'CASO
      *QUEIRA PARAR ENTRE COM 00.00 .')
      KC=1
      READ(7,71)LIC(KC),S,LSO(KC)
      71 FORMAT(F5.2,A3,F5.2)
      IF(LIC(KC).EQ.0) GO TO 4000
C
      WRITE(7,707)KC
      707 FORMAT(5X,'COMECOU PELA',I3,'VEZ')
C      ZERA A MATRIZ DE FREQUENCIA
      DO 539 H=1,KK
      539 F(H)=0.
C
C      VERIFICA AS RESTRIÇÕES DO MODELO
      I1=1
1300 I1=I1+1
      IF(I1-KS)1400,1400,200
1400 J1=I1-1
      IF(PR(J1)-LSO(KC))1500,1500,1300
1500 IF(PR(J1)-LIC(KC))1300,1600,1600
1600 IF(PR(I1).LE.0.01) GO TO 1300
C
C      VERIFICA EM QUE CLASSE SE ENCONTRA A PRECIPITAÇÃO DE HOJE
      L1=1
      CALL CLASSE(PR,I1,L1,LSH,H)
      F(H)=F(H) +1
      GO TO 1300
200 N=0
      DO 6 I=1,KK
      6 N=N+F(I)
      NUFEPC=N
      WRITE(7,5)NUFEPC
      5 FORMAT(2X,'O NUMERO DE DAOS DA AMOSTRA EH',I2)
C
C      CALCULA OS PONTOS MEDIOS
      DO 7 I=1,KK
      7 XI(I)=(LIH(I) + LSH(I) - 0.01)/2
C
C      CALCULA A MEDIA

```

```

      M1=C
      DO 8 I=1, KK
8      M1= M1 + XI(I)*F(I)
      M1=M1/N
C
C      CALCULA O DESVIO PADRAO
      M2=0
      DO 9 I=1, KK
9      M2= M2+ F(I)*(XI(I) - M1)**2
      M2= (M2/N-1)**0.5
C      WRITE(7,55)M1,M2
C 55  FORMAT(2X,'M1=',F8.4,/,2X,'M2=',F8.4)
C
C      CALCULA AS PROBABILIDADES DE TRANSICAO
      P(1)=F(1)/N
      PA(1)=P(1)
      DO 11 I=2, KK
      P(I)=F(I)/N
11  PA(I)=PA(I-1) + P(I)
C
      WRITE(7,69)
635  WRITE(7,23)
23  FORMAT(/,2X,'ESCOLHA UMA DAS DISTRIBUICOES ABAIXO APRESENTADAS',/,
      *2X,'E DIGITE O CODIGO INDICADO',/,2X,'DISTRIBUICAO GAMMA .....
      *..... CC1',/,2X,'DISTRIBUICAO GUMBEL .....
      *... CC2',/,2X,'NENHUMA DAS CPGES ..... CC3',/)
      WRITE(7,69)
      READ(7,4)ICCD
4      FORMAT(13)
      GO TO(78,73,43,99),ICCD
99  WRITE(7,76)
76  FORMAT(/,2X,'VOCE NAO DECIDIU CORRETAMENTE.REINICIALIZE.')
      GO TO 635
C
C      D I S T R I B U I C A O      G A M M A
C
C      CALCULA OS PARAMETROS DA DISTRIBUICAO, ALPHA E BETA
78  WRITE(7,777)
777  FORMAT(2X,'ENTRE COM O INCREMENTO PARA O CALCULO DA FUNCAO')
      READ(7,778)DELTA
778  FORMAT(F6.4)
      ALPHA=(M1/M2)**2
      BETA=(M2**2)/M1
C      WRITE(7,75)ALPHA,BETA
C 75  FORMAT(2X,'ALPHA=',F12.5,/,2X,'BETA=',F12.5)
C      CALCULO DA FUNCAO GAMMA T(K)
C      Y=1/(12*ALPHA)-(1/360*(ALPHA**3))-ALPHA
C      T=(2*3.14159/ALPHA)**0.50*(ALPHA**ALPHA)*EXP(Y)
C      T=GAMMA(ALPHA)
C      WRITE(7,60)T
C 60  FORMAT(2X,'T=',F8.4)
C
C      CALCULA AS PROBABILIDADES TECNICAS ACUMULADAS
      DO 83 I=1, KK
      WRITE(7,98)I
98  FORMAT(2X,'ENTREU NA SUBROTINA PELA ',I4,'VEZ',/)
      CALL PRCE(LSH,I,FX,ALPHA,BETA,DELTA)
      FW(I)=FW(I)/T

```

83 CONTINUE

