ANÁLISE DA QUANTIDADE E DISTRIBUIÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA REGIÃO DE JABOTICABAL - SP

SILVIO LUÍS BOTTINO DE VASCONCELLOS

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. ROMISIO GERALDO BOUHID ANDRÉ

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração Agrometeorologia.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Fevereiro - 1998

**ANÁLISE DA QUANTIDADE E DISTRIBUIÇÃO
PLUVIOMÉTRICAS NA REGIÃO DE JABOTICABAL - SP**

SILVIO LUÍS BOTTINO DE VASCONCELLOS

Aprovada em: 18/05/98

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Romísio Geraldo Bouhid André

FCAVJ/UNESP

Prof. Dr. Vicente de Paula Pereira

FCAVJ/UNESP

Prof. Dr. Valter Barbieri

ESALQ/USP

Prof. Dr. RÔMÍSIO GERALDO BOUHID ANDRÉ
Orientador

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Vasconcellos, Silvio Luís Bottino de

Análise da quantidade e distribuição pluviométricas na região de Jaboticabal - SP /
Silvio Luís Bottino de Vasconcellos. - - Piracicaba, 1998.
63 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998.
Bibliografia.

1. Chuva 2. Condição seca 3. Deficiência hídrica 4. Meteorologia agrícola 5.
Pluviometria 6. Seca I. Título

CDD 630.2515

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas me ajudaram na realização deste trabalho, com conselhos, sugestões e estímulo.

Agradeço ao Prof. Dilermando, Prof^ª. Elza e Prof. Valter pelas sugestões e críticas, e especialmente ao Prof. Vicente de Paula Pereira pelo intenso apoio bibliográfico e inestimável conhecimento computacional compartilhado durante a execução deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Romisio Geraldo Bouhid André, pela orientação e amizade, demonstrados no decorrer deste período de árdua tarefa.

HOMENAGEM

Aos meus pais, com quem pude contar nos momentos bons e não tão bons em minha vida e aos meus avós e tia Dita, que sempre me acolheram e me aconselharam em todos momentos, nesta jornada.

À minha esposa Elvira e a nossa filhinha Marina, devo todo o empenho e esforço na realização deste.

ÍNDICE

Página

RESUMO -----	v
SUMMARY -----	vii
1. INTRODUÇÃO -----	1
2. REVISÃO DE LITERATURA -----	3
3. MATERIAL E MÁTODOS -----	9
3.1. OCORRÊNCIA DE CHUVA-----	11
3.2. QUANTIDADE DE CHUVA -----	14
3.3. SEQUÊNCIA DE DIAS SECOS - BALANÇO HÍDRICO -----	18
3.4. CHUVAS INTENSAS -----	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	23
4.1. Distribuição anual das chuvas e dos dias com chuva -----	23
4.2. Sequências de dias com ou sem chuva -----	24
4.3. Distribuição da quantidade de chuva nos dias com chuva -----	35
4.4. Sequências de dias secos -----	41
4.5. Ajuste ao modelo de chuvas intensas -----	47
5. CONCLUSÕES -----	51
6. REFERÊNCIAS BILBIOGRÁFICAS -----	54
APÊNDICE -----	60

ANÁLISE DA QUANTIDADE E DISTRIBUIÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA REGIÃO DE JABOTICABAL - SP

Autor: SILVIO LUIS BOTTINO DE VASCONCELLOS

Orientador : ROMISIO G. BOUHID ANDRÉ

RESUMO:

Ajustou-se um modelo para descrever a chuva diária da região de Jaboticabal-SP, em termos de sua quantidade e da ocorrência de dias sem ou com chuva e de dias secos. Definiu-se dias secos como aqueles onde o armazenamento de água no solo, de acordo com o balanço hídrico, se igualou ou ficou aquém de um certo valor crítico condicionado pela demanda atmosférica, e dias sem chuva como aqueles em que a altura pluviométrica fica aquém do valor limite de 1 mm..

Para o ajuste da ocorrência de seqüências de dias com ou sem chuva iniciadas nos 31 dias seguintes a uma determinada data, com base em um histórico de 24 anos de informações, testou-se as seguintes funções de distribuição de probabilidade: Geométrica; Logarítmica e Binomial Negativa Truncada, onde demonstrou-se a superioridade desta última neste tipo de análise.

A quantidade de chuva considerada em um conjunto de 30 valores diários seguintes a uma determinada data, foi bem descrita pela distribuição Gama, onde o parâmetro de forma γ foi considerado constante apenas para períodos de 31 dias.

A adequação de um modelo climatológico para caracterização da frequência de dias secos com diferentes durações, para duas culturas cultivadas na região, mostrou-se satisfatória. O valor do armazenamento crítico foi estabelecido considerando-se características físicas do solo, profundidade efetiva do sistema radicular e evapotranspiração.

Pela análise das precipitações máximas observadas, utilizando-se de registros históricos para a região de Jaboticabal, através da distribuição assintótica de extremos do tipo I para séries de máximos de Gumbel, pela metodologia de séries anuais, obteve-se as curvas Intensidade-Duração-Frequência, assim como uma equação que relaciona chuvas máximas com sua frequência de ocorrência.

RAINFALL AMOUNT AND DISTRIBUTION ANALYSIS IN JABOTICABAL, SP REGION

Author: Silvio Luís B. de Vasconcellos

Adviser : Romisio G. Bouhid André

SUMMARY

A model adjusted to describe the daily rainfall at Jaboticabal region, São Paulo state, considering its amount and the occurrence of days without or with rain, and of dry days. Dry days defined as that where soil water storage, by water balance, was less than or equal to a critical value conditioned by the atmospheric demand.

In order to adjust the occurrence of sequences of rainy days and dry days for 31 days subsequent a given date, by using 24 years of precipitation data, the following distribution probability function were tested: geometric; logarithmic and truncated negative binomial. The results showed the superiority of the truncated negative binomial.

The amount of rain considered in a group of 31 daily values after a given date, was well described by the Gama distribution; the shape parameter (γ) remained constant just to 31 days periods.

A climatological model was adapted in order to evaluate the occurrence of dry periods, for two crops cultivated in the Jaboticabal region was satisfactory. A critical level of water storage was established for each crop, taking into account soil physical properties, root depth and evapotranspiration.

The major rainfalls observed during the period 1956 to 1995 have been analysed. It was tested the type I extreme value distribution for maximums or Gumbel's extreme value distribution, and a relation "intensity-duration- frequency" of the maximum precipitations of 5 minutes to 24 hours.

1 - INTRODUÇÃO

A precipitação proveniente do meio atmosférico na forma de chuva, é um dos elementos meteorológicos que mais influencia as variáveis microclimáticas: temperatura do ar e do solo, a umidade do ar, a radiação solar e o balanço radiativo, além do seu efeito direto sobre o balanço hídrico.

Além destas influências, a precipitação pode atuar isolada, bem como, aliada a outros fatores, sobre a erosão do solo, enchentes em áreas rurais e urbanas, obras de engenharia hidráulica, entre outras, tornando economicamente viável e racional o estudo aprofundado deste fenômeno que é aleatório.

O conhecimento das características pluviométricas em uma bacia hidrográfica, sua disponibilidade durante o ano (distribuição espacial e temporal) e intensidade (quantidade total e duração) são fatores de ordem técnica determinantes para o sucesso ou fracasso de um grande número de empreendimentos agrícolas e de engenharia hidráulica, tais como: projetos de vertedouros de barragens ou de irrigação; dimensionamento de canais e terraços, definição de obras de desvios de cursos d'água, etc..., garantindo a estes uma maior vida útil. Pelo exposto, torna-se relevante conhecer em uma bacia de extensão média, com base em uma longa e ininterrupta série de observações pluviográficas, a ocorrência e quantidade das precipitações

pluviométricas, bem como, as chuvas de máximas intensidades (observadas em 24 horas) e a magnitude das enchentes que delas se originariam, além de que são séries mais freqüentemente disponíveis, ao contrário das vazões.

Dentre as grandezas que caracterizam uma precipitação, a determinação da freqüência de probabilidade (F) ou tempo de recorrência ($1/F$) a partir da análise dos eventos extremos máximos, é indispensável para obtenção das curvas intensidade - duração - freqüência (i-d-f), que se prestam bem a estimativas de longo prazo, na ocorrência de enchente de projeto, sem precisar as datas de sua ocorrência. Porém, a maioria das atividades agrícolas que dependem da variável precipitação, exige uma previsão a curto prazo para que se obtenha êxito, no preparo do solo, semeadura, época de colheita, etc..., o que exigiria uma análise mais profunda da disponibilidade da precipitação pluviométrica durante o ano, seja pela variação espacial ou pela soma de componentes que representam a tendência, a periodicidade e a aleatoriedade com persistência no comportamento da variável no tempo.

O objetivo deste trabalho é analisar, a partir de uma longa e ininterrupta série de dados pluviométricos, a variação da quantidade e distribuição da chuva em termos de sua magnitude e ocorrência, bem como, apresentar exemplos práticos da utilização de um modelo climatológico, na previsão de deficiências hídricas induzidas em determinadas culturas e tipos de solos, por seqüências de dias secos.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

Em estudos de caracterização da seca, a consideração dos fatores intrínsecos ao sistema solo - planta - atmosfera, torna seus resultados representativos de pequenas áreas, não possíveis de extrapolação para uma escala regional. Isto tem levado alguns autores como **VAN BAVEL (1953)**, **THORNTHWAITE e MATHER (1955)**, **MORETI FILHO (1965)**, **SCARDUA (1979)**, entre outros, a considerar apenas o aspecto meteorológico, com base na demanda e suprimento da água através de métodos climatológicos de balanço de água no solo, que por outro lado não considera tão somente o teor de água no solo, carregando consigo o conceito de disponibilidade de água como uma função da demanda atmosférica e da espécie vegetal (**BRAGA, 1982**).

Em um dos trabalhos teóricos mais antigos sobre probabilidade de precipitação, **NEWHAM (1916)** apresenta um fenômeno conhecido como persistência em seu estudo probabilístico aplicado em sequências de dias com ou sem chuva, onde verifica-se uma certa dependência do estado de um dia ser chuvoso, ou não, a partir da ocorrência observada no dia anterior.

A introdução de um modelo teórico que descreva a variabilidade da precipitação em um dado período, pode ser desenvolvido a partir da

reprodução da condição de sua ocorrência seguida da representação da quantidade de chuva (ASSIS, 1991).

GABRIEL e NEWMANN (1962) foram, provavelmente, os pioneiros na introdução de um modelo matemático seqüencial para descrever a ocorrência de dias sem chuva e/ou chuvosos em Israel, segundo um modelo estocástico utilizando cadeia de Markov de primeira ordem, o que evidenciou a existência de uma forte persistência entre dias chuvosos consecutivos. **KATS (1977) e CHIN (1977)** destacam neste modelo a dificuldade na definição do grau que descreva adequadamente e com praticidade a ocorrência da chuva.

A função de distribuição de probabilidades discreta é também utilizada para estudos de ocorrência de chuva. **WILLIAMS (1952)**, verificou que a distribuição de frequência de dias chuvosos e, principalmente dias sem chuva, ajustou-se muito bem à distribuição Logarítmica, assim como, **COOKE (1953)** que verificou um ajuste satisfatório à distribuição Geométrica. **BUISHAND (1978)**, considera a Binomial Negativa Truncada como a melhor distribuição de probabilidade para modelagem de seqüências de dias sem chuva e com chuva, enquanto **WOLF (1977)**, utilizou para a estação chuvosa em Brasília - DF, a distribuição de probabilidade contínua log - normal, concluindo ser a Binomial Negativa Truncada a que se obtém o

melhor ajuste. Um estudo comparativo entre resultados de ajustes das distribuições Geométrica truncada (ajustada a seqüências de dias com chuva), a Binomial Negativa Truncada (ajustada para seqüências de dias sem chuva) e a cadeia de Markov de primeira ordem, para cinco localidades dos Estados Unidos da América do Norte, levaram **ROLDAN e WOOLHISER (1982)** a concluir a superioridade do ajuste pela cadeia de Markov em relação as distribuições citadas, devido a economia de tempo de processamento nos cálculos dos parâmetros. Estatisticamente a cadeia de Markov se adequou melhor para séries de dados de 20 a 25 anos.

A segunda parte do modelo, representando a quantidade de chuva, geralmente é expressa por uma função de distribuição acumulada de probabilidade. Dentre as diversas distribuições de probabilidade passível de utilização na modelagem da quantidade de chuva, a distribuição gama é considerada por **THOM (1958)** a mais adequada para períodos curtos de sete, cinco ou de um dia.

Segundo **ARRUDA e PINTO (1980)**, a distribuição gama apresenta o inconveniente da função de probabilidade acumulada não apresentar solução imediata, exigindo técnicas trabalhosas de expansão em séries de fatoriais ou integração numérica. Este aspecto, quando considerado relevante, tem levado alguns autores, como **AMARAL e SILVA (1971)**, a transformar previamente os dados com o propósito de normalização. Tais autores conseguiram a normalização da distribuição de probabilidade, através da homogeneização da variância sobre os dados transformados. **ARRUDA e PINTO (1980)** e **SILVA e AMARAL (1984)**, também utilizaram e confirmam esta metodologia.

ASSIS (1991) destaca que, apesar das facilidades computacionais da atualidade para a utilização da distribuição gama, o ajuste à distribuição normal, após normalização dos dados, permite ainda a utilização de técnicas estatísticas próprias desta distribuição e de uso corrente.

Além da disponibilidade durante o ano (distribuição espacial e temporal), a intensidade (quantidade total e duração) é uma característica pluviométrica de extrema relevância na previsão de ocorrência de eventos extremos. **SOARES e DIAS (1986)** destacam a importância da determinação da persistência de tais ocorrências no tempo, através da estimativa da probabilidade condicional do valor futuro da variável, que por sua vez é um subsídio básico para teste de modelos estocásticos de recorrência.

Segundo **BERTONI e TUCCI (1993)**, a análise estatística da estrutura hidrológica das séries de chuva podem seguir dois enfoques alternativos dependendo do tamanho da série disponível: séries parciais ou anuais. A metodologia apresentada por **WILKEN (1978)** é de uso obrigatório quando os dados disponíveis para análise não excedam 12 anos de observações e o período de retorno de interesse seja inferior a 5 anos. Trata-se de uma metodologia de pouca aplicação em obras de engenharia hidráulica, onde se espera uma previsão futura de eventos extremos com períodos de retorno mais amplo, baseado na análise de uma maior série de dados.

