

Universidade do Extremo Sul Catarinense
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

**MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA A SIMULAÇÃO DE
PRECIPITAÇÕES DE CURTA DURAÇÃO**

Edison Uggioni

Criciúma, SC
2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

EDISON UGGIONI

**MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA A SIMULAÇÃO DE
PRECIPITAÇÕES DE CURTA DURAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense para obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração:
Ecologia e Gestão de Ambientes Alterados

Orientador: Prof. Dr. Álvaro José Back

Criciúma, SC
2009

*A minha esposa Adriane, aos filhos Bruno e Hugo,
dedico este trabalho, pela grande paciência,
cumplicidade e principalmente pelo incentivo
dispensados em todas as fases da elaboração
deste. Graças a este apoio superior este
trabalho pode ser concluído.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Álvaro José Back, pela orientação, dedicação, amizade, apoio e as valiosas trocas de idéias durante toda a elaboração deste trabalho, proporcionando-me um amadurecimento profissional e pessoal;

Aos amigos e aos meus colegas de classe mostrando que as diferenças, é que nos permitem crescer;

À Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, pela concessão da bolsa e pela disponibilidade de tempo concedido na elaboração deste trabalho;

A Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina, EPAGRI, por fornecer os dados utilizados na pesquisa;

A meus pais Ambrósio e Lóide, que sempre estiveram nos apoiando, mesmo nos momentos mais difíceis de suas vidas, e pelo belo exemplo de vida.

RESUMO

Modelos matemáticos para o estudo da preservação e qualidade da água podem ser ferramentas úteis para a tomada de decisão no apoio à gestão de bacias hidrográficas. O planejamento e a gestão dos recursos hídricos em um país de grande porte como o Brasil envolvem, geralmente, bacias extensas com um vasto conjunto de elementos naturais e antrópicos. A precipitação pluviométrica é um dos elementos do clima que apresenta alta variabilidade temporal e espacial, e sua ocorrência em excessos, ou em déficit geralmente causam prejuízos à produção agrícola bem como transtornos a população em geral. Este trabalho teve como objetivo aplicar a modelagem matemática de série de dados de precipitação pluviométrica de curta duração para aplicação nos projetos de recursos hídricos. Foi utilizada a série de dados pluviográficos do período de outubro de 1980 a dezembro de 2007. Os dados de precipitação foram obtidos pela digitalização dos pluviogramas diários da estação meteorológica da Epagri, Urussanga, Sul de Santa Catarina (latitude 28,31° S, longitude 48,19° W). A resolução dos dados é da ordem de 0,1 mm, e, sempre que a precipitação observada num intervalo de tempo é menor que este valor, o intervalo é definido como seco. Para a simulação das séries de chuva horária o modelo estocástico adotado foi o modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis modificado com seis parâmetros. O ajuste dos parâmetros foi realizado tendo como base a minimização da função relacionada às expressões analíticas que definem a média, variância, e coeficiente de autocorrelação com retardo 1 e a probabilidade do período ser seco em relação aos valores estimados a partir dos dados observados. Foram ajustados os parâmetros para as séries de precipitação com durações de 1 hora, 30 min, 15 min, 10 min e 5 min, e posteriormente foram simuladas 10 séries com 100 anos de dados para cada duração estudada. A análise dos dados e os resultados nos levaram a concluir: que o ajuste dos parâmetros do modelo de Bartlett-Lewis modificado possibilita a simulação de chuvas com intervalos de duração de até 5 minutos preservando as propriedades estatísticas da precipitação em vários níveis de agregação temporal. Os totais anuais de chuva simulada para todos os intervalos de duração analisados permanecem dentro do intervalo de confiança de 95%. De forma geral observou-se a tendência de superestimativa da probabilidade dos períodos serem secos e subestimativa da covariância para intervalos de 24 horas, principalmente no verão. Para as séries de precipitação simulada com duração de 1 hora observou-se que a série de máximas anuais da série simulada manteve as características da série observada. Para as séries de precipitação simulada com duração de 30 minutos ou inferior observou-se subestimativas superior a 23% na média da série de máximas anuais, inviabilizando sua utilização direta na simulação de eventos extremos.

Palavras-chave: Precipitação, Probabilidade, Recursos Hídricos.