```

C
C   CALCULA AS PROBABILIDADES TEORICAS ACUMULADAS EM CADA CLASSE
64 FX(1)=FW(1)
   DO 46 I=2, KK
     J=I-1
   46 FX(I)=FW(I)-FW(J)
C
C   CALCULA AS FREQUENCIAS ESPERADAS EM CADA CLASSE
   QZ=0
   DO 47 I=1, KK
     47 G(I)=FX(I)*N
     GO TO(670,680,690), ICCD
690 IF(CHAVE)670,680,670
C
C   IMPRIME OS RESULTADOS DA DISTRIBUICAO GAMMA
670 WRITE(6,15) LIC(KC), S, LSO(KG)
   15 FORMAT(////,30X,'TESTE DE AJUSTAMENTO DA DISTRIBUICAO GAMMA - DA
     *CIA DO SALGADO',///,43X,'INTERVALO DE ONTEM ',F5.2,A3,F5.2,///)
   WRITE(6,16)
   16 FORMAT(5X,105(1H-))
   WRITE(6,17)
   17 FORMAT(5X,'CLASSES',7X,'FREQUENCIA',4X,'PROBAB. DE',4X,'PROBAB. DE
     *',5X,'PROBABIL.',4X,'PROB. TEOR.',3X,'FREQUENCIA',/)
   WRITE(6,18)
   18 FORMAT(20X,'ABSOLUTA',6X,'TRANSICAO',4X,'TRANS.ACUM.',4X,
     *'TEORICA',7X,'ACUMULADA',4X,'ESPERADA',/)
   WRITE(6,19)
   WRITE(6,19)(1,F(I),P(I),PA(I),FX(I),FW(I),G(I),I=1, KK)
   19 FORMAT(17X,13,13X,13,9X,F6.4,9X,F6.4,8X,F6.4,8X,F6.4,8X,13)
   WRITE(6,16)
   WRITE(6,20) M1, M2
   20 FORMAT(///,5X,'PARAMETROS DA AMOSTRA',/,5X,'MEDIA',9X,'-',1X,
     *'M1=',F8.3,/,5X,'DESVIO PADRAO',1X,'-',1X,'M2=',F8.3,/)
   WRITE(6,21) ALPHA, BETA, T
   21 FORMAT(5X,'PARAMETROS DA DISTRIBUICAO',/,5X,'ALPHA=',2X,F6.4,/,5X,
     *'BETA=',2X,F6.4,/,5X,'T(ALPHA)=',F8.4)
C
C   ESCOLHE OS TESTES DE AJUSTAMENTO
710 WRITE(7,730)
730 FORMAT(2X,'DISTRIBUICAO GAMMA',/)
   WRITE(7,550)
550 FORMAT(2X,'VERIFIQUE QUAL DOS TESTES DE AJUSTAMENTO QUEM EFETUAR '
     *,//,2X,'TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV .....001',/,
     *2X,'TESTE DO QUI-QUADRADO .....002',/,
     *2X,'AMBOS OS TESTES .....003')
   READ(7,570) ITEST
570 FORMAT(I3)
580 GO TO(600,630,600), ITEST
   GO TO 580
C
C   T E S T E   D E   K O L M O G O R O V - S M I R N O V
C
600 DO 12 I=1, KK
   D(I)= FW(I) - PA(I)
   Q(I)= ABS(D(I))
   12 E(I)=Q(I)
   CALL MAXINC(KK,E,CMAX)
   DMAX=CMAX*100
   DCRIT=1.36/(N*.50)

```