A metodologia de séries anuais baseia-se no ajustamento de uma distribuição de extremos que melhor se ajuste às séries anuais de valores

máximos de precipitação com uma duração escolhida, procedimento indispensável na construção de curvas intensidade - duração - frequência (i.d.f), como demonstra **PFAFSTETTER (1957)** em seu trabalho pioneiro na análise de registros pluviográficos, para construção destas curvas para 98 postos em diferentes regiões do País.

OCCHIPINTI e SANTOS (1965), em estudo sobre as máximas intensidades de chuva para a cidade de São Paulo, obtiveram através da distribuição de frequência tipo I de Fisher-Tippett, de acordo com o método de Gumbel e cálculo pelo método dos mínimos quadrados, as curvas de melhor ajuste aos valores de intensidade - duração - frequência, e a partir destas, a relação entre as características destas chuvas através de equações. Verificou-se que os erros padrões de tais aproximações, através destas equações, é da mesma ordem de grandeza das medições e valem respectivamente: $E_m = 0,06 \text{ mm/min}$ e $E_h = 0,4 \text{ mm/hora}$, revelando um alto grau de aproximação entre os dados. Os autores ainda destacam que para obtenção destas equações, as séries anuais são mais significativas, devido sua definição em termos de ocorrência ao invés de sua magnitude e que a frequência é, na realidade, o tempo médio de repetição de cada um dos eventos, expresso pelo período de retorno.

Existem ainda, métodos para determinação da relação intensidade-duração-frequência, para aplicação em regiões onde não se dispõe de dados pluviográficos. **BELL (1969)**, utilizando dados disponíveis de altura pluviométrica registrada diariamente e dados de vários continentes, ajustou

uma equação válida para duração de chuva entre 5 e 120 minutos e período de retorno entre 2 e 100 anos.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram obtidos a partir dos registros pluviográficos disponíveis no departamento de Ciências Exatas da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Campus de Jaboticabal, referentes a 24 anos de observação na estação Agrometeorológica do Campus, e as coordenadas geográficas são: 21°15'22"S, 48°18'58"W, 595 m. O clima da região é Cwa, com chuva de verão e relativamente seco no inverno.

A representação das séries diárias de chuva foi dada em termos de sua ocorrência e quantidade. Foi considerado o limite de 1 mm de registro pluviográfico como critério de distinção entre dias com chuva e sem chuva, onde valores inferiores a este não foram computados para dias chuvosos por serem considerados resultado de condensação na forma de orvalho. Seguindo a metodologia apresentada por ASSIS (1991), na análise da precipitação diária, foram considerados 36 períodos de 31 dias, iniciados nos dias 1, 11 e 21 de cada mês, conforme esquematizado na Tabela 1.

Após a seleção das maiores precipitações em cada ano, se determina as intensidades, nas durações de 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 1h, 2h, 3h, 6h, 12 h e 24 horas, através do uso de coeficientes pré-estabelecidos.

Tabela 1: Datas Limites e Número de Ordem dos dias na definição dos 36 períodos anuais.

Período	Datas Limites		Número de Ordem dos dias no ano		Valor Central
	Início	Fim	Início	Fim	
1	01-Jan	31-Jan	0	30	15
2	11-Jan	10-Fev	10	40	25
3	21-Jan	20-Fev	20	50	35
4	01-Fev	02-Mar	31	61	46
5	11-Fev	12-Mar	41	71	56
6	21-Fev	22-Mar	51	81	66
7	01-Mar	31-Mar	60	90	75
8	11-Mar	10-Abr	70	100	85
9	21-Mar	20-Abr	80	110	95
10	01-Abr	01-Mai	91	121	106
11	11-Abr	11-Mai	101	131	116
12	21-Abr	21-Mai	111	141	126
13	01-Mai	31-Mai	121	151	136
14	11-Mai	10-Jun	131	161	146
15	21-Mai	20-Jun	141	171	156
16	01-Jun	01-Jun	152	182	167
17	11-Jun	11-Jun	162	192	177
18	21-Jun	21-Jun	172	202	187
19	01-Jul	31-Jun	182	212	197
20	11-Jul	10-Ago	192	222	207
21	21-Jul	20-Ago	202	232	217
22	01-Ago	31-Ago	213	243	228
23	11-Ago	10-Set	223	253	238
24	21-Ago	20-Set	233	263	248
25	01-Set	01-Out	244	274	259
26	11-Set	11-Out	254	284	269
27	21-Set	21-Out	264	294	279
28	01-Out	31-Out	274	304	289
29	11-Out	10-Nov	284	314	299
30	21-Out	20-Nov	294	324	309
31	01-Nov	01-Dez	305	335	320
32	11-Nov	11-Dez	315	345	330
33	21-Nov	21-Dez	325	355	340
34	01-Dez	31-Dez	335	365	350
35	11-Dez	11-Jan	345	10	360
36	21-Dez	21-Jan	355	20	4

Obs: O período 4. nos anos bissestos. termina no dia 2 de março.

3.1 - OCORRÊNCIA DE CHUVA

Foi considerado nesta análise, as seqüências de dias com ou sem chuva, bem como, as probabilidades de ocorrência em um dia dentro dos 36 períodos considerados.

Define-se uma seqüência de dias sem chuva de comprimento k , iniciado no dia t , como a seqüência de dias consecutivos sem chuva precedida e seguida por um ou mais dias chuvosos, tal que:

$$(X_{t-1} = 1; X_t = 0; X_{t+1} = 0; \dots; X_{t+k-1} = 0; X_{t+k} = 1) \dots \dots \dots (1)$$

Analogamente, define-se uma seqüência de dias com chuva como:

$$(X_{t-1} = 0; X_t = 1; X_{t+1} = 1; \dots; X_{t+k-1} = 1; X_{t+k} = 0) \dots \dots \dots (2)$$

Para estimativa das probabilidades discretas e condicionais da ocorrência de chuva, a série de dados constituída pela matriz de ordem 25×366 , de valores diários de chuva, é condensada à matriz de ordem 2×366 , onde para cada dia t , obtem-se a seguinte matriz de freqüência n_{ij} de transição do estado i ($i=1$, com chuva; $i=0$ sem chuva) para o estado j ($j=1$, com chuva; $j=0$, sem chuva):

		j=1	j=0	
Dia t-1	i=1	n_{11}	n_{10}	(3)
	i=0	n_{01}	n_{00}	

A probabilidade de um evento A ocorrer depois que o evento B tenha ocorrido é expressa por:

$$\Pr(A / B) = \frac{\Pr(A \cap B)}{\Pr(B)} \dots \dots \dots (4)$$

Com isto, determinaram-se estimativas das probabilidades P_{ij} previstas na matriz 3, através das seguintes relações, aplicadas a cada um dos períodos considerados (Tabela 1):

$$Pr_t(11) = \frac{n_{11}}{n_{11} + n_{10}} \dots\dots\dots (5)$$

$$Pr_t(01) = \frac{n_{01}}{n_{01} + n_{00}} \dots\dots\dots (6)$$

$$Pr_t(10) = \frac{n_{10}}{n_{10} + n_{11}} \dots\dots\dots (7)$$

$$Pr_t(00) = \frac{n_{00}}{n_{00} + n_{01}} \dots\dots\dots (8)$$

A partir destas equações, verifica-se que as seguintes relações são válidas:

$$Pr(01) = 1 - Pr(00) \dots\dots\dots (9)$$

$$Pr(11) = 1 - Pr(10) \dots\dots\dots (10)$$

Para o ajuste das probabilidades de ocorrência de seqüências de dias sem ou com chuva, de comprimento k (em dias), foram utilizadas as equações 11 e 12 representadas abaixo:

$$Pr(k) = Pr[X_{t-1} = 1, X_t = 0, X_{t-1} = 0, \dots, X_{t-k-1} = 0, X_{t-k} = 1 / X_{t-1} = 1, X_t = 0] \dots (11)$$

$$Pr(k) = Pr[X_{t-1} = 0, X_t = 1, X_{t-1} = 1, \dots, X_{t-k-1} = 1, X_{t-k} = 0 / X_{t-1} = 0, X_t = 1] \dots (12)$$

são utilizadas as seguintes funções de distribuição de probabilidade: Geométrica, Logarítmica e Binomial Negativa Truncada.

A partir das equações 9 e 10, obtem-se as estimativas de máxima verossimilhança dos parâmetros da **Distribuição Geométrica**, dada pela seguinte função de distribuição de probabilidade:

$$Pr(X) = Q \cdot P^{X-1} \dots\dots\dots (13)$$

Onde P será a probabilidade de chover no dia t desde que tenha chovido no dia anterior $t-1$, e Q é seu complemento, ou a probabilidade de não chover no dia t desde que tenha chovido no dia anterior, logo $P+Q=1$.

A probabilidade de uma seqüência de dias com chuva se prolongue por x dias será:

$$\Pr(X) = [1 - \Pr(11)] P(11)^{x-1} \dots\dots\dots(14)$$

Analogamente para uma seqüência de dias sem chuva será:

$$\Pr(X) = \Pr(01)[1 - \Pr(01)]^{x-1} \dots\dots\dots(15)$$

A **Distribuição Logarítmica** tem a seguinte função de distribuição de probabilidade:

$$\Pr(X) = \frac{\alpha \cdot \Theta^x}{X} ; \quad X = 1, 2, \dots; 0 < \Theta < 1 \dots\dots\dots(16)$$

onde: α e Θ são os parâmetros da distribuição. O valor de α :

$$\alpha = -\text{Ln} \frac{1}{1-\Theta} \dots\dots\dots(17)$$

O valor de Θ é obtido iterativamente através da equação 18, segundo JOHNSON e KOTZ (1972) citado por ASSIS (1991):

$$\bar{X} = \frac{\Theta}{(\Theta - 1)\text{Ln}(1 - \Theta)} \dots\dots\dots(18)$$

onde $\bar{X}$ é a média das seqüências.

A **Distribuição Binomial Negativa Truncada**, de acordo com FISHER (1941) citado por ASSIS (1991), apresenta a seguinte função de distribuição de probabilidade:

$$\Pr(X) = \frac{(K + X - 1)!}{(K - 1)! X!} \times \frac{P^K}{(1 + P)^{K+X}} \dots\dots\dots(19)$$

sendo X o número de dias com ou sem chuva; P e $K > 0$.

Para $X=0$, a equação reduz-se a:

$$\Pr(0) = \frac{1}{(1+p)^K} \dots\dots\dots(20)$$

As probabilidades podem então ser obtidas a partir da divisão da equação 19 pelo complemento da equação 20 ($1-\Pr_{(0)}$), através da expressão:

$$\Pr(X) = \frac{W^K}{1-W^K} \times \frac{(K+X-1)!}{(K-1)!} \times \frac{(1-W)^X}{X!} \dots\dots\dots(21)$$

onde $W = 1/1-P$.

As estimativas dos parâmetros W e K da equação 21 são aquelas que resultam dos dois primeiros momentos, a saber:

$$W = \frac{\bar{X}}{S^2} \left(1 - \frac{f_1}{N} \right) \dots\dots\dots(22)$$

$$K = \frac{\bar{X}W \frac{f_1}{N}}{1-W} \dots\dots\dots(23)$$

onde $\bar{X}$ é a média e S^2 a variância das seqüências, f_i é a frequência da classe i e N a soma das frequências.

3.2 - QUANTIDADE DE CHUVA

Para esta análise se adotará um modelo misto na avaliação de sua distribuição, a saber:

$$\Pr(X_t \leq y) = \Pr(X_t = 0) + \Pr(X_t = 1) \cdot G(Y \leq y) \dots\dots\dots(24)$$

onde $\Pr_{(X_t=0)}$ é a probabilidade de não chover no dia t e $\Pr_{(X_t=1)}$ o seu complemento. $G(Y)$ é a função de probabilidade acumulada Gama dada por:

$$G(Y \leq y) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \int_0^y Y^{\gamma-1} e^{-\frac{Y}{\beta}} dY \quad (25)$$

onde $0 < Y \leq \infty$ e os parâmetros da distribuição Gama (γ , β) são maiores que zero. O termo $\Gamma(\gamma)$ é dado por:

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^\infty \gamma^{\gamma-1} e^{-\gamma} d\gamma \quad (26)$$

e sua obtenção pode ser calculada de forma aproximada através da relação 27, proposta por ABRAMOWITS e STEGUN (1972) citado por ASSIS (1991):

$$\Gamma(\gamma) = \sqrt{\frac{2\pi}{\gamma}} e^{\gamma \ln \gamma - \gamma} \quad (27)$$

onde:

$$f_{(\gamma)} = 1 - \frac{1}{12 \cdot \gamma^2} + \frac{1}{360 \cdot \gamma^4} - \frac{1}{1260 \cdot \gamma^6} \quad (28)$$

Os valores de $\Gamma(\gamma)$ podem ser encontrados em tabelas elaboradas a partir das equações acima.

As estimativas dos parâmetros γ e β da função de distribuição de probabilidade acumulada Gama pode ser feita pelo método dos momentos ou método da máxima verossimilhança. Para o primeiro método tem-se:

$$\mu = \beta\gamma \Rightarrow \bar{Y} = \hat{\beta}\hat{\gamma} \quad (29)$$

$$\sigma^2 = \beta^2\gamma \Rightarrow S^2 = \hat{\beta}^2\hat{\gamma} \quad (30)$$

Igualando-se as expressões 29 e 30, obtém-se a estimativa de β ($\hat{\beta}$) através da equação:

$$\beta = \frac{S^2}{\bar{Y}} \quad (31)$$

e por substituição tem-se a estimativa de γ ($\hat{\gamma}$). Os termos μ e $\bar{Y}$ referem-se às médias da populacional e amostral respectivamente, e σ^2 e S^2 são as variâncias populacional e amostral respectivamente.