ABSTRACT

Mathematical models for the study and preservation and renovation of water quality can be useful tools for decision support in the management of watersheds. The planning and management of water resources in a country of large as Brazil involving usually large basins with a wide range of natural and man-made. The rainfall is one of the elements of climate that has a high temporal and spatial variability, and its occurrence in excess or in deficit often cause damage to agricultural production as well as inconvenience to the general population. This study aimed to apply the mathematical modeling of the data series of rainfall of short duration for application in water resources projects. We used the series of precipitation data for the period October 1980 to December 2007. The precipitation data were obtained by scanning the pluviogramas daily meteorological station of Epagri, Urussanga, south of Santa Catarina (latitude 28.31 ° S, longitude 48.19 ° W). The resolution of the data is of the order of 0.1 mm, and where the precipitation observed in a range of time is less than this value, the interval is defined as dry. For the simulation of rainfall time series of the stochastic model used was the model of rectangular pulses of modified Bartlett-Lewis with six parameters. The adjustment of parameters was based on the minimization of the function relating the analytical expressions that define the mean, variance and autocorrelation coefficient with probability 1 and the delay period be dried on the estimated values from observed data. We adjusted the parameters for the series of co rainfall durations of 1 hour, 30 min, 15 min, 10 min and 5 min, then 10 sets were simulated with 100 years of data for each period studied. Data analysis and results led us to conclude: that the adjustment of the parameters of the model modified Bartlett-Lewis allows the simulation of rain at intervals of up to 5 minutes duration of preserving the statistical properties of rainfall at various levels of temporal aggregation. The annual totals of simulated rainfall for all intervals of duration analysis remains within the confidence interval of 95%. In general there was a tendency of overestimation of the probability of being dry periods and underestimation of the covariance for intervals of 24 hours, especially in summer. For the series of simulated rainfall with duration of 1 hour it was observed that the series of annual maximum series of simulated maintained the characteristics of the observed series. For the series of simulated rainfall lasting 30 minutes or less was observed more than 23% underestimation in the average number of annual maximum, preventing their use in the direct simulation of extreme events.

Keywords: Precipitation, Probability, Water Resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação do modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis modificado (BACK, 1997).	33
Figura 2. Valores médios de precipitação horária (mm) e probabilidade do intervalo ser seco (PD).	44
Figura 3. Parâmetros λ e μ_x do modelo de Bartlett-Lewis Modificado para intervalos de 1 hora.	44
Figura 4. Valores da duração média das células chuvosas ($E[1/\eta]$) e do número médio de células chuvosas ($E[C]$) para intervalos de 1 hora	44
Figura 5. Valores da intensidade média (mm/h) da série observada e da simulada.	45
Figura 6. Valores de F para variância da série simulada em relação a variância da série observada para intervalos de 1 hora	46
Figura 7. Valores da probabilidade do intervalo ser seco das séries observada e da simulada bem como o valor teórico do modelo para intervalos de 1 hora.....	46
Figura 8. Valores da autocorrelação das séries observada e da simulada bem como o valor teórico do modelo para intervalos de 1 hora.....	47
Figura 9. Totais anuais de chuva da série horária.....	47
Figura 10. Aderência da série de máximas anuais de precipitação diária a distribuição de Gumbel.	49
Figura 11. Aderência da série de máximas anuais de precipitação horária a distribuição de Gumbel	49
Figura 12. Parâmetros λ e μ_x do modelo de Bartlett-Lewis Modificado para intervalo de 30 minutos.	51
Figura 13. Duração média das células chuvosas ($E[1/\eta]$) e número médio de células chuvosas ($E[C]$) para intervalos de 30 minutos.	51
Figura 14. Parâmetros λ e μ_x do modelo de Bartlett-Lewis Modificado para intervalos de 15 minutos.	52
Figura 15. Duração média das células chuvosas ($E[1/\eta]$) e número médio de células chuvosas ($E[C]$) para intervalos de 15 minutos.	52
Figura 16. Parâmetros λ e μ_x do modelo de Brartlett-Lewis Modificado para intervalos de 10 minutos.	53
Figura 17. Duração média das células chuvosas ($E[1/\eta]$) e número médio de células chuvosas ($E[C]$) para intervalos de 10 minutos.	53
Figura 18. Parâmetros λ e μ_x do modelo de Brartlett-Lewis Modificado para intervalos de 5 minutos.	54
Figura 19. Duração média das células chuvosas ($E[1/\eta]$) e número médio de células chuvosas ($E[C]$) para intervalos de 5 minutos.	54
Figura 20. Variância da precipitação da série observada e simulada nos diferentes intervalos de duração para os meses de janeiro a junho.....	57