```

DCRIT=DCRIT*100
C
C IMPRESSAO DOS RESULTADOS DO TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV
WRITE(6,24)
24 FORMAT(//////,5X,'***** RESULTADO DO TESTE DE KOLMOGOROV-SMIR
*NOV PARA UM NIVEL DE SIGNIFICANCIA IGUAL A 0.05 *****',//)
WRITE(6,97)
97 FORMAT(5X,25(1F-))
WRITE(6,860)
860 FORMAT(5X,'CLASSES',7X,'DIFERENCAS',/)
WRITE(6,97)
WRITE(6,865)(I,C(I),I=1,KK)
865 FORMAT(7X,13,11X,F6.4)
WRITE(6,97)
WRITE(6,25)DMAX,DCRIT
25 FORMAT(//,5X,'DMAX =',F5.2,/,5X,'DCRIT=',F5.2,//)
IF(DMAX - DCRIT)28,28,29
29 WRITE(6,27)
27 FORMAT(5X,'A HIPOTHESE HO DEVE SER REJEITADA, OU SEJA, A DISTRIBUICAO
*O NAO SE AJUSTA AOS DADOS DA AMOSTRA.',//)
GO TO 31
28 WRITE(6,30)
30 FORMAT(5X,'A DISTRIBUICAO SE AJUSTA BEM AOS DADOS DA AMOSTRA.',//)
C
C SAI DO TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV E VERIFICA SE HA OUTRO TESTE
C A FAZER
31 IF(ITERI.EQ.3) GO TO 630
GO TO 635
C
C D I S T R I B U I C A O G U M B E L
C
C CALCULA OS PARAMETROS DA DISTRIBUICAO, ALPHA E BETA
73 ALPHA=1.282/M2
BETA=M1 - 0.577/ALPHA
C
C CALCULA AS VARIAVEIS REDUZIDAS PARA OS LIMITES SUPERIORES DAS
C CLASSES
DO 1000 I=1,KK
W(I)=ALPHA*(LSH(I) - BETA)
1000 FW(I)=EXP(-EXP(-W(I)))
CHAVE=0
GO TO 64
C
C IMPRIME OS RESULTADOS DA DISTRIBUICAO GUMBEL
680 WRITE(6,815)LIC(KC),S,LSC(KC)
815 FORMAT(//////////,30X,'TESTE DE AJUSTAMENTO DA DISTRIBUICAO GUMBEL
* - BACIA DE SALGADO',//,43X,'INTERVALO DE CONFIANCA',F5.2,AS,F5.2,
*//)
WRITE(6,816)
816 FORMAT(5X,120(1F-))
WRITE(6,817)
817 FORMAT(5X,'CLASSES',7X,'FREQUENCIA',4X,'PROBAB. DE',4X,'PROBAB. DE
*',5X,'VARIÁVEL',4X,'PROBABIL.',4X,'PROB. TEOR.',3X,'FREQUENCIA',
*/)
WRITE(6,818)
818 FORMAT(20X,'ABSOLUTA',5X,'TRANSICAO',4X,'TRANS.ACUM.',4X,
*'REDUZIDA',5X,'TEORICA',6X,'ACUMULADA',5X,'ESPERADA',/)
WRITE(6,16)
WRITE(6,819)(I,F(I),P(I),PA(I),W(I),FW(I),G(I),I=1,KK)
819 FORMAT(7X,13,13X,13,9X,F6.4,9X,F6.4,5X,F8.5,6X,F6.4,8X,F6.4,7X,

```