Pelo método da máxima verossimilhança, a estimativa dos parâmetros da função de distribuição de probabilidade acumulada Gama, segundo **THOM (1968)**, é dada por:

$$\gamma = \frac{1 + \sqrt{1 + 4 \frac{A}{3}}}{4A} \dots\dots\dots(32)$$

e;

$$\beta = \frac{\bar{Y}_i}{\gamma} \dots\dots\dots(33)$$

onde A é calculado pela expressão:

$$A = \ln \bar{Y} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln Y_i \dots\dots\dots(34)$$

Será adotado o segundo método de estimativa dos parâmetros da distribuição Gama. Para obtenção de tais parâmetros, foram utilizados dados diários referentes aos 31 dias seguintes às datas apresentadas na tabela 1.

A distribuição de probabilidade acumulada apresentada na equação 25 não tem solução imediata, sendo que a estimativa das chuvas para determinados valores de probabilidade deve ser executada a partir da integração numérica ou por desenvolvimento em série.

Pelos dados disponíveis (amostras de uma população) e as facilidades do cálculo do desenvolvimento em série, se determina a probabilidade de ocorrência de um valor de chuva menor ou igual a Y através da função:

$$G(t) = \frac{t^\gamma}{\gamma \Gamma(\gamma)} e^{-t} F_{(\gamma, t)} \dots \dots \dots (35)$$

onde : $t = Y/\beta \Rightarrow Y = \beta t \Rightarrow dY = \beta dt \dots \dots \dots (36)$

e; $F_{(\gamma, t)} = 1 + \frac{t}{\gamma+1} + \frac{t^2}{(\gamma+1)(\gamma+2)} + \frac{t^3}{(\gamma+1)(\gamma+2)(\gamma+3)} + \dots \dots \dots (37)$

Estima-se então a quantidade de chuva Y para um determinado valor de probabilidade Pr através da determinação de t (eq.37) que satisfaça a igualdade:

$$G(t) - Pr = 0 \dots \dots \dots (38)$$

Neste processo iterativo, será utilizado o algoritmo Newton-Raphson na seguinte forma (ASSIS,1991):

$$t_{i+1} = t_i - \frac{\frac{t_i^\gamma}{\gamma \Gamma(\gamma)} e^{-t_i} G(\gamma, t) - Pr}{\frac{t_i^{\gamma-1}}{\Gamma(\gamma)} e^{-t_i}} \dots \dots \dots (39)$$

Segundo THON (1968), na determinação do valor inicial de t (t_0), para inicialização da interação, as seguintes relações (dependentes de Gama e Pr) são válidas:

Para $\gamma \geq 1$ e $Pr \geq 0,50$ tem-se:

$$t_0 = \ln \frac{1}{1-Pr} + [1,51 - 2 Pr(1-Pr)](\gamma-1) \dots \dots \dots (40)$$

Para $\gamma \geq 1$ e $Pr < 0,50$ tem-se:

$$t_0 = \ln \frac{1}{1-Pr} + [0,49 - 2 Pr(1-Pr)](\gamma-1) \dots \dots \dots (41)$$

Para $\gamma < 1$ e $0,50 < Pr < 0,90$ tem-se:

$$t_0 = \frac{1,309Pr}{1-0,658Pr^2} - 0,10 \quad (42)$$

Para $\gamma < 1$ e $Pr > 0,90$ tem-se:

$$t_0 = \frac{1,309Pr}{1-0,658Pr^2} - 0,06 \quad (43)$$

Para $\gamma < 1$ e $Pr < 0,50$ tem-se:

$$t_0 = 0,01 \quad (44)$$

3.3 - SEQUÊNCIAS DE DIAS SECOS - BALANÇO HÍDRICO

Para o ajuste da sequência de dias secos, definidos como aqueles com armazenamento de água no solo menor ou igual a um certo valor crítico é calculado o balanço hídrico para diversos valores de Capacidade de Água Disponível (CAD) que venham a simular combinações solo-planta representativa em vários tipos de solos e profundidades de sistema radicular.

O modelo **THORNTHWAITE e MATHER (1955)**, modificado por **BRAGA (1982)**, define o Armazenamento Crítico (ARMc) pela expressão:

$$ARMc = (1-p) CAD \quad (45)$$

onde p é a fração da capacidade de água disponível no solo na qual a evapotranspiração de referência (ET_0) mantém-se igual a evapotranspiração máxima (ETM). Tal fração é uma função exclusiva da ETM, e seus valores para diversos tipos de culturas, tabelados por **DOORENBOS et al. (1979)**, podem ser encontrados em inúmeros trabalhos pertinentes ao tema.

A estimativa de ETM, é calculada pela expressão:

$$ETM = ET_0.kc \quad (46)$$

onde kc é o coeficiente de cultura e ET_0 estimada pelo método da Radiação.

O armazenamento (ARM) para $ARM > ARM_c$ será calculado por:

$$ARM = CAD - NEG \dots\dots\dots(47)$$

onde $NEG = ET_0 - p$ quando $p < ET_0$ e,
para $ARM \leq ARM_c$ por:

$$ARM = (1 - p) CAD e^{-\frac{NEG}{CAD} + p} \dots\dots\dots(48)$$

onde NEG é dado por:

$$NEG = \left(p - LN \frac{ARM}{(1 - p)CAD} \right) CAD \dots\dots\dots(49)$$

3.4 - CHUVAS INTENSAS

Para análise probabilística das máximas intensidades pluviométricas, se adotará a distribuição assintótica dos extremos do tipo I para séries de máximos de Gumbel, também chamada de tipo I de Fisher-Tippet ou dupla exponencial, devido a aproximação satisfatória que tal método tem alcançado em inúmeros estudos de distribuição de extremos, segundo descrição de **OCCHIPINTI e SANTOS (1965)**.

Neste método, parte-se do princípio de que uma série de variáveis aleatórias Y_t seja formada pelos valores máximos anuais de precipitação retirados um de cada série anual: $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, onde X é o espaço amostral, constituído de todas as precipitações ocorridas e registradas durante o ano. A função de probabilidade acumulada de Y_t será então:

$$P[Y \leq y] = P[\text{todos } n \text{ valores de } X \text{ sejam } \leq y] \dots\dots\dots(50)$$

e supondo a independência dos valores de X , temos:

$P[Y \leq y] = P[X_1 \leq y] \cap P[X_2 \leq y] \cap \dots \cap P[X_n \leq y] = P[X_1 \leq y] \cdot P[X_2 \leq y] \cdot \dots \cdot P[X_n \leq y]$
e ainda, se supormos que os valores da série X são identicamente distribuídos, teremos:

$$P[Y \leq y] = P^n [x_i \leq y] \dots\dots\dots(51)$$

Procura-se derivar a distribuição para a qual $P[x_i \leq y]$ tende, quando n tende a infinito. Devemos admitir ainda que a variável X é limitada apenas na direção positiva, e que seus valores máximos menos freqüentes segue a distribuição tipo exponencial, resultando na seguinte função de probabilidades acumulada:

$$f_{(CP)} : P[Y \leq y] = e^{-e^{-\alpha \cdot (y - \mu)}} \dots\dots\dots(52)$$

que tem a seguinte função densidade de probabilidade:

$$f(y) = \alpha e^{\{-\alpha \cdot (y - \mu) - e^{-\alpha \cdot (y - \mu)}\}} \dots\dots\dots(53)$$

onde α e μ são, respectivamente, os parâmetros de escala e locação da distribuição, que se for igual a 1 para α e 0 para μ , teremos a chamada forma reduzida, de grande aplicação no ajuste de precipitações:

$$P = 1 - e^{-e^{-y}} \dots\dots\dots(54)$$

onde: P é a probabilidade de um valor extremo da série ser maior ou igual a X ; e é a base dos logaritmos naturais e y a variável reduzida, dada por:

$$y = -\ln \ln \left(\frac{1}{1-P} \right) \dots\dots\dots(55)$$

Pode-se definir então como período de retorno o inverso da probabilidade de freqüência do evento extremo, a saber:

$$T = \frac{1}{P} \dots\dots\dots(56)$$

Com o intuito da maximização do fator de recorrência, lança-se mão da equação geral proposta por **CHOW (1964)**, onde a maioria das funções de frequência empregadas em estudos hidrológicos podem ser representadas por:

$$X_T = \bar{X}_n + K_T \cdot S_n \dots \dots \dots (57)$$

onde X_T é o valor da variável precipitação em estudo, com período de retorno T ; $\bar{X}_n$ e S_n são respectivamente a média e o desvio padrão dos valores extremos da série de n máximos anuais, K_T é o fator de frequência ou de recorrência, e é função de T e n .

De acordo com a distribuição assintótica de Gumbel, o fator K_T tem a seguinte expressão:

$$K_T = \frac{y - \bar{y}_n}{S_n} \dots \dots \dots (58)$$

onde: y é a variável reduzida dada por:

$$y = (X - X_f) \frac{S_n}{S_x} \dots \dots \dots (59)$$

X_f é a moda dos valores extremos, equacionando:

$$X_f = \bar{X} - S_x \left(\frac{\bar{y}_n}{S_n} \right) \dots \dots \dots (60)$$

onde $\bar{y}_n$ e S_n são, respectivamente, a média e o desvio padrão da variável reduzida, obtida através da equação 56, pela determinação da variável P representada na equação abaixo:

$$P = \frac{m}{n+1} \dots \dots \dots (61)$$

onde: $m = 1, 2, \dots, n$ é o número de ordem do valor extremo considerado, em arranjo decrescente; e n é o número de valores que constitui a série amostral.

Após a caracterização da distribuição das cargas pluviométricas, procede-se a análise da relação intensidade - duração - frequência para determinação do tipo de equação e número de parâmetros desta, que proporcionou o melhor ajuste.

As curvas intensidade - duração - frequência podem ser expressas por uma equação genérica do tipo:

$$i = \frac{a \cdot Tr^b}{(t + c)^d} \dots\dots\dots (62)$$

onde i é a intensidade, expressa em mm/min ou hora; Tr é o período de retorno, em anos; t é a duração, em minutos ou horas, e a , b , c e d são os parâmetros de ajuste, específicos para cada localidade.

O ajuste do feixe de curvas pode ser alcançado através da linearização da equação 62 e determinação dos parâmetros de ajuste pela regressão múltipla.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Distribuição anual das chuvas e dos dias com chuva

Em Jaboticabal cerca de 81% do total das chuvas concentram-se entre outubro e março, sendo dezembro o mês mais chuvoso, concentrando 17,4% da chuva anual e junho, o menos chuvoso, apenas 1,5%.

A distribuição anual da quantidade de chuva está naturalmente associada à distribuição dos dias com chuva. Neste aspecto, a região apresenta em média aproximadamente 100 dias por ano com chuva (lembrando que foi definido como dia com chuva aquele que apresenta uma leitura pluviométrica igual ou superior a 1mm), ou seja, no período de 24 anos de dados registrados, cerca de 27,4% dos dias são chuvosos. É interessante, ainda, ressaltar na Tabela 2, a maior variabilidade dos totais mensais de chuva expressa pelo coeficiente de variação nos meses mais secos do ano e, ainda, esses resultados comparados com os obtidos na região Sul do país por outros autores, evidencia uma elevada variabilidade da distribuição da chuva anual e dos dias com chuva na região de Jaboticabal, consequência da ação dinâmica das massas de ar que atuam regularmente sobre a região sul e sudeste do país.

TABELA 2: Valores mensais médios, máximos e mínimos e do coeficiente de variação dos totais de chuvas (em mm) e do número de dias com chuva em Jaboticabal - SP (1972-1995).

Total de chuva	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MEDIA	242.8	204.3	177.7	82,5	50.4	21,5	28,7	27.6	65,4	130.7	167.1	252.8
MAXIMA	364.7	447.3	373,6	185,0	170,2	78,1	135,7	124,9	212,9	349,9	360,5	428,7
MINIMA	99,3	57,0	47,5	22,7	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	37,4	26,3	109,0
C.V.	31,74	52,33	48,44	57,85	81,46	111,22	116,40	136,91	83,65	58,23	43,50	35,78
Dias c/ chuva	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MEDIO	15,9	12,5	11,6	6,6	4,6	2,1	2,2	2,8	5,6	8,9	10,7	15,8
MAXIMO	24,0	20,0	21,0	13,0	10,0	6,0	8,0	9,0	13,0	15,0	16,0	22,0
MINIMO	10,0	5,0	4,0	2,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	6,0	7,0
C.V.	19,77	32,1	40,3	41,03	57,15	94,86	89,94	102,4	62,2	34,58	26	25,48

4.2 - Sequência de dias com ou sem chuva

A partir dos dados originais de precipitação e com o auxílio da planilha EXCEL (versão 5), filtrou-se informações contendo o número de sequências de dias com chuva e sem chuva, bem como, o número de dias por sequência para os 36 períodos considerados, para que a partir destas distribuições de frequências, fosse possível aplicar as distribuições de variáveis discretas propostas.

A princípio, neste tipo de análise de sequências, vários autores são unânimes em afirmar a superioridade da Distribuição Binomial Negativa Truncada, como também se tem evidenciado que a Distribuição Logaritmica não se presta a este fim.

A partir da estimativa simples dos parâmetros W e K (equações 22 e 23) surgiu o primeiro problema: relatos na literatura sobre a baixa eficiência

de tais equações de máxima verossimilhança. Este problema pode ser contornado mediante o emprego do método de **BRASS (1958)**; um método iterativo no qual o valor K é obtido através do algoritmo de Newton-Raphson, pela solução da seguinte equação:

$$K_{i+1} = K_i - \frac{\phi}{\phi'} \dots\dots\dots (63)$$

onde:

$$\phi = \left(\frac{m}{m - p1} \right) \left(1 + \frac{p1}{K} \right) \ln \left(1 - \frac{m - p1}{K + m} \right) + \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n (K + k - 1)^{-1} Fk \dots\dots\dots (64)$$

$$\phi' = \left(\frac{m}{K(K + m)} \right) - \left(\frac{m \cdot p1}{K^2(m - p1)} \right) \ln \left(1 - \frac{m - p1}{K + m} \right) + \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n (K + k - 1)^{-2} Fk \dots\dots\dots (65)$$

e ainda: m é o número médio de dias por sequência; $p1$ é o resultado da divisão da frequência inicial pelo número total de sequências (N); k é o número de dias por sequência; K é o parâmetro da distribuição e o fator Fk está explícito no exemplo dado na tabela 5.