```

*13)
  WRITE(6,16)
  WRITE(6,820)M1,M2
820 FORMAT(///,5X,'PARAMETROS DA AMOSTRA',/,5X,'MEDIA',9X,'-',/,1X,
  *M1=',F8.3,/,5X,'DESVIO PADRAO',1X,'-',/,1X,'M2=',F8.3,/)
  WRITE(6,821)ALPHA,BETA
821 FORMAT(5X,'PARAMETROS DA DISTRIBUICAO',/,5X,'ALPHA=',F8.4,/,5X,
  *BETA=',F8.4)
  WRITE(7,720)
720 FORMAT(2X,'DISTRIBUICAO GUMBEL',/)
  GO TO 710
C
C   VERIFICA SE O TESTE DO QUI-QUADRADO PODE SER REALIZADO
630 KONT=0
  DO 620 I=1,KK
    IF(G(I).GE.5) GO TO 620
    KONT=KONT+1
620 CONTINUE
  IF(KONT.GT.0.20*KK) GO TO 650
  GO TO 640
C
C   T E S T E   D E   Q U I - Q U A D R A D O
C
C   MOSTRA NA TELA OS VALORES DAS FREQUENCIAS PARA ALTERACAO
C   CASO OCORRA VALORES MENORES DO QUE 5.
C
650 WRITE(7,660)
660 FORMAT(2X,'PARA QUE O TESTE QUI-QUADRADO SEJA EFETUADO E',/,2X,
  *'NECESSARIO REAGRUPAR AS CLASSES',/)
  WRITE(7,49)
49 FORMAT(2X,'FREQUENCIAS ABSOLUTAS DE TRANSICAO',/)
  WRITE(7,48)(F(I),I=1,KK)
48 FORMAT(13(14),/,13(14))
  WRITE(7,67)
67 FORMAT(2X,'FREQUENCIAS ESPERADAS',/)
  WRITE(7,48)(G(I),I=1,KK)
  WRITE(7,50)KK
50 FORMAT(2X,'ENTRE COM O NOVO NUMERO DE CLASSES')
  READ(7,51)K1
51 FORMAT(12)
  WRITE(7,52)
52 FORMAT(2X,'ENTRE COM AS FREQUENCIAS DE TRANSICAO')
  READ(7,54)(FG(I),I=1,K1)
54 FORMAT(12)
  WRITE(7,53)
53 FORMAT(2X,'ENTRE COM AS FREQUENCIAS ESPERADAS PELA FUNCAO TEORICA')
  *)
  READ(7,54)(GG(I),I=1,K1)
C
C   CALCULA OS QUI-QUADRADOS
  Q2=0
  DO 56 I=1,K1
    A=FG(I)
    B=GG(I)
    Q(I)=(A-B)**2/B
56 Q2= Q2 +Q(I)
  GO TO 770
640 Q2=C
  K1=KK
  DO 645 I=1,KK

```

```

      FC(I)=F(I)
      GC(I)=G(I)
      Q(I)=(FC(I)-GC(I))*2/GC(I)
645 Q2= Q2 +Q(I)
C
C      IMPRIME OS RESULTADOS DO TESTE QUI-QUADRADO
770 WRITE(6,32)
32  FORMAT(///,2X,'***** RESULTADO DO TESTE DO QUI-QUADRADO **
*****',//)
      WRITE(6,69)
69  FORMAT(5X,70(1H-))
      WRITE(6,62)
62  FORMAT(5X,'CLASSES',7X,'FREQUENCIA',7X,'FREQUENCIA',5X,'Q1',/,
*20X,'OBSERVADA',6X,'ESPERADA',5X,'QUADRADO',/)
      WRITE(6,69)
      WRITE(6,61)(I,FC(I),GC(I),Q(I),I=1,K1)
61  FORMAT(7X,I3,13X,I3,12X,I3,12X,F8.4)
      WRITE(6,69)
      WRITE(6,77)
77  FORMAT(///)
      NI=K1-3
      WRITE(6,33)QC1(NI),QC2(NI),Q2
33  FORMAT(2X,'VALOR CRITICO PARA UM NIVEL DE SIGNIFICANCIA IGUAL A 0.
*05 ',F8.2,/,2X,'VALOR CRITICO PARA UM NIVEL DE SIGNIFICANCIA IGUAL
* A 0.10 ',F8.2,/,2X,'VALOR DO QUI-QUADRADO ENCONTRADO PELO TESTE
* ',F8.2,//)
      IF(Q2-QC1(NI))34,34,35
34  WRITE(6,36)
36  FORMAT(2X,'A DISTRIBUICAO SE AJUSTA AOS DADOS DA AMOSTRA PARA UM N
*IVEL DE SIGNIFICANCIA IGUAL A 0.05.',/)
      GO TO 42
35  WRITE(6,37)
37  FORMAT(2X,'A DISTRIBUICAO NAO SE AJUSTA AOS DADOS DA AMOSTRA PARA U
*UM NIVEL DE SIGNIFICANCIA IGUAL A 0.05.',/)
42  IF(Q2-QC2(NI))38,38,39
38  WRITE(6,40)
40  FORMAT(2X,'A DISTRIBUICAO SE AJUSTA AOS DADOS DA AMOSTRA PARA UM N
*IVEL DE SIGNIFICANCIA IGUAL A 0.10.',/)
      GO TO 44
39  WRITE(6,41)
41  FORMAT(2X,'A DISTRIBUICAO NAO SE AJUSTA AOS DADOS DA AMOSTRA PARA
*UM NIVEL DE SIGNIFICANCIA IGUAL A 0.10.')
```

C

C VOLTA AO MENU DAS DISTRIBUICOES

44 GO TO 635

C VOLTA PARA COMECAR NOVAMENTE

43 GO TO 610

C

C TERMINA OS CALCULOS

4000 STOP

END

C

C SUBROTINA PARA CALCULO DO VALOR MAXIMO

SUBROUTINE MAXIMO(KK,F,DMAX)

REAL D(30),C(30),E(30)

I=1

M=KK-1

DO 310 I=1,M

J=I+1

GO TO 314