Os valores obtidos desta forma, também não são aceitos na equação 21 devido ao emprego de fatoriais, que pode ser contornado pela aplicação da seguinte fórmula de recorrência descrita por **BRASS (1958)**:

$$\Pr(x + 1) = \Pr(x) \frac{K + x}{x + 1} (1 - W) \dots\dots\dots (66)$$

onde W é obtido pela equação 22.

A distribuição de frequências, bem como, os principais cálculos para obtenção dos parâmetros W e K (equações 22 e 23) da distribuição Binomial Negativa Truncada (para iniciar a iteração) são apresentadas nas tabelas 3 e 4 para sequências de dias com e sem chuva, respectivamente, iniciadas aos

31 dias seguintes às datas indicadas e, o processo iterativo para obtenção de tais parâmetros pode ser visualizado através do exemplo dado na Tabela 5.

Tabela 3: Distribuição de frequência de sequências de dias com chuva, a partir dos 31 dias seguintes ao dia 1º de cada mês; número de dias por sequência (k), média, desvio padrão e parâmetros da distribuição (W, K).

k ²	k	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1	63	74	58	60	41	26	28	28	41	69	69	56
4	2	32	31	28	26	24	7	7	4	31	30	29	31
9	3	14	17	9	10	4	2	1	5	8	21	14	21
16	4	13	8	3	3	1	1	2	3	3	3	10	15
25	5	8	5	1	0	0	0	0	1	2	0	2	4
36	6	5	6	1	1	0	0	0	0	1	1	1	9
49	7	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
64	8	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3	2
81	9	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
100	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
144	12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
169	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
196	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
225	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
256	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
289	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
324	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
361	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
441	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
484	22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
529	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
576	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
625	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
676	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
729	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
784	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
841	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
900	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
961	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ(f.N)		416	358	164	160	113	50	53	68	155	210	256	379
ΣN = N		148	149	100	100	71	36	38	41	86	124	129	144
Média		2.81	2.40	1.64	1.60	1.59	1.39	1.39	1.66	1.80	1.69	1.98	2.63
s ²		7.678	5.80972	0.92	0.828	1.05	0.53	0.62	1.23	1.0781	0.8647	2.265	3.87
W		0.21	0.20817	0.749	0.773	0.64	0.728	0.59	0.427	0.8747	0.8687	0.407	0.42
K		0.209	0.00445	2.584	2.799	1.25	1.059	0.2	0.045	8.7811	6.9689	0.462	1.21

Tabela 4: Distribuição de frequência de sequências de dias sem chuva, a partir dos 31 dias seguintes ao dia 1º de cada mês; número de dias por sequência (k), média, desvio padrão e parâmetros da distribuição (W, K).

k ²	k	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1	61	68	48	19	10	4	9	5	19	35	36	62
4	2	34	28	21	17	13	5	5	8	11	30	22	39
9	3	16	14	14	23	10	6	2	7	16	14	28	12
16	4	16	8	10	9	9	2	3	5	10	7	14	8
25	5	5	7	8	8	3	4	4	4	8	8	11	7
36	6	3	8	5	10	4	4	3	1	6	6	7	5
49	7	6	5	8	6	7	3	4	2	5	12	6	4
64	8	2	4	5	5	1	3	0	2	2	5	5	2
81	9	1	0	2	4	4	3	2	1	1	4	5	1
100	10	1	0	2	5	1	1	2	0	2	2	0	0
121	11	0	0	1	2	3	1	1	2	2	1	1	1
144	12	0	1	3	1	1	3	2	2	0	1	0	0
169	13	0	0	3	0	2	1	1	1	1	2	1	1
196	14	0	2	0	0	2	1	1	2	0	2	0	0
225	15	0	0	0	3	7	0	0	2	2	2	0	1
256	16	0	0	0	1	1	3	2	3	0	0	0	0
289	17	0	0	0	0	1	2	0	1	3	0	0	0
324	18	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
361	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	20	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
441	21	0	0	0	0	0	1	2	1	1	0	0	0
484	22	0	0	0	0	1	1	2	0	1	0	0	0
529	23	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0
576	24	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
625	25	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
676	26	0	0	0	0	2	0	2	1	0	0	0	0
729	27	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
784	28	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
841	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
900	30	0	0	0	0	1	7	0	0	2	0	0	0
961	31	0	0	0	0	0	0	7	8	0	0	0	0
$\Sigma(f.x)$		361	388	462	564	630	671	690	676	587	528	468	365
$\Sigma x = N$		145	145	130	115	85	59	59	61	95	131	136	143
Média		2.48	2.67	3.55	4.90	7.41	11.37	11.69	11.08	6.17	4.03	3.44	2.55
s ²		3.7099	6.2205	10.000	16.806	45.173	90.065	104.07	104.80	48.510	11.983	6.1150	5.6151
W		0.3887	0.2284	0.2241	0.2436	0.1447	0.1177	0.0952	0.0970	0.1018	0.2464	0.4137	0.2574
K		0.8952	0.1844	0.5508	1.3610	1.1170	1.4405	1.0622	1.1005	0.4783	0.9638	1.9773	0.3011

Vale ressaltar que, através deste processo iterativo a obtenção de K torna-se mais confiável com uma precisão, neste caso, da ordem de 10^{-6} . A partir deste valor de K é possível a obtenção do parâmetro W com maior confiabilidade através da equação 23.

Tabela 5: Processo iterativo para obtenção do parâmetro K, e o parâmetro W (pela explicitação da equação 23) da distribuição Binomial Negativa Truncada aplicada à sequências de dias sem chuva iniciadas a partir de 1º de Janeiro.

k	fk	Fk	X ₁	X ₂	Y1	Y2	Z1	ϕ	Z2	$\frac{m \cdot pl}{K^2(m-pl)}$	ϕ'	$\frac{\phi}{\phi'}$	K	W
1	61	145	161,97	180,93	1,002	1,0077	-1,3223	3,2211E-01	0,8216	0,0086	2,3086	1,3953E-01	0,755682	0,362481
2	34	84	44,322	23,386	1,002	1,0091	-1,4483	1,9280E-01	1,0152	0,0121	2,5083	7,6863E-02	0,678820	0,347015
3	16	50	17,269	5,964	1,002	1,0102	-1,5305	1,0795E-01	1,1575	0,0150	2,6561	4,0644E-02	0,638176	0,338530
4	16	34	8,7286	2,240	1,002	1,0108	-1,5787	5,8115E-02	1,2473	0,0170	2,7497	2,1135E-02	0,617040	0,334030
5	5	18	3,6770	0,751	1,002	1,0112	-1,6053	3,0625E-02	1,2988	0,0182	2,8035	1,0924E-02	0,606117	0,331680
6	3	13	2,2051	0,374	1,002	1,0114	-1,6194	1,5959E-02	1,3268	0,0188	2,8329	5,6336E-03	0,600483	0,330462
7	6	10	1,4502	0,210	1,002	1,0115	-1,6268	8,2691E-03	1,3417	0,0192	2,8485	2,9029E-03	0,597580	0,329832
8	2	4	0,5066	0,064	1,002	1,0115	-1,6307	4,2718E-03	1,3495	0,0194	2,8567	1,4954E-03	0,596085	0,329508
9	1	2	0,2248	0,025	1,002	1,0116	-1,6327	2,2034E-03	1,3535	0,0195	2,8609	7,7016E-04	0,595315	0,329340
10	1	1	0,1010	0,010	1,002	1,0116	-1,6337	1,1356E-03	1,3556	0,0195	2,8631	3,9663E-04	0,594918	0,329254
11	0	0	0	0	1,002	1,0116	-1,6342	5,8505E-04	1,3567	0,0195	2,8642	2,0426E-04	0,594714	0,329209
12	0	0	0	0	1,002	1,0116	-1,6345	3,0135E-04	1,3573	0,0196	2,8648	1,0519E-04	0,594609	0,329187
13	0	0	0	0	1,002	1,0116	-1,6346	1,5520E-04	1,3576	0,0196	2,8651	5,4169E-05	0,594554	0,329175
14	0	0	0	0	1,002	1,0116	-1,6347	7,9927E-05	1,3577	0,0196	2,8653	2,7895E-05	0,594527	0,329169
15	0	0	0	0	1,002	1,0116	-1,6347	4,1161E-05	1,3578	0,0196	2,8654	1,4365E-05	0,594512	0,329166
16	0	0	0	0	1,002	1,0116	-1,6348	2,1196E-05	1,3578	0,0196	2,8654	7,3974E-06	0,594505	0,329164
$\sum_{k=1}^n$	145	361	240,45	213,96										

onde: $X_1 = (K+k-1) \cdot xFk$; $X_2 = (K+k-1) \cdot xFk$; $Y1 = \left(\frac{m}{m-pl} \right)$; $Y2 = \left(1 + \frac{pl}{K} \right)$; $Z1 = \ln \left(1 - \frac{m-pl}{K+m} \right)$;

$$Z2 = \frac{m}{K(m-pl)}.$$

Após a determinação dos parâmetros K e W da distribuição Binomial Negativa Truncada para as sequências de dias com e sem chuva, procedeu-se a adequação das distribuições de frequências às distribuições Logarítmica e Geométrica para os mesmos períodos, bem como, o teste de significância pelo método do Qui-quadrado. Os principais resultados podem ser visualizados nas Tabelas 6 e 7.

A princípio a Distribuição Binomial Truncada é a que melhor se adequou às distribuições de frequências de sequências de dias com e sem chuva, porém, pode-se visualizar pelas tabelas 6 e 7 que para os dados da região de Jaboticabal-SP a distribuição Geométrica obteve uma aderência a Distribuição Binomial Negativa Truncada (DBNT), onde 98% dos períodos considerados não foram significativos ao nível de 5%, contra 36% de períodos significativos registrados para a Logarítmica. Deve-se ressaltar que, apesar do teste de significância para as distribuições Geométrica e DBNT serem idênticos quantitativamente, qualitativamente a DBNT se mostra superior quando comparada às demais distribuições e às frequências observadas, como pode ser visualizado no exemplo dado na Figura 1.

Com estes resultados, assume-se que para o conjunto de dados em questão a DBNT é a distribuição de probabilidades apropriada na estimativa das probabilidades de ocorrência de sequências de dias com e sem chuva para a região de Jaboticabal.

Tabela 6: Parâmetros da distribuição Geométrica , distribuição Binomial Negativa Truncada (DBNT) e Logaritmica para sequências de dias com chuva nos 36 períodos considerados, para a região de Jaboticabal (1972-1995).

Período	GEOMÉTRICA		DBNT			LOGARITMICA		
	θ	X^2	K	W	X^2	θ	α	X^2
1	0.6442	6.71	0.2082	0.2100	1.25	0.8352	0.5547	2.87
2	0.6320	11.03	0.0951	0.1981	2.79	0.8262	0.5714	2.91
3	0.6105	11.75	0.0369	0.2048	4.05	0.8100	0.6021	3.83
4	0.5838	7.95	0.0044	0.2082	0.67	0.7889	0.6429	1.44
5	0.5385	8.85	0.3340	0.3396	1.29	0.7505	0.7203	8.81
6	0.5338	6.40	0.0887	0.2668	4.98	0.7464	0.7289	5.94
7	0.3902	8.33	2.5801	0.7488	0.24	0.6012	1.0877	4.19
8	0.4829	4.20	0.0715	0.3159	1.47	0.6989	0.8331	4.55
9	0.4360	7.73	0.7282	0.5162	2.42	0.6513	0.9491	6.80
10	0.3750	4.31	2.7973	0.7726	0.08	0.5837	1.1412	3.01
11	0.3459	3.06	1.2942	0.6905	0.19	0.5490	1.2558	2.58
12	0.3451	7.49	0.4972	0.5794	0.62	0.5482	1.2586	3.17
13	0.3717	7.69	1.2303	0.6406	4.91	0.5798	1.1533	7.55
14	0.3608	9.90	1.0887	0.6292	6.60	0.5671	1.1942	8.79
15	0.3571	10.59*	0.3289	0.4929	7.56	0.5632	1.2072	10.70
16	0.2800	9.31	1.0603	0.7278	0.08	0.4645	1.6013	0.22
17	0.2600	7.35	5.6349	0.9110	1.33	0.4382	1.7342	0.67
18	0.3906	13.23	0.2919	0.4694	0.58	0.6017	1.0864	5.87
19	0.2830	10.09	0.2042	0.5885	1.40	0.4686	1.5819	1.96
20	0.2609	8.14	1.1132	0.7496	1.17	0.4393	1.7282	1.54
21	0.3158	6.57	0.1132	0.5278	1.40	0.5116	1.3956	3.36
22	0.3971	11.83	0.0467	0.4279	6.95	0.6089	1.0651	5.67
23	0.4000	7.10	0.8368	0.5858	2.07	0.6123	1.0554	4.48
24	0.4259	6.13	6.9331	0.8587	0.55	0.6406	0.9773	7.46
25	0.4452	7.81	8.7738	0.8747	2.43	0.6609	0.9246	9.49
26	0.4167	7.66	6.1534	0.8483	1.52	0.6309	1.0034	9.23
27	0.4316	3.96	0.7979	0.5237	5.26	0.6469	0.9607	12.51
28	0.4095	9.75	6.9702	0.8688	5.30	0.6228	1.0257	9.03
29	0.4605	3.38	1.7276	0.6300	1.87	0.6764	0.8863	5.63
30	0.4859	2.98	1.1832	0.5430	0.57	0.7017	0.8266	4.87
31	0.4961	1.24	0.4632	0.4078	1.94	0.7116	0.8043	6.70
32	0.5189	1.00	0.4966	0.3842	1.47	0.7330	0.7573	8.34
33	0.5918	13.95	0.6756	0.3510	4.22	0.7953	0.6303	10.34
34	0.6201	9.37	1.2206	0.4178	5.72	0.8172	0.5884	10.65
35	0.6178	6.36	0.7323	0.3455	2.27	0.8155	0.5916	5.36
36	0.6209	2.94	0.7751	0.3551	2.78	0.8180	0.5870	59.43*

*= significativo ao nível de 5%.

Tabela 7: Parâmetros da distribuição Geométrica , distribuição Binomial Negativa Truncada (DBNT) e Logarítmica para sequências de dias sem chuva nos 36 períodos considerados.