```

315 J=J+1
314 IF(J-KK)316,316,310
316 IF(E(J)-E(I))320,320,315
320 C(I)=E(I)
    E(I)=E(J)
    E(J)=C(I)
    GO TO 315
310 CONTINUE
    DMAX=E(KK)
    RETURN
    END

```

```

C
C   SUBROTINA PARA CALCULO DA FUNCAO DE PROBABILIDADE GAMMA
C   SUBROUTINE PROB(LS,I,FW,ALPHA,BETA,DELTA)
C   REAL LS(30),FW(30),NSUM
C   DEFINICAO DO INTERVALO DE INTEGRACAO
    XINIC=0.0
    XFINA=LS(I)
    USUM=0.0
C   DEFINICAO DO NUMERO INICIAL DE INTERVALOS
    N=10
C   CALCULO DO COMPRIMENTO DO INTERVALO
250 NN=N-1
    H=(XFINA-XINIC)/N
C   APLICACAO DA REGRA DO TRAPEZIO
    NSUM=XINIC
    DO 150 J=1,NN
        X=XINIC + J*H
        Y=1/BETA*((X/BETA)**(ALPHA-1))*EXP(-X/BETA)
150 NSUM=NSUM+2*Y
        X=XFINA
        Y=1/BETA*((X/BETA)**(ALPHA-1))*EXP(-X/BETA)
        NSUM=NSUM+Y
    NSUM=C.5*H*NSUM
C   TESTE PARA A PRECISAO
    IF(ABS(OSUM-NSUM)-DELTA)100,100,102
102 OSUM=NSUM
C   AUMENTO DO NUMERO DE INTERVALOS
    N=2*N
    GO TO 250
100 FW(I)=NSUM
    RETURN
    END

```

```

C
C   SUBROTINA PARA CALCULO DAS FREQUENCIAS
C   SUBROUTINE CLASSE(P,I,L,LS,P)
C   INTEGER I
C   DIMENSION P(7700)
C   REAL LS(15)
180 IF(P(I)-LS(L))155,155,160
155 R=L
    GO TO 170
160 L=L+1
    GO TO 180
170 RETURN
    END

```

```
REAL LS(100),FW(100)
```

```

C *****
C
C          P R O G R A M A   G A M M A
C
C *****
C  ESTE PROGRAMA CALCULA A FUNCAO DE PROBABILIDADE GAMMA COM
C  DOIS PARAMETROS PARA 70 PONTOS. SAO CONSIDERADAS AS SEGUIN-
C  TES VARIAVEIS
C  LS      - VALOR DA ABCISSA
C  ALPHA   - FATOR DE ESCALA DA DISTRIBUICAO
C  BETA    - FATOR DE FORMA DA DISTRIBUICAO
C  GAMMA   - FUNCAO GAMMA
C  DELTA   - INTERVALO DE PRECISAO PARA A INTEGRACAO
C  FW      - FUNCAO DE PROBABILIDADE GAMMA ACUMULADA
C *****
C  CALCULA AS ABCISSAS DOS PONTOS
C  DO 5 I =1,40
C 5  LS(I)= FLOAT(I)/5
C  LS(I-1)= 8
C  DO 7 I= 41,70
C 7  LS(I) = LS(I-1) + 2
C
C  ENTRA COM OS PARAMETROS ALPHA,BETA E GAMMA
C  WRITE(7,3)
C 3  FORMAT(2X,'ENTRE COM OS VALORES DOS PARAMETROS ALPHA, BETA, GAMMA
C  *E DELTA NO FORMATO ABAIXO ',/, 'XX.XXXX XX.XXXX XX.XXXX X.XXXX')
C  READ(7,1)ALPHA,BETA,GAMMA,DELTA
C 1  FORMAT(F7.4,2X,F7.4,2X,F7.4,2X,F6.4)
C
C  CALCULA AS PROBABILIDADES GAMMA
C  DO 6 I=1,70
C  CALL PROB(LS,I,FW,ALPHA,BETA,DELTA)
C  C=LS(I)
C  FW(I) = FW(I)/GAMMA
C
C  IMPRIME OS VALORES DA FUNCAO
C  WRITE(7,4)C,FW(I)
C 4  FORMAT(2X,'FW(',F6.2,')=',F8.4)
C
C  TERMINA O PROGRAMA
C  STOP
C  END
C
C  SUBROTINA PARA CALCULO DA FUNCAO DE PROBABILIDADE GAMMA
C  SUBROUTINE PROB(LS,I,FW,ALPHA,BETA,DELTA)
C  REAL LS(100),FW(100),NSUP
C  DEFINICAO DO INTERVALO DE INTEGRACAO
C  XINIC=0.0
C  XFINA=LS(I)
C  CSUM=0.0
C  DEFINICAO DO NUMERO INICIAL DE INTERVALOS
C  N=10
C  CALCULO DO COMPRIMENTO DO INTERVALO
C 250 NN=N-1
C  H=(XFINA-XINIC)/N
C  APLICACAO DA REGRA DO TRAPEZIO
C  NSUP=XINIC
C  DO 150 J=1,NN

```