Período	GEOMÉTRICA		DBNT			LOGARITMICA		
	θ	X^2	K	W	X^2	θ	α	X^2
1	0,5983	8,14	0,5945	0,3292	7,01	0,8007	0,6201	11,95*
2	0,6105	13,94	0,6478	0,3382	9,86	0,8101	0,6020	12,35*
3	0,6173	12,82	0,2845	0,2611	8,77	0,8152	0,5923	9,46
4	0,6263	9,60	0,1791	0,2270	3,16	0,8220	0,5794	4,91
5	0,6609	1,78	0,6198	0,2833	7,94	0,8470	0,5327	9,33
6	0,6587	7,87	0,4775	0,2612	8,75	0,8454	0,5356	6,12
7	0,7186	10,14	0,6557	0,2435	6,68	0,8848	0,4627	6,39
8	0,7396	7,43	0,9028	0,2483	6,08	0,8973	0,4393	9,17
9	0,7713	8,14	1,1886	0,2524	7,04	0,9151	0,4054	28,61*
10	0,7961	8,51	1,5479	0,2655	6,80	0,9281	0,3798	31,03*
11	0,8260	7,17	1,2368	0,2021	7,42	0,9426	0,3499	12,31*
12	0,8449	10,43	0,9765	0,1502	10,55	0,9511	0,3313	17,80*
13	0,8651	8,85	1,2440	0,1573	9,61	0,9597	0,3115	18,66*
14	0,8735	5,41	1,1240	0,1380	5,47	0,9630	0,3032	19,72*
15	0,9015	7,01	1,1904	0,1116	5,04	0,9736	0,2751	11,60*
16	0,9121	2,95	1,6345	0,1309	3,60	0,9773	0,2642	12,55*
17	0,9162	6,37	1,5087	0,1203	7,64	0,9787	0,2599	13,45*
18	0,9147	13,89	1,2117	0,1073	17,31*	0,9782	0,2614	7,76
19	0,9145	7,76	1,1020	0,0980	5,78	0,9781	0,2617	8,12
20	0,9227	4,20	1,4514	0,1085	7,57	0,9808	0,2529	7,37
21	0,9244	8,26	1,4110	0,1056	9,24	0,9814	0,2510	8,03
22	0,9098	9,03	1,2543	0,1083	10,48	0,9765	0,2666	9,88*
23	0,8877	12,38	0,8879	0,0991	12,92	0,9686	0,2891	24,78*
24	0,8762	6,82	0,7061	0,0950	6,37	0,9641	0,3005	15,01*
25	0,8382	7,58	0,3067	0,0781	9,07	0,9481	0,3379	16,35*
26	0,7954	8,51	0,4971	0,1424	6,59	0,9278	0,3805	14,84*
27	0,7500	2,22	0,8719	0,2315	7,75	0,9034	0,4279	27,53*
28	0,7519	13,54	0,8857	0,2345	7,11	0,9044	0,4259	24,41*
29	0,7412	8,83	0,8689	0,2460	5,52	0,8983	0,4375	14,56*
30	0,7302	10,46	1,7930	0,3711	6,46	0,8918	0,4496	32,46*
31	0,7094	9,97	1,9912	0,4153	4,99	0,8791	0,4734	27,08*
32	0,6822	8,81	1,1706	0,3461	6,01	0,8616	0,5057	13,78*
33	0,6543	5,66	0,8247	0,3160	3,91	0,8425	0,5411	12,70*
34	0,6082	7,95	0,2334	0,2394	4,80	0,8083	0,6054	6,77
35	0,5944	5,57	0,7004	0,3507	6,09	0,7974	0,6264	14,96*
36	0,5221	6,09	0,0056	0,2851	2,95	0,7360	0,7508	10,90*

*= significativo ao nível de 5%.

Figura 1: Frequências de sequências de dias com e sem chuva (número de dias por sequência) para o período 1 (1 a 31/01) e 19 (1 a 31/07), observadas (Freq obs) e estimadas através das distribuições Binomial Negativa Truncada (DBNT), Geométrica e Logarítmica.

Utilizando-se os valores de W e K estimou-se, através da Equação 66, as probabilidades de ocorrerem sequências de dias chuvosos e sem chuva com diversos comprimentos, para os 36 períodos ao longo do ano. Pode-se visualizar estes resultados através das Figuras 2 e 3.

Figura 2: Probabilidades de ocorrência de sequências de dias com chuva com no mínimo 2, 3, 4 e 5 dias de comprimento.

Observa-se através da Fig. 2 vários picos de probabilidade de ocorrência de sequências de dias com chuva com magnitudes diferentes, sendo o maior deles ocorrendo no início de dezembro e decaindo até final de fevereiro, onde a probabilidade de que ocorra no mínimo 2 dias com chuva gira em torno de 42% e sequências de 5 dias tende a 0%, podendo a efetivação de um veranico entre a última década de fevereiro e primeira de abril ser muito provável. A partir deste ponto forma-se outro pico de probabilidade de ocorrência de sequência de dias com chuva que não supera a verificada no começo de fevereiro, e daí por diante os picos, em média, se mantém ao nível de 35% de probabilidade para ocorrência de no mínimo 2 dias com chuva, e sequências com maiores períodos chuvosos se mantém abaixo de 20% até a 1ª quinzena de outubro, com uma probabilidade mínima de ocorrência de sequências verificada no mês de junho (tradicionalmente o

mês menos chuvoso). A partir da 1ª quinzena de outubro a probabilidade de ocorrência de sequências de dias chuvosos é crescente até o início de dezembro (mês mais chuvoso).

A probabilidade de ocorrência de sequências de dias com chuva de comprimento maior que quatro dias entre abril e outubro é desprezível, assim como a probabilidade de ocorrência de sequências de dias sem chuva com comprimento maior que 20 se encontra na maioria dos períodos abaixo de 10% de probabilidade, e mesmo para sequências de 20 dias os períodos compreendidos entre setembro e abril e, entre setembro e março para sequências de 10 dias, são desprezíveis (Figura 3).

Figura 3: Probabilidades de ocorrência de sequências de dias sem chuva com no mínimo 3, 5, 7, 10, 15, 20 e 30 dias de comprimento.

De uma maneira geral as sequências de dias sem chuva, independentemente de seu comprimento, possuem um comportamento semelhante, com uma probabilidade maior de ocorrência nas estações outono e inverno. Ressalta-se na Fig. 3, o pico de probabilidade na última década de fevereiro, ainda que parcialmente mascarado pela ascendência das curvas, que evidencia uma maior probabilidade de ocorrência de um curto período de ausência de chuva como discutido anteriormente.

Em junho atinge-se um pico máximo, onde existe mais de 80% de ocorrências de 3 dias sem chuva e aproximadamente 55% de ocorrência de uma semana sem chuva. Pode-se notar que a probabilidade de ocorrência de sequências de 10 dias sem chuva entre final de maio e início de agosto é praticamente igual à probabilidade de ocorrência de sequências de 2 dias com chuva. Para período e de cinco dias chuvosos a mesma que para 30 dias sem chuva, o que evidencia um maior risco à exploração econômica de culturas que nesta época necessitam de maior disponibilidade hídrica via precipitação pluviométrica, e favorecem aquelas que nesta época dependam da “seca” para evitar perdas, como a colheita por exemplo.

4.3 - Distribuição da quantidade de chuva nos dias com chuva

Inicialmente, procedeu-se a análise das probabilidades discretas e condicionadas da ocorrência de chuva, a partir da aplicação das equações 4 a 10 na matriz de frequência de transição 3 apresentada anteriormente,

necessária à adequação dos dados ao modelo misto. Os principais resultados podem ser visualizados através da Tabela 8.

Na Tabela 8, a probabilidade discreta da ocorrência de dias sem chuva se mantém acima de 47% em todos os períodos, sendo menor que a probabilidade de chover apenas nos 2 primeiros períodos e 3 últimos, ou seja, 1º de dezembro a 10 de fevereiro, onde tem-se um pico de 53% de probabilidade de chuva e de 64% de que, se o dia anterior foi chuvoso, o próximo também o será no período compreendido de 21 de dezembro a 21 de janeiro. É significativa também, a probabilidade condicionada de ocorrência de um dia sem chuva sendo o anterior seco para a maioria dos períodos, notadamente do 14º ao 24º ou, de 11 de maio a 20 de setembro. Por outro lado, a probabilidade de chover em um dado dia sendo o anterior seco, é desprezível neste período, e menor ou igual a 40% na estação chuvosa. Por estes resultados, a probabilidade de ocorrência de um dia sem chuva, praticamente independe do estado do dia anterior e uma fraca dependência da ocorrência de um dia chuvoso com o anterior com chuva. A probabilidade de chover pode ser considerada constante somente para períodos de 31 dias, devido a grande variação anual deste parâmetro.

Através da equação 25, aplicada aos dados diários de precipitação, ajustou-se a distribuição gama, para os 36 períodos considerados. Os resultados deste ajuste, bem como o teste de significância são apresentados na Tabela 9.

Tabela 8: Probabilidades discretas e condicionadas da ocorrência de chuva: $Pr(11)$ é a probabilidade de chover no dia t sendo o dia $t-1$ chuvoso; $Pr(01)$ é a probabilidade de chover no dia t com o dia $t-1$ sem chuva; $Pr(10)$: sem chuva em t com $t-1$ chuvoso e $Pr(00)$: sem chuva em t com $t-1$ sem chuva.

Probabilidade condicionada de chuva					Probabilidade discreta		
Período	$Pr(11)$	$Pr(01)$	$Pr(10)$	$Pr(00)$	Período	CHUVA	"SECA"
1	0.62	0.39	0.38	0.61	1	0.51	0.4866
2	0.64	0.38	0.36	0.62	2	0.51	0.4933
3	0.63	0.37	0.37	0.63	3	0.49	0.5134
4	0.58	0.35	0.42	0.65	4	0.45	0.5527
5	0.57	0.30	0.43	0.70	5	0.40	0.5955
6	0.55	0.29	0.45	0.71	6	0.39	0.6069
7	0.56	0.27	0.44	0.73	7	0.38	0.6250
8	0.51	0.24	0.49	0.76	8	0.32	0.6774
9	0.47	0.21	0.53	0.79	9	0.28	0.7177
10	0.39	0.18	0.61	0.82	10	0.22	0.7782
11	0.38	0.14	0.62	0.86	11	0.18	0.8199
12	0.32	0.13	0.68	0.87	12	0.15	0.8468
13	0.37	0.12	0.63	0.88	13	0.15	0.8481
14	0.38	0.10	0.62	0.90	14	0.13	0.8669
15	0.37	0.07	0.63	0.93	15	0.10	0.8992
16	0.30	0.05	0.70	0.95	16	0.07	0.9328
17	0.27	0.05	0.73	0.95	17	0.07	0.9315
18	0.33	0.05	0.67	0.95	18	0.07	0.9261
19	0.29	0.05	0.71	0.95	19	0.07	0.9301
20	0.29	0.05	0.71	0.95	20	0.06	0.9395
21	0.33	0.05	0.67	0.95	21	0.07	0.9301
22	0.40	0.06	0.60	0.94	22	0.09	0.9099
23	0.40	0.08	0.60	0.92	23	0.12	0.8763
24	0.45	0.10	0.55	0.90	24	0.15	0.8522
25	0.41	0.13	0.59	0.87	25	0.19	0.8054
26	0.41	0.17	0.59	0.83	26	0.23	0.7743
27	0.41	0.22	0.59	0.78	27	0.27	0.7270
28	0.41	0.23	0.59	0.77	28	0.29	0.7122
29	0.46	0.23	0.54	0.77	29	0.31	0.6882
30	0.48	0.24	0.52	0.76	30	0.33	0.6694
31	0.52	0.27	0.48	0.73	31	0.37	0.6324
32	0.55	0.32	0.45	0.68	32	0.42	0.5816
33	0.59	0.33	0.41	0.67	33	0.44	0.5556
34	0.64	0.37	0.36	0.63	34	0.51	0.4864
35	0.64	0.40	0.36	0.60	35	0.52	0.4769
36	0.64	0.40	0.36	0.60	36	0.53	0.4742

Tabela 9: Valores dos parâmetros γ e β da Distribuição Gama aplicada aos 36 períodos anuais e respectivo teste de significância pelo método do Qui-Quadrado (X^2).

Período	γ	β	X^2	Período	γ	β	X^2
1	1.1444	13.2807	9.3088	19	1.3924	9.4139	1.0837
2	0.8122	19.7611	11.0949	20	0.8599	15.4931	3.4410
3	0.9985	15.8965	6.3796	21	1.3691	8.5105	2.1499
4	0.9861	16.1810	7.6287	22	1.2579	7.7588	4.3925
5	0.7820	18.9867	6.3941	23	0.8008	11.1906	1.9818
6	1.0689	13.9844	7.4957	24	1.1341	8.9124	5.5516
7	1.0822	14.0432	8.3125	25	1.0825	10.7946	3.5996
8	0.8220	17.8233	8.6175	26	0.8219	16.2226	4.0935
9	1.1694	11.6642	7.0778	27	0.9963	14.1508	8.2845
10	1.1394	10.6839	0.6474	28	0.9848	14.8599	8.0430
11	0.7775	14.0901	3.1164	29	0.7612	19.1838	9.4026
12	1.1571	8.4510	4.6862	30	1.0704	13.9431	13.5380
13	1.1394	8.2308	4.0908	31	1.1437	13.9550	12.3749
14	0.7914	15.0613	2.2220	32	0.9099	17.3452	11.3742
15	1.1130	10.9784	0.2745	33	1.2379	12.8098	13.8208
16	1.1118	9.1597	1.1186	34	1.1861	13.4801	10.6599
17	0.7892	11.9847	2.8934	35	0.9426	17.3155	1.2504
18	1.2326	9.5760	2.4816	36	1.1834	13.6702	8.7501

* = significativo ao nível de 5%.

Nota-se que em nenhum período o teste Qui-Quadrado foi significativo ao nível de 5% de probabilidade, assumindo-se como satisfatório o método de adequação proposto, descrito no item material e métodos.

A título de exemplo, as Figs. 4 e 5 mostram os gráficos de distribuição de frequência observada e estimada para dois períodos selecionados.