```

      X=XINIC + J*H
      Y=(1/BETA)*[(1/BETA*X)**(ALPHA-1)]*EXP(-X/BETA)
150  NSUM=NSUM+2*Y
      X=XFINA
      Y=(1/BETA)*[(1/BETA*X)**(ALPHA-1)]*EXP(-X/BETA)
      NSUM=NSUM+Y
      NSUM=C.5*H*NSUM
C    TESTE PARA A PRECISAO
      IF(ABS(CSUM-NSUM)-DELTA)100,100,102
102  CSUM=NSUM
C    AUMENTO DO NUMERO DE INTERVALOS
      N=2*N
      GO TO 250
100  FW(I)=NSUM
      RETURN
      END

```

```

DIMENSION P1(20),P2(20),Q1(20),Q2(20),Y1(20),Y2(20),G(20),H(20)
INTEGER T
C *****
C*
C*          P R O G R A M A   H U
C*
C *****
C*  ESTE PROGRAMA CALCULA O HIDROGRAMA UNITARIO NAO LINEAR DE
C*  UMA BACIA COM BASE NA SERIE DE VOLTERRA. PARA ISSO SAO
C*  NECESSARIOS DOIS HIDROGRAMAS UNITARIOS DE PEQUENA DURACAO.
C*  SAO CONSIDERADAS AS SEGUINTE VARIAVEIS
C*  P1 - PRECIPITACAO CORRESPONDENTE AO PRIMEIRO EVENTO
C*  P2 - PRECIPITACAO CORRESPONDENTE AO SEGUNDO EVENTO
C*  Q1 - VAZAO CORRESPONDENTE AO PRIMEIRO EVENTO
C*  Q2 - VAZAO CORRESPONDENTE AO SEGUNDO EVENTO
C*  QB1 - VAZAO BASICA DO PRIMEIRO EVENTO
C*  QB2 - VAZAO BASICA DO SEGUNDO EVENTO
C*  Y1 - ESCOAMENTO DIRETO RESULTANTE DO PRIMEIRO EVENTO
C*  Y2 - VAZAO BASICA RESULTANTE DO SEGUNDO EVENTO
C*  A1 - PRECIPITACAO EFETIVA (PRIMEIRO EVENTO)
C*  A2 - PRECIPITACAO EFETIVA (SEGUNDO EVENTO)
C*  H - FUNCAO DE PRIMEIRA ORDEM DO H.U.
C*  G - FUNCAO DE SEGUNDA ORDEM DO H.U.
C*  T - NUMERO DE DIAS DE CADA EVENTO
C *****
C
C  LE O NUMERO DE DIAS DOS EVENTOS
C  READ(5,1)T
C  1 FORMAT(2X,12)
C
C  LE AS PRECIPITACOES E VAZOS DOS DOIS EVENTOS
C  READ(5,2)(P1(I),I=1,T)
C  2 FORMAT(10(1X,F8.3))
C  READ(5,2)(Q1(I),I=1,T)
C  READ(5,2)(P2(I),I=1,T)
C  READ(5,2)(Q2(I),I=1,T)
C
C  LE AS VAZOS BASICAS
C  READ(5,3)QB1,QB2
C  3 FORMAT(2(1X,F8.3))
C  A1=0
C  A2=0
C
C  CALCULA O ESCOAMENTO DIRETO E AS PRECIPITACOES EFETIVAS
C  DO 5 I=1,T
C  Y1(I)= Q1(I) - QB1
C  Y2(I)= Q2(I) - QB2
C  A1 = A1 + Y1(I)
C  5 A2= A2 + Y2(I)
C
C  CALCULA AS FUNCOES DE PRIMEIRA E SEGUNDA ORDEM
C  DO 10 I=1,T
C  G(I) = (Y1(I)/A1 - Y2(I)/A2)/(1/A1 - 1/A2)
C  10 H(I) = (Y1(I)/A1**2 - Y2(I)/A2**2)/(1/A1 - 1/A2)
C
C  IMPRIME OS DADOS E RESULTADOS
C  WRITE(6,12)
C  12 FORMAT(44X,'TABELA 1')
C  WRITE(6,10)
C  10 FORMAT(5X,124(1F-))

```