Nota-se nestas figuras uma estreita relação entre as frequências estimadas pela Distribuição Gama e os dados de frequências observadas, destacando-se apenas o pequeno número de observações registradas no período 19, fato este associado a própria distribuição anual da chuva, bem como, à sua probabilidade de ocorrência nos períodos compreendidos na

estação outono- inverno. Um histórico maior de observações, sem dúvida, daria um maior suporte para analisar a tendência , como se nota, por exemplo, na Fig. 4 uma aproximação à curva exponencial. Pode- se desprender tal conclusão, do fato dos valores dos parâmetros Gama da distribuição girarem em torno da unidade, lembrando que a Distribuição Exponencial é um caso especial da Distribuição Gama com $\gamma = 1$.

Figura 4: Histograma de frequência observada e estimada para o 1º período.

Tendo em conta estes resultados, pode-se assumir a Distribuição Gama como adequada para o ajuste dos valores originais de quantidade de chuva.

Figura 5: Histograma de frequência observada e estimada para o 19º período.

Apesar do parâmetro γ variar pouco em torno da média (1,034), e seus valores extremos produzirem curvas de probabilidade acumulada que praticamente não diferiram entre si (Fig. 6), não se assume um valor constante para γ , e a partir dos resultados obtidos elaborou-se as Tabelas 1, 2 e 3 do apêndice, que permitem a estimativa das probabilidades de chuva para um valor igual ou menor do que o especificado em cada um dos 36 períodos analisados através dos valores de probabilidades discretas de ocorrência (P_c) ou não (P_s) da chuva aplicadas ao modelo misto tendo como base a equação 24. Ou seja, a probabilidade total (P) de chover abaixo de uma dada quantidade de chuva ou de não chover é calculada pela seguinte relação:

$$P = P_s + p_c \cdot Pr$$

onde os valores de Pr são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3 do apêndice.

Figura 6: Distribuição Gama ajustada aos dados diários de chuva com valores extremos do parâmetro γ .

4.4 - Sequências de dias secos

Os dados de evapotranspiração de referência (ET_o) utilizados no balanço hídrico diário foram obtidos com o do método da Radiação, que segundo FERRAUDO (1993), possui alto coeficiente de determinação ($\cong 0,93$) quando comparado ao método de Penman para períodos de 1 dia, que não pode ser aplicado pela insuficiência de dados medidos de radiação líquida para dar consistência ao método.

Os valores médios diários para os 365 dias do ano são apresentados na Figura 7, onde pode-se notar uma variação estacional deste parâmetro, sendo menor nos períodos de menor disponibilidade energética via radiação solar, e consequentemente menor temperatura do ar e do solo, entre outros fatores.

Para definição do parâmetro CAD necessário à aplicação do balanço hídrico, procedeu-se a escolha de dois tipos de solo representativos na região em questão e, a título de exemplo, duas culturas cultivadas na região (algodão e milho), ambas pertencentes ao grupo de culturas IV, definidos por Doorenbos et al (1979).

Figura 7: Valores médios diários da Evapotranspiração de referência (E_{to}) para o período de um ano, estimados a partir dos dados climatológicos de 17 anos de observações, pelo método da Radiação. (Período 1972 à 1995).

Para o Latossolo Vermelho-Escuro textura média, calculou-se uma CAD de 70 mm para a cultura do algodão e, de 55 mm para milho. Para o Latossolo Roxo, foi utilizado a CAD de 115 mm para a cultura do milho e de 135 mm para o algodão.

Os valores da fração de esgotamento de água no solo tolerado (fração

p) utilizados variaram de acordo com a ETM diária, já que assumiu-se um coeficiente de cultivo igual a unidade.

Os dias com deficiência hídrica foram contabilizados de modo a se obterem as probabilidades empíricas ou frequência relativa de ocorrência para períodos móveis com passo de um dia. Foram determinadas as frequências de períodos consecutivos de cinco, dez e vinte dias com $ARM < ARM_c$. Os principais resultados são apresentados em forma de gráficos acompanhados do ciclo provável da cultura, com base nas épocas de semeadura recomendadas pela pesquisa, e podem ser visualizados através das Figuras 8 a 11.

Figura 8: Frequência de períodos com 5, 10 e 20 dias de deficiência hídrica para a cultura do algodoeiro cultivado em Latossolo Vermelho-Escuro na região de Jaboticabal- SP.

Nota-se através da Fig. 8, condições de boa disponibilidade hídrica para o algodoeiro a partir da 2ª quinzena de setembro no Latossolo Vermelho-Escuro (LVE), onde o risco de ocorrência de períodos de 20 dias

de deficiência hídrica ficam abaixo de 20%, ocorrência de 10 dias secos mantem-se praticamente constante e ao nível de 35% e, de cinco dias mantém-se acima de 40%. A fase de florescimento coincide com o aumento da probabilidade de ocorrência de períodos mais extensos de deficiência hídrica (10 e 20 dias), que por outro lado sempre está abaixo do nível de 40% de probabilidade e a ocorrência de períodos de 5 dias decresce até 50% no início da colheita. Como se trata de uma espécie bem tolerante à deficiência hídrica, assume-se que um adequado manejo do solo, buscando o aumento da capacidade de retenção de água, determinará menores riscos aos rendimentos da cultura.

Na Fig. 9, pode-se verificar resultados semelhantes, apenas ressaltando a maior disponibilidade hídrica no início de desenvolvimento da cultura, mas com um risco maior de ocorrência de períodos de 20 dias de deficiência hídrica (abaixo de 35%) e, um pico na probabilidade indicando que a cultura sofra um déficit hídrico de 5 dias no início do florescimento.

Para o cultivo do milho (Figs. 10 e 11), deve-se ressaltar que o período compreendido do pendoamento à polinização (início do florescimento) é crítico quanto a ocorrência de deficiência hídrica, fase esta onde se determina o número de óvulos a serem fecundados, e ainda, apesar de eficiente no uso da água, o milho é sensível tanto ao excesso como a falta de água. Nota-se uma boa disponibilidade hídrica no início de desenvolvimento da cultura, com baixo nível de probabilidade de ocorrência de períodos longos de déficit, e aumento progressivo na probabilidade de efetivação de períodos com no mínimo 5 dias de deficiência hídrica até o início do florescimento para os dois tipos de solos em questão. Durante a

fase crítica de desenvolvimento da cultura, existe aproximadamente 30 % de probabilidade de ocorrência de uma sequência de 10 dias de déficit hídrico e a de 20 dias tende a 0% para LVE, sendo o risco de perdas reduzido. Irrigação suplementar torna-se uma prática recomendável quando ocorrer uma sequência maior que 10 dias. Já para LR (Fig. 11), nesta fase crítica, sequências de 10 dias variam em torno de 25 a 30% de probabilidade de ocorrência, enquanto a de 20 dias se mantêm abaixo de 5%.

Figura 9: Frequência de períodos com 5, 10 e 20 dias de deficiência hídrica para a cultura do algodoeiro cultivado em Latossolo Roxo na região de Jaboticabal-SP.

Figura 10: Frequência de períodos de 5, 10 e 20 dias de deficiência hídrica para o milho cultivado em Latossolo Vermelho-Escuro na região de Jaboticabal - SP.

Figura 11: Frequência de períodos de 5, 10 e 20 dias de deficiência hídrica para o milho cultivado em Latossolo Roxo na região de Jaboticabal - SP.

4.5 - Ajuste ao modelo de chuvas intensas

A análise probabilística das máximas intensidades pluviométricas através da distribuição assintótica de extremos do tipo I de Gumbel revelou os seguintes resultados.

Os dados de precipitação registrados da Estação Agrometeorológica da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, utilizados até então nas demais análises, foram trabalhados a fim de se extrair as máximas precipitações observadas no período de 1972 a 1995. A estes registros somou-se uma série histórica de precipitações máximas, para esta mesma localidade, do período compreendido entre 1956 a 1971, referentes aos dados disponíveis na estação agrometeorológica do Campus da UNESP de Jaboticabal. Esses dados levantados são apresentados na Tabela 9, e a partir destes aplicou-se o método das séries anuais ou distribuição de Gumbel.

Com a aplicação do método estimou-se as precipitações máximas de um dia para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 60, 75 e 100 anos, através a equação 58 ($P_{\max}=79,723+(y-0,54) \times 19,472$), que multiplicado pelo coeficiente (1,14) proposto pelos pesquisadores do IAG/USP descrito no **MANUAL DA SABESP (1986)**, fornece a estimativa da chuva de “um dia” para qualquer período de retorno em chuva com duração de 24 horas. A partir destes resultados pode-se estimar os valores de chuvas máximas para um período contínuo de 12, 10, 8, 6 e 1 horas através dos coeficientes 0,85; 0,82; 0,78; 0,72; e 0,42, respectivamente, propostos pelos mesmos pesquisadores.

Tabela 10: Dados de precipitação máxima (mm) da Estação Agrometeorológica da FCAV/ UNESP. Jaboticabal-SP

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MAX
1956	24.0	68.0	15.0	26.0	40.0	6.5	25.5	8.0	29.0	47.0	25.0	36.0	68.0
1957	38.0	42.0	73.0	18.0	35.0	11.0	44.5	29.0	22.0	24.0	70.6	43.0	73.0
1958	70.0	30.2	36.6	32.8	38.9	38.0	3.2	10.0	45.0	42.2	30.5	33.5	70.0
1959	120.8	28.6	45.0	19.5	21.6	14.8	0.0	9.4	7.2	50.8	51.0	49.0	120.8
1960	62.5	35.0	44.2	13.8	20.7	13.1	0.0	18.2	1.2	35.4	60.0	54.2	62.5
1961	48.0	73.5	41.7	57.1	22.4	3.2	0.0	6.0	3.0	19.0	17.0	43.0	73.5
1962	125.5	68.4	75.0	5.4	5.2	39.0	2.7	11.0	13.4	35.2	29.0	52.2	125.5
1963	64.8	40.6	23.5	11.0	1.0	0.0	0.0	7.5	3.0	22.0	19.6	35.2	64.8
1964	41.0	54.0	18.7	4.5	17.5	5.4	25.8	3.0	41.0	44.0	39.2	49.2	54.0
1965	40.0	54.5	38.0	21.0	16.7	29.0	29.0	9.0	35.6	45.0	21.0	57.0	57.0
1966	31.5	44.5	52.5	53.0	27.5	0.0	0.0	14.0	12.8	42.0	40.5	91.0	91.0
1967	90.0	51.5	47.5	15.0	2.5	33.0	0.0	0.0	20.5	31.5	75.5	96.0	96.0
1968	47.5	27.5	48.0	4.2	0.0	7.5	2.0	16.5	19.0	56.0	42.0	27.0	56.0
1969	26.0	90.9	51.2	20.3	5.8	12.7	0.0	0.3	48.2	33.9	56.3	60.7	90.9
1970	53.3	68.4	23.1	26.9	10.0	18.9	8.8	19.0	22.6	40.8	19.4	56.5	68.4
1971	27.0	25.0	71.1	5.9	20.7	30.2	15.0	0.0	21.3	28.5	89.4	53.9	89.4
1972	72.1	49.4	53.2	14.2	52.1	3.1	61.6	18.1	41.8	53.4	57.3	59.3	72.1
1973	29.5	38.5	41.4	46.9	18.4	16.0	15.3	1.5	20.3	48.1	48.2	57.7	57.7
1974	41.8	49.8	63.5	9.8	3.8	24.0	0.0	0.2	1.6	35.9	32.6	45.2	63.5
1975	29.2	98.0	31.0	42.8	1.3	0.0	26.1	0.0	42.0	27.8	77.5	76.0	98.0
1976	24.0	34.1	57.6	14.5	42.0	16.0	52.2	45.6	50.0	39.3	30.0	38.5	57.6
1977	87.8	29.6	24.7	41.1	5.7	14.4	6.8	8.0	18.8	16.7	57.7	90.6	90.6
1978	30.3	78.6	60.3	20.2	22.7	27.4	25.6	0.0	33.9	75.5	39.1	47.0	78.6
1979	26.4	43.3	26.5	28.7	31.5	0.0	26.6	14.1	64.7	34.3	26.6	63.4	64.7
1980	48.5	48.7	67.7	29.7	1.0	52.4	0.0	14.8	32.8	28.3	38.5	56.1	67.7
1981	57.9	47.2	49.8	18.3	7.2	49.0	0.0	3.3	17.7	63.5	31.9	39.5	63.5
1982	63.4	62.7	57.9	27.7	8.0	11.7	11.9	9.3	17.9	38.7	48.0	58.7	63.4
1983	80.0	125.4	37.2	60.2	61.2	12.3	20.2	0.0	50.1	78.9	47.6	102.3	125.4
1984	58.8	25.2	43.7	39.1	15.7	0.0	0.0	24.2	36.3	52.5	50.0	37.7	58.8
1985	87.5	87.8	31.7	22.7	4.9	0.5	0.7	1.2	0.7	61.3	123.0	31.6	123.0
1986	81.6	39.4	40.3	15.9	21.7	0.0	35.7	54.4	15.3	11.5	39.7	79.0	81.6
1987	46.7	64.6	38.9	35.7	15.0	10.1	14.4	4.0	12.3	22.6	30.5	29.9	64.6
1988	75.2	43.6	67.8	45.5	40.4	10.8	0.0	0.0	0.0	69.7	58.0	45.8	75.2
1989	48.0	70.4	30.4	18.2	9.2	24.0	35.0	10.8	5.9	24.7	47.6	48.6	70.4
1990	37.4	33.2	108.1	22.4	28.7	0.4	4.7	25.4	8.4	18.8	28.2	84.4	108.1
1991	49.0	48.3	40.3	63.4	12.5	2.0	4.0	0.0	46.3	34.0	8.0	37.0	63.4
1992	53.2	60.4	23.6	25.4	21.5	0.0	11.4	6.1	21.6	43.7	35.8	29.6	60.4
1993	44.0	137.2	35.9	42.0	26.9	38.4	0.0	11.5	53.4	66.7	40.4	27.0	137.2
1994	36.7	38.6	41.5	11.3	20.2	10.6	7.6	0.0	2.3	80.0	52.2	35.3	80.0
1995	62.2	102.6	78.5	30.4	20.0	7.8	11.8	0.0	19.5	21.4	20.4	41.8	102.6
max	125.5	137.2	108.1	63.4	61.2	52.4	61.6	54.4	64.7	80.0	123.0	102.3	137.2

Analogamente, a partir dos resultados de chuva máxima para 1 hora de duração, o coeficiente 0,74 fornece os valores para duração de 30 minutos, e finalmente, os coeficientes 0,91; 0,81; 0,70; 0,54 e 0,34 fornecem os valores de chuvas máximas para 25; 20; 15; 10 e 5 minutos respectivamente. Os resultados mais relevantes podem ser observados na Tabelas 11 e 12.

A Figura 12 exemplifica a obtenção das curvas Intensidade- Duração-Frequência para a região de Jaboticabal, obtidos através dos dados de precipitação máxima aplicados à distribuição de Gumbel.

Tabela 11: Dados de altura de precipitação (mm) da Estação Agrometeorológico da FCAV/UNESP, região de Jaboticabal-SP.

PERÍODO DE RETORNO (anos)											
Tempo(min)	2,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	37,0	50,0	60,0	75,0	100,0
5	9.2	11.8	13.5	14.5	15.2	15.7	16.7	17.4	17.8	18.3	19.0
10	14.6	18.7	21.5	23.1	24.1	25.0	26.4	27.6	28.2	29.1	30.1
15	18.9	24.3	27.9	29.9	31.3	32.4	34.3	35.7	36.6	37.7	39.1
20	21.9	28.1	32.2	34.6	36.2	37.5	39.7	41.4	42.4	43.6	45.2
25	24.6	31.6	36.2	38.8	40.7	42.1	44.6	46.5	47.6	49.0	50.8
30	27.0	34.7	39.8	42.7	44.7	46.3	49.0	51.1	52.3	53.8	55.8
60	36.5	46.9	53.8	57.7	60.4	62.5	66.2	69.0	70.7	72.7	75.4

PERÍODO DE RETORNO (anos)											
Tempo(horas)	2,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	37,0	50,0	60,0	75,0	100,0
1	36.5	46.9	53.8	57.7	60.4	62.5	66.2	69.0	70.7	72.7	75.4
6	62.5	80.4	92.2	98.9	103.6	107.2	113.5	118.3	121.2	124.7	129.3
8	67.7	87.1	99.9	107.1	112.2	116.1	122.9	128.1	131.3	135.1	140.0
10	71.2	91.6	105.0	112.6	118.0	122.1	129.2	134.7	138.0	142.0	147.2
12	73.8	94.9	108.9	116.8	122.3	126.5	133.9	139.6	143.0	147.2	152.6
24	86.8	111.7	128.1	137.4	143.9	148.9	157.6	164.3	168.3	173.2	179.5

Tabela 12: Valores de intensidade de precipitação (mm/h) da Estação Agrometeorológica da FCAV/ UNESP, região de Jaboticabal-SP.

PERÍODO DE RETORNO (anos)											
Tempo(min)	2,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	37,0	50,0	60,0	75,0	100,0
5	110,1	141,6	162,4	174,2	182,4	188,8	199,8	208,3	213,4	219,6	227,7
10	87,4	112,4	129,0	138,3	144,9	149,9	158,7	165,4	169,5	174,4	180,8
15	75,6	97,2	111,5	119,5	125,2	129,5	137,1	142,9	146,5	150,7	156,3
20	65,6	84,3	96,7	103,7	108,6	112,4	119,0	124,1	127,1	130,8	135,6
25	58,9	75,8	86,9	93,2	97,6	101,0	107,0	111,5	114,2	117,6	121,9
30	54,0	69,4	79,6	85,4	89,4	92,5	98,0	102,1	104,6	107,7	111,6
60	36,5	46,9	53,8	57,7	60,4	62,5	66,2	69,0	70,7	72,7	75,4

PERÍODO DE RETORNO (anos)											
Tempo(horas)	2,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	37,0	50,0	60,0	75,0	100,0
1	36,5	46,9	53,8	57,7	60,4	62,5	66,2	69,0	70,7	72,7	75,4
6	10,4	13,4	15,4	16,5	17,3	17,9	18,9	19,7	20,2	20,8	0,0
8	8,5	10,9	12,5	13,4	14,0	14,5	15,4	16,0	16,4	16,9	17,5
10	7,1	9,2	10,5	11,3	11,8	12,2	12,9	13,5	13,8	14,2	14,7
12	6,2	7,9	9,1	9,7	10,2	10,5	11,2	11,6	11,9	12,3	12,7
24	3,6	4,7	5,3	5,7	6,0	6,2	6,6	6,8	7,0	7,2	7,5

Figura 12: Curva de Intensidade- Duração- Frequência para os períodos de retorno de 2 a 100 anos estimados para a região de Jaboticabal.

5 - CONCLUSÕES

A análise dos dados de precipitação de Jaboticabal, SP, (1972 a 1995), permitem concluir que:

A - METODOLOGIA UTILIZADA

1. as seqüências de dias com ou sem chuva, iniciadas nos 31 dias seguintes à determinada data, podem ser satisfatoriamente descritas pela função de Distribuição de Probabilidade Binomial Negativa Truncada, sendo qualitativamente superior às Distribuições Geométricas e Logarítmica, onde: 98% dos períodos não foram significativos ao nível de 5% de probabilidade;
2. a distribuição de freqüência de seqüências de dias secos ($ARM \leq ARM_c$) descritos pela probabilidade empírica de sua ocorrência, descreve bem o nível de exposição ao risco de déficit hídrico que uma determinada cultura poderá sofrer em uma dada fase fenológica, na região de Jaboticabal;
3. a quantidade de chuva nos dias com chuva, para os períodos de 31 dias seguintes a determinadas datas, pode ser representada pela função de Densidade de Probabilidade Gama, com seu parâmetro de forma constante para períodos de 31 dias ou mais extensos;

4. a análise de precipitações máximas (1956 a 1995), através da Distribuição Assintótica de Extremos do tipo I de Gumbel, revelou-se satisfatória para fins de previsão de eventos extremos, porém, coeficientes próprios para a região de Jaboticabal devem ser investigados.

B - REGIÃO DE JABOTICABAL - SP

1. Em Jaboticabal 81% das chuvas concentram-se de outubro a março, sendo o mês de dezembro o mais chuvoso com 17,4% do total, e o menos chuvoso em junho com 1,5% do total e praticamente 100 dias por ano apresenta altura pluviométrica superior a 1mm;
2. Independentemente do número de dias da seqüência, a probabilidade de que ocorra uma seqüência de dias sem chuva é maior que a da ocorrência de seqüências com chuva;
3. Com um mesmo nível de probabilidade, ocorre seqüências de dias sem chuva mais longos do que com chuva;
4. Não há persistência na ocorrência de um dia seco em transição com o estado do dia anterior e uma fraca dependência de um dia seguir chuvoso se o anterior for com chuva;
5. A ocorrência de períodos curtos de 5 dias com deficiência hídrica no solo é mais provável que períodos mais extensos de 10 a 20 dias, independentemente do tipo de solo ou cultura, acentuadamente nas estações primavera verão, onde a probabilidade de ocorrência de seqüências maiores de 3 dias sem chuva fica abaixo de 40%;

6. Independentemente do tipo de solo estudado, a frequência relativa de períodos de deficiência hídrica maiores que 10 dias ficam abaixo de 35% durante o ano todo.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, E. e SILVA, J.B. **Research on statistics applied to agricultural meteorology.** Geneva, W.M.O., 1971. 7p.

ARRUDA, H.V. e PINTO, H.S. A simplified gamma probability model for analysis of the frequency distribution of rainfall in the region of Campinas, SP, Brasil. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.22, p.101-8, 1980.

ASSIS, F.N. Modelagem da ocorrência e quantidade de chuvas e de dias secos em Piracicaba-SP e Pelotas-RS. Piracicaba, 1991. 134p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP)

BELL, F.Ch. Generalized rainfall duration frequency relationships. Journal of the Hydraulics Division. American Society of Civil Engineers, New York, v.95, n.1, 1969.

BERTONI e TUCCI. _____ **Hidrologia.** EDUSP, São Paulo, 1993, 943 p.

BRAGA, H.J. Caracterização da seca agrônômica através de novo modelo de balanço hídrico, na região de Laguna, litoral sul do Estado de Santa Catarina. Piracicaba, 1982. 157p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP).

BRASS, W. Simplified methods of fitting the truncated negative binomial distribution. **Biometrika**, London, v.45, p.59-68, 1958

BUISHAND, T.A. Some remarks on the use of daily rainfall models. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.36, p.295-308, 1978.

CHIN, E.H. Modeling daily precipitation occurrence process with Markov chain. **Water resources Research**, Washington, v. 13(6), p.949-56, 1977.

CHOW, V.T. **Handbook of Applied Hydrology.** Mc Graw . Hill Book Co., 1964. p.8-29.

COOKE, D.S. The duration of wet and dry spells at Moncton, New Brunswick. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, London, v.82, p.536-538, 1953.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H.; BENTVELSEN, C.L.M.; BRANSCHIED, V.; PLUSJÉ, J.M.G.A.; SMITH, M.; UITTENBOGAARD, G.O. e VAN DER WAL, H.K. **Yield response to water**. Rome, FAO, 1979. 193p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper 33).

FERRAUDO, A. S. Sistema computacional para estimativas de evapotranspiração (potencial e Real) e produtividade de cultura através de parâmetros meteorológicos derivados. Botucatu, 1993, (Doutorado - Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP).

GABRIEL, K. R. e NEWMANN, J. A markov chain model for daily rainfall occurrences at Tel Aviv. **Quarterly Journal Meteorological Society**, London, v.88, p.90-5, 1962.

KATS, R. W. Precipitation as a chain-dependent process. **Journal of Applied Meteorology**, Lancaster, v.16, p.671-6, 1977.

MANUAL DA SABESP. _____, 1986

MORETI FILHO, J. Caracterização da seca agrônômica na zona canavieira do Estado de São paulo como base para os estudos de irrigação. Piracicaba, 1965. 93p. (Livre-docência - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz/USP).

NEWHAM, E.V. The persistence of wet and dry weather. **Quartely Journal Royal Meterological Society**, London, v. 42, p. 153-62, 1996.

OCCHIPINTI, A.G. e SANTOS, P.M. Análise das máximas intensidades de chuva na cidade de São Paulo. Contribuição do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, 1965. 41p.

PFASFTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. Rio de Janeiro:DNOS. 419p. 1957

ROLDAN, J. e WOOLHISER, D. A. Stochastic daily precipitation models I. A comparison of occurrence processes. **Water Resources Research**, Washington, v.18 (5), p.1451-59, 1982a.

SCARDUA, J. A. Ocorrência de dias secos consecutivos na região de Cachoeiro do Itapemirim Estado do Espírito Santo. Piracicaba, 1979, (Mestrado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP).

SILVA, J. B. e AMARAL, E. **Precipitações pluviométricas em Pelotas, RS: Tabelas de Probabilidades.** Pelotas Ed. UFPEL, 1984. 41p.

SOARES, J. R. e DIAS, M. A. F. S. Probabilidade de ocorrência de alguns eventos extremos na cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.1 (2), p.67-75, 1986.

THOM, H. C. S. **Direct and inverse tables of the gamma distribution.** Departamente of Commerce, Environmental Data Service, 1968. 30p.

THORNTHWAITE, C. W. e MATHER, J. R. The water budget ant its use in irrigation. In: Estados Unidos. Departament of Agriculture. **Yearbook of Agriculture**, Washington, 1955. p. 346-57.

VAN BAVEL, C. H. M. A drought criterion and its application in evaluating drought incidence an hazard. **Agronomy Journal**, Madison, v.45, p.167-72, 1953.

WILKEN, P.S. **Engenharia de drenagem superficial.** São Paulo:CETESB. 477P. 1978.

WILLIAMS, C. C. Sequences of wet and dry days considered in relation to the logarithmic series. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, London, v. 78, p.91-6, 1952.

WOLF, J. M. Probabilidades de ocorrência de períodos secos na estação chuva para Brasília- DF. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.12, p.141-50, 1977.

APÊNDICE

Tabela 1: Probabilidades de chover um valor menor ou igual a uma quantidade especificada, para os períodos compreendidos entre 1º de janeiro a 21 de maio (1 a 12).