```

WRITE(6,13)
13 FORMAT(31X,'EVENTO 1',32X,'EVENTO 2')
WRITE(6,14)
14 FORMAT(10X,'TEMPC',4X,'P1',8X,'Q1',8X,'QB1',7X,'Y1',8X,'P2',8X,
*'Q2',7X,'QB2',8X,'Y2')
WRITE(6,15)
15 FORMAT(19X,'MM',8X,'MM',8X,'MM',8X,'MM',8X,'MM',8X,'MM',8X,'MM',
*8X,'MM')
WRITE(6,16)
DO 20 I=1,T
20 WRITE(6,17)I,P1(I),Q1(I),QB1,Y1(I),P2(I),Q2(I),QB2,Y2(I)
17 FORMAT(11X,I2,8(4X,F6.3))
WRITE(6,16)
WRITE(6,18)
18 FORMAT(//,15X,'TABELA 2')
WRITE(6,22)
WRITE(6,19)
19 FORMAT(10X,'TEMPC',3X,'F(T)',6X,'G(T)')
WRITE(6,22)
DO 25 I=1,T
25 WRITE(6,21)I,H(I),G(I)
21 FORMAT(11X,I2,4X,F6.3,4X,F6.3)
WRITE(6,22)
22 FORMAT(5X,25(1H-))
C
C FIM DO PROGRAMA
STOP
END

```

```

DIMENSION P(30),Q(30),G(15),H(15),PE(30)
*,Y(30,30),E(30,30),Q1(30),Q2(30),V(30),R(30,30)
INTEGER D,T
REAL N(30),NE(30)

```

```

C
C*****

```

```

C
C      P R O G R A M A   C N D A
C

```

```

C*****

```

```

C      ESTE PROGRAMA CALCULA OS HIDROGRAMAS GERADOS POR UMA SERIE
C      DAS PRECIPITACOES OBSERVADAS NA BACIA E OUTRA SERIE DAS
C      PRECIPITACOES ESTIMADAS POR UM MODELO DE PREVISAO DE CHUVA
C      (MODELO DE MARKOV). PARA ISSO DEVEM SER CONHECIDAS AS FUNCOES
C      DE PRIMEIRA E SEGUNDA ORDEM DO HIDROGRAMA UNITARIO (h.u.) NA C
C      LINEAR . SAO CONSIDERADAS AS SEGUINTE VARIAVEIS
C      D-      NUMERO DE DIAS DA SERIE DE EVENTOS
C      T-      NUMERO DE ORDENADAS DO H.U. NA C LINEAR
C      FI-     COEFICIENTE DE DEFLUVIO DA BACIA
C      H-      FUNCAO DE PRIMEIRA ORDEM DO H.U.
C      G-      FUNCAO DE SEGUNDA ORDEM DO H.U.
C      P-      PRECIPITACAO OBSERVADA
C      Q-      VAZAO OBSERVADA
C      PE-     PRECIPITACAO ESTIMADA PELO MODELO
C      N-      PRECIPITACAO EFETIVA OBSERVADA
C      NE-     PRECIPITACAO EFETIVA ESTIMADA
C      Y-      VAZAO RESULTANTE DE UMA PRECIPITACAO OBSERVADA
C      E-      VAZAO RESULTANTE DE UMA PRECIPITACAO ESTIMADA
C      Q1-     VAZAO RESULTANTE DA SUPERPOSICAO DAS ONDAS DE VAZAO
C              ESTIMADAS (E)
C      Q2-     VAZAO RESULTANTE DA SUPERPOSICAO DAS ONDAS DE VAZAO
C              OBSERVADAS (Y)

```