Pr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.025	0,57	0,19	0,40	0,39	0,16	0,47	0,47	0,19	0,55	0,45	0,11	0,38
0.050	1,07	0,46	0,81	0,79	0,38	0,90	0,94	0,44	1,00	0,85	0,27	0,70
0.075	1,55	0,78	1,23	1,21	0,64	1,34	1,39	0,72	1,44	1,23	0,46	1,02
0.100	2,02	1,11	0,16	1,62	0,93	1,77	1,84	1,03	1,88	1,61	0,68	1,33
0.125	2,50	1,48	2,11	2,08	1,25	2,21	2,30	1,37	2,31	1,99	0,91	1,63
0.150	2,97	1,87	2,56	2,54	1,60	2,66	2,76	1,73	2,74	2,37	1,17	1,94
0.175	3,46	2,28	3,05	3,01	1,97	3,12	3,24	2,11	3,18	2,76	1,44	2,25
0.200	3,95	2,72	3,54	3,50	2,36	3,61	3,72	2,51	3,63	3,15	1,73	2,57
0.225	4,45	3,18	4,04	4,00	2,78	4,09	4,22	2,94	4,08	3,55	2,03	2,90
0.250	4,96	3,67	4,56	4,53	3,22	4,59	4,72	3,38	4,55	3,97	2,36	3,23
0.275	5,50	4,18	5,10	5,07	3,68	5,09	5,25	3,85	5,02	4,39	2,70	3,57
0.300	6,04	4,72	5,66	5,63	4,18	5,62	5,79	4,34	5,51	4,82	3,06	3,92
0.325	6,60	5,28	6,23	6,21	4,69	6,17	6,34	4,86	6,01	5,27	3,44	4,27
0.350	7,17	5,87	6,83	6,81	5,24	6,74	6,92	5,41	6,52	5,72	3,85	4,64
0.375	7,76	6,50	7,46	7,44	5,80	7,33	7,51	5,98	7,06	6,20	4,27	5,02
0.400	8,38	7,16	8,11	8,09	6,41	7,94	8,13	6,58	7,61	6,69	4,72	5,42
0.425	9,02	7,85	8,79	8,77	7,06	8,57	8,78	7,21	8,18	7,20	5,19	5,83
0.450	9,68	8,58	9,47	9,49	7,75	9,23	9,45	7,88	8,77	7,73	5,69	6,25
0.475	10,37	9,35	10,22	10,24	8,48	9,92	10,15	8,59	9,40	8,28	6,22	6,69
0.500	11,09	10,17	11,01	11,03	9,25	10,65	10,89	9,33	10,05	8,86	6,78	7,13
0.525	11,85	11,04	11,84	11,86	10,06	11,42	11,66	10,12	10,73	9,46	7,39	7,61
0.550	12,69	11,97	12,71	12,74	10,93	12,23	12,49	10,97	11,45	10,09	8,02	8,12
0.575	13,55	12,96	13,64	13,68	11,86	13,09	13,36	11,87	12,22	10,76	8,70	8,65
0.600	14,46	14,02	14,63	14,68	12,81	14,01	14,29	12,84	13,04	11,46	9,42	9,21
0.625	15,45	15,16	15,70	15,76	13,88	15,00	15,30	13,88	13,93	12,21	10,19	9,81
0.650	16,52	16,40	16,86	16,93	15,05	16,07	16,39	15,01	14,89	13,00	11,02	10,44
0.675	17,73	17,76	18,14	18,28	16,32	17,26	17,59	16,25	15,96	13,85	11,93	11,12
0.700	19,06	19,27	19,55	19,70	17,73	18,58	18,94	17,62	17,15	14,77	12,91	11,85
0.725	20,60	20,92	21,16	21,32	19,32	20,10	20,48	19,16	18,54	15,77	13,99	12,64
0.750	22,43	22,88	23,04	23,22	21,13	21,89	22,32	20,94	20,23	16,85	15,15	13,51
0.775	24,96	25,24	25,38	25,57	23,30	24,19	24,69	23,05	22,53	18,04	16,52	14,46
0.800	26,89	27,90	26,50	27,00	25,00	25,00	25,35	25,80	23,00	19,38	18,00	15,52
0.825	28,10	30,00	28,63	28,85	27,18	26,94	27,32	26,73	24,58	20,88	19,71	16,73
0.850	30,85	32,72	31,99	32,24	30,36	30,23	30,66	29,82	27,93	22,62	21,70	18,11
0.875	33,84	35,46	33,84	34,10	33,05	31,60	32,05	32,24	28,56	24,67	24,07	19,74
0.900	36,96	37,00	37,10	38,24	38,80	38,90	39,10	39,23	29,20	27,16	27,01	21,73
0.925	39,79	45,48	42,56	42,89	42,44	39,58	40,15	41,20	35,70	30,38	30,82	24,28
0.950	45,38	53,42	48,87	49,74	49,85	45,22	45,86	48,26	40,94	34,97	36,30	27,93
0.975	54,52	66,52	59,70	60,77	62,18	54,83	55,06	60,26	48,80	43,93	46,67	34,67
0.999	65,93	83,20	72,78	74,08	78,82	66,59	66,87	76,64	59,06	53,34	59,81	41,61
Pc	0,513	0,507	0,487	0,447	0,404	0,393	0,375	0,323	0,282	0,222	0,180	0,153
Ps	0,487	0,493	0,513	0,553	0,596	0,607	0,625	0,677	0,718	0,778	0,820	0,847

Tabela 2: Probabilidades de chover um valor menor ou igual a uma quantidade especificada, para os períodos compreendidos entre 1º de maio a 20 de setembro (13 a 24).

Pr	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0,025	0,35	0,13	0,43	0,35	0,10	0,54	0,80	0,20	0,69	0,47	0,10	0,37
0,050	0,65	0,32	0,81	0,67	0,25	0,97	1,35	0,46	1,18	0,84	0,25	0,70
0,075	0,95	0,53	1,18	0,98	0,42	1,37	1,85	0,74	1,60	1,17	0,41	1,01
0,100	1,24	0,77	1,55	1,29	0,61	1,76	2,32	1,04	2,02	1,50	0,59	1,32
0,125	1,53	1,03	1,93	1,60	0,81	2,15	2,78	1,36	2,42	1,82	0,80	1,64
0,150	1,83	1,31	2,31	1,92	1,04	2,53	3,23	1,70	2,83	2,15	1,01	1,95
0,175	2,12	1,61	2,69	2,24	1,27	2,92	3,68	2,06	3,22	2,47	1,24	2,27
0,200	2,43	1,93	3,09	2,57	1,53	3,31	4,12	2,44	3,61	2,79	1,48	2,60
0,225	2,74	2,27	3,49	2,90	1,79	3,71	4,57	2,83	4,01	3,12	1,73	2,94
0,250	3,06	2,62	3,90	3,25	2,07	4,11	5,03	3,25	4,41	3,46	2,00	3,28
0,275	3,38	3,00	4,32	3,60	2,37	4,53	5,48	3,68	4,82	3,80	2,29	3,63
0,300	3,71	3,40	4,75	3,96	2,69	4,95	5,95	4,14	5,23	4,15	2,59	3,99
0,325	4,06	3,81	5,20	4,33	3,02	5,38	6,43	4,61	5,66	4,50	2,90	4,36
0,350	4,41	4,25	5,66	4,72	3,37	5,82	6,91	5,11	6,09	4,87	3,23	4,74
0,375	4,78	4,72	6,14	5,11	3,73	6,28	7,41	5,63	6,53	5,25	3,58	5,12
0,400	5,15	5,20	6,63	5,53	4,12	6,75	7,92	6,18	6,99	5,63	3,95	5,53
0,425	5,55	5,72	7,15	5,95	4,53	7,24	8,45	6,75	7,46	6,05	4,33	5,96
0,450	5,95	6,26	7,68	6,40	4,96	7,74	8,99	7,35	7,94	6,44	4,74	6,40
0,475	6,38	6,84	8,24	6,86	5,42	8,26	9,55	7,99	8,45	6,88	5,17	6,85
0,500	6,82	7,44	8,82	7,35	5,90	8,81	10,14	8,66	8,97	7,33	5,63	7,33
0,525	7,29	8,09	9,43	7,85	6,41	9,38	10,75	9,37	9,51	7,80	6,11	7,83
0,550	7,77	8,77	10,07	8,39	6,96	9,98	11,38	10,12	10,08	8,29	6,63	8,36
0,575	8,29	9,51	10,74	8,95	7,54	10,60	12,05	10,92	10,68	8,81	7,18	8,91
0,600	8,83	10,29	11,45	9,54	8,16	11,27	12,75	11,77	11,30	9,35	7,76	9,50
0,625	9,40	11,13	12,21	10,17	8,83	11,97	13,48	12,68	11,96	9,92	8,39	10,12
0,650	10,02	12,03	13,02	10,85	9,54	12,71	14,27	13,66	12,67	10,53	9,07	10,78
0,675	10,67	13,01	13,88	11,57	10,32	13,51	15,10	14,72	13,41	11,19	9,82	11,49
0,700	11,38	14,07	14,81	12,34	11,17	14,36	16,00	15,86	14,22	11,89	10,62	12,25
0,725	12,14	15,24	15,82	13,18	12,09	15,29	16,96	17,11	15,08	12,65	11,48	13,08
0,750	12,98	16,52	16,92	14,10	13,11	16,30	18,01	18,48	16,02	13,47	12,44	13,98
0,775	13,90	17,95	18,14	15,12	14,25	17,41	19,17	20,01	17,06	14,38	13,50	14,98
0,800	14,97	19,56	19,49	16,25	15,52	18,64	20,45	21,72	18,21	15,39	14,70	16,09
0,825	16,13	21,40	21,02	17,53	16,98	20,04	21,89	23,67	19,50	16,53	16,06	17,35
0,850	17,46	23,52	22,79	19,00	18,68	21,64	23,54	25,94	20,93	17,84	17,62	18,79
0,875	19,03	26,07	24,87	20,74	20,70	23,53	25,47	28,62	22,67	19,38	19,62	20,49
0,900	20,95	29,21	27,42	22,86	23,21	25,83	27,83	31,93	24,80	21,25	21,90	22,57
0,925	23,42	33,30	30,70	25,60	26,46	28,79	30,87	36,24	27,54	23,67	24,97	25,14
0,950	26,93	39,20	35,38	29,52	31,13	33,02	35,24	42,36	31,44	26,98	29,39	28,95
0,975	33,77	49,87	44,41	37,05	39,64	41,70	46,41	80,94	44,46	40,54	58,46	47,03
0,999	40,52	64,05	60,17	50,21	71,91	57,46	54,89	99,35	54,57	49,25	70,33	56,01
Pc	0,152	0,133	0,101	0,067	0,068	0,074	0,070	0,060	0,070	0,090	0,124	0,148
Ps	0,848	0,867	0,899	0,933	0,932	0,926	0,930	0,940	0,930	0,910	0,876	0,852

Tabela 3: Probabilidades de chover um valor menor ou igual a uma quantidade especificada, para os períodos compreendidos entre 1º de setembro a 21 de janeiro (25 a 36).

Pr	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0.025	0.38	0.16	0.35	0.37	0.14	0.47	0.60	0.29	0.73	0.66	0.34	0.67
0.050	0.72	0.40	0.72	0.72	0.34	0.90	1.12	0.63	1.31	1.21	0.72	1.22
0.075	1.07	0.66	1.09	1.10	0.59	1.34	1.62	1.00	1.85	1.74	1.12	1.75
0.100	1.43	0.94	1.47	1.50	0.86	1.77	2.12	1.39	2.38	2.25	1.54	2.27
0.125	1.77	1.25	1.86	1.91	1.17	2.22	2.62	1.79	2.90	2.76	1.97	2.79
0.150	2.12	1.58	2.27	2.33	1.50	2.66	3.12	2.22	3.42	3.27	2.43	3.30
0.175	2.49	1.92	2.68	2.76	1.85	3.14	3.63	2.66	3.94	3.79	2.90	3.83
0.200	2.86	2.29	3.12	3.21	2.23	3.61	4.15	3.12	4.47	4.32	3.38	4.36
0.225	3.24	2.68	3.58	3.67	2.63	4.09	4.68	3.61	5.01	4.85	3.89	4.90
0.250	3.63	3.08	4.04	4.15	3.06	4.59	5.22	4.11	5.55	5.40	4.42	5.45
0.275	4.03	3.51	4.52	4.64	3.51	5.10	5.77	4.63	6.10	5.95	4.96	6.01
0.300	4.44	3.96	5.01	5.15	3.99	5.63	6.34	5.18	6.67	6.52	5.53	6.59
0.325	4.87	4.43	5.51	5.68	4.49	6.18	6.92	5.74	7.25	7.11	6.12	7.18
0.350	5.31	4.92	6.04	6.24	5.03	6.74	7.52	6.34	7.84	7.71	6.73	7.79
0.375	5.77	5.44	6.59	6.81	5.59	7.30	8.15	6.95	8.45	8.33	7.37	8.42
0.400	6.24	5.99	7.17	7.41	6.19	7.92	8.79	7.60	9.09	8.97	8.04	9.07
0.425	6.73	6.56	7.77	8.03	6.82	8.55	9.46	8.28	9.74	9.63	8.74	9.74
0.450	7.25	7.17	8.40	8.69	7.46	9.21	10.15	8.99	10.42	10.32	9.47	10.43
0.475	7.78	7.81	9.06	9.37	8.17	9.89	10.87	9.74	11.12	11.04	10.24	11.16
0.500	8.34	8.46	9.76	10.09	8.93	10.61	11.62	10.52	11.85	11.79	11.05	11.92
0.525	8.92	9.19	10.48	10.84	9.74	11.36	12.41	11.35	12.62	12.57	11.90	12.71
0.550	9.54	9.97	11.24	11.63	10.60	12.15	13.24	12.23	13.42	13.39	12.80	13.54
0.575	10.19	10.79	12.05	12.48	11.49	12.98	14.11	13.16	14.26	14.25	13.75	14.41
0.600	10.88	11.63	12.90	13.37	12.46	13.86	15.03	14.15	15.15	15.16	14.76	15.33
0.625	11.61	12.56	13.82	14.32	13.50	14.80	16.01	15.21	16.09	16.13	15.84	16.31
0.650	12.39	13.56	14.79	15.38	14.62	15.81	17.05	16.34	17.09	17.15	16.99	17.35
0.675	13.22	14.63	15.84	16.47	15.84	16.88	18.17	17.56	18.15	18.25	18.24	18.46
0.700	14.12	15.80	16.97	17.64	17.17	18.04	19.37	18.88	19.30	19.43	19.58	19.66
0.725	15.10	17.08	18.20	18.92	18.62	19.30	20.67	20.32	20.54	20.71	21.04	20.95
0.750	16.17	18.49	19.55	20.32	20.28	20.68	22.08	21.90	21.89	22.10	22.65	22.37
0.775	17.35	20.05	21.04	21.87	22.07	22.20	23.65	23.66	23.38	23.64	24.43	23.92
0.800	18.67	21.81	22.70	23.60	24.09	23.89	25.39	25.62	25.03	25.35	26.42	25.66
0.825	20.15	23.90	24.59	25.57	26.39	25.81	27.36	27.85	26.90	27.28	28.68	27.61
0.850	21.89	26.23	26.78	27.84	29.07	28.02	29.63	30.44	29.05	29.51	31.30	29.86
0.875	23.90	29.00	29.36	30.52	32.27	30.63	32.31	33.51	31.57	32.12	34.40	32.52
0.900	26.38	32.42	32.53	33.82	36.22	33.82	35.57	37.28	34.66	35.32	38.20	35.76
0.925	29.59	36.86	36.49	38.32	41.39	37.94	39.78	42.16	38.63	39.44	43.13	39.93
0.950	34.14	43.22	42.35	44.47	41.37	43.80	45.79	49.15	44.29	45.31	50.17	45.86
0.975	56.96	84.74	74.66	78.40	98.97	73.94	74.13	91.08	67.94	71.61	91.16	72.69
0.999	67.84	85.71	74.76	69.87	102.38	82.60	81.82	95.60	78.37	79.58	96.09	84.21
Pc	0.195	0.226	0.273	0.288	0.312	0.331	0.368	0.418	0.444	0.514	0.523	0.526
Ps	0.805	0.774	0.727	0.712	0.688	0.669	0.632	0.582	0.556	0.486	0.477	0.474