```

C *****

```

```

C      LE O NUMERO DE DIAS DA SERIE, O NUMERO DE DIAS DO H.U. E O
C      COEFICIENTE DE DEFLUVIO
C      READ(5,1)D,T,FI,IEST
1  FORMAT(1X,12,1X,12,1X,F5.3,1X,12)
      K=0

```

```

C      LE AS FUNCOES DE PRIMEIRA E SEGUNDA ORDEM DO H.U.
C      READ(5,2)(P(I),I=1,T)
C      READ(5,2)(G(I),I=1,T)
2  FORMAT(10(F7.3))

```

```

C      LE A PRECIPITACAO OBSERVADA E A PRECIPITACAO ESTIMADA
C      READ(5,2)(P(J),J=1,D)
500 K = K + 1
      IF(K - IEST)501,501,502
501 READ(5,2)(PE(J),J=1,D)

```

```

C      CALCULA AS PRECIPITACOES EFETIVAS
C      DE 5 J=1,D
C      NE(J)=PE(J)*FI
C      N(J)=P(J)*FI
5  CONTINUE

```

```

C      IMPRIME O CABECALHO
C      WRITE(6,0)FI

```

```

6 FORMAT(5X,'COEFICIENTE DE DEFLUVIDO = ',F5.3, '/')
WRITE(6,9)
9 FORMAT(33X,'TABELA 1',/)
WRITE(6,50)
WRITE(6,11)
11 FORMAT(15X,'P(MM)',5X,'P*(MM)',4X,'N(MM)',5X,'N*(MM)')
WRITE(6,50)
DO 12 J=1,D
12 WRITE(6,8)P(J),PE(J),N(J),NE(J)
8 FORMAT(10X,5(3X,F7.2))
WRITE(6,50)

```

C

C

```

CALCULA AS ONDAS DE VAZAO PELO H.U. NAO LINEAR
DO 15 J=1,D
DO 20 I=1,T
E(J,I)=NE(J)*H(I) + (NE(J)**2)*G(I)
IF(E(J,I))17,18,18
17 E(J,I)=0.
18 Y(J,I)= N(J)*H(I) + (N(J)**2)*G(I)
IF(Y(J,I))19,20,20
19 Y(J,I)=0.
20 CONTINUE
15 CONTINUE
50 FORMAT(5X,70(1H-))
L=D+T-1
CALL ONDA(G1,E,L,T,C)
CALL ONDA(G2,Y,L,T,C)
WRITE(6,51)
51 FORMAT(///,5X,70(1H-))
WRITE(6,25)
26 FORMAT(7X,'TEMPO',2X,'ONDA DE VAZAO GERADA A PARTIR',2X,'ONDA DE '
*, 'VAZAO GERADA A PARTIR',/,7X,'(DIA)',5X,'DA PRECIPITACAO ESTIMADA'
*,7X,'DA PRECIPITACAO RESERVADA')
WRITE(6,50)
WRITE(6,23)(1,G1(I),G2(I),I=1,L)
23 FORMAT(8X,12,15X,F8.4,33X,F8.4)
WRITE(6,50)
GO TO 500

```

L

```

502 STOP
END

```

C

C

```

SUBROTINA PARA O CALCULO DA VAZAO
SUBROUTINE ONDA(V,E,L,T,C)
DIMENSION V(30),R(30,30),G1(30),G2(30),Y(30,30),E(30,30)
INTEGER T,D
DO 320 K=1,L
320 V(K)=0.
DO 350 K=1,L
DO 100 J=1,K
J=K-1+1
IF(1.LE.D) GO TO 900
R(I,J)=0.
900 IF(J-T)65,65,60
60 GO TO 100
65 V(K)=R(I,J)+V(K)
WRITE(6,800)I,J,K,V(K)
800 FORMAT(2X,'I=',12,2X,'J=',12,2X,'V(',12,')=',F10.4)
100 CONTINUE
350 CONTINUE

```

RETURN
END