Figura 21. Variância da precipitação da série observada e simulada nos diferentes intervalos de duração para os meses de julho a dezembro.	57
Figura 22. Probabilidade do intervalo ser seco da série de precipitação observada e simulada nos diferentes intervalos de duração para os meses de janeiro a junho.....	58
Figura 23. Probabilidade do intervalo ser seco da série de precipitação observada e simulada nos diferentes intervalos de duração para os meses de julho a dezembro.	58
Figura 24. Covariância da precipitação da série observada e simuladas nos diferentes intervalos de duração para os meses de janeiro a junho.	59
Figura 25. Covariância da precipitação da série observada e simulada nos diferentes intervalos de duração para os meses de julho a dezembro.	59
Figura 26. Autocorelação da precipitação da série observada e simulada nos diferentes intervalos de duração para os meses de janeiro a junho.	60
Figura 27. Autocorelação da precipitação da série observada e simulada nos diferentes intervalos de duração para os meses de julho a dezembro.	60
Figura 28. Totais anuais de chuva da série de 30 minutos.	62
Figura 29. Totais anuais de chuva da série de 15 minutos.	62
Figura 30. Totais anuais de chuva da série de 10 minutos.	62
Figura 31. Totais anuais de chuva da série de 5 minutos.	63
Figura 32. Aderência da série de máximas anuais de precipitação de 30 minutos a distribuição de Gumbel.....	64
Figura 33. Aderência da série de máximas anuais de precipitação de 15 minutos a distribuição de Gumbel.....	65
Figura 34. Aderência da série de máximas anuais de precipitação de 10 minutos a distribuição de Gumbel.	66
Figura 35. Aderência da série de máximas anuais de precipitação de 5 minutos a distribuição de Gumbel	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 60 minutos para os meses de Janeiro e Fevereiro. ...	38
Tabela 2. Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 60 minutos para os meses de Março e Abril.	39
Tabela 3. Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 60 minutos para os meses de Maio e Junho.	40
Tabela 4. Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 60 minutos para os meses de Julho e Agosto.	41
Tabela 5. Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 60 minutos para os meses de Setembro e Outubro. ...	42
Tabela 6. Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 60 minutos para os meses de Novembro e Dezembro. ...	43
Tabela 7. Parâmetros do modelo de Bartlett-Lewis Modificado ajustados para os dados horários de Urussanga, SC.	43
Tabela 8. Estatísticas das séries de máximas anuais da chuva de duração diária e horária.	48
Tabela 9. Precipitação máxima de duração diária e horária estimada por meio da distribuição de Gumbel.	48
Tabela 10. Parâmetros do modelo de Bartlett-Lewis Modificado ajustados para dados de intervalos de 30 minutos.	51
Tabela 11. Parâmetros do modelo de Bartlett-Lewis Modificado ajustados para dados de intervalos de 15 minutos.	52
Tabela 12. Parâmetros do modelo de Bartlett-Lewis Modificado ajustados para dados de intervalos de 10 minutos.	53
Tabela 13. Parâmetros do modelo de Bartlett-Lewis Modificado ajustados para dados de intervalos de 5 minutos.	54
Tabela 14. Estatísticas das séries de máximas anuais com duração de 30 minutos.	64
Tabela 15. Precipitação máxima com duração de 30 minutos estimada por meio da distribuição de Gumbel.	64
Tabela 16. Estatísticas das séries de máximas anuais para intervalos de 15 minutos.	65
Tabela 17. Precipitação máxima com duração de 15 minutos estimada por meio da distribuição de Gumbel.	65
Tabela 18. Estatísticas das séries de máximas anuais para intervalos de 10 minutos.	66
Tabela 19. Precipitação máxima com duração de 10 minutos estimada por meio da distribuição de Gumbel.	66
Tabela 20. Estatísticas das séries de máximas anuais com duração de 5 minutos.	67
Tabela 21. Precipitação máxima com duração de 5 minutos estimada por meio da distribuição de Gumbel.	67

LISTA DE SÍMBOLOS

a = taxa de decaimento do campo de precipitação gerado por uma célula

Correl = Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

Covar = Autocovariância com retardo de 1 (mm^2)

$\text{cov}[Y_i, Y_{i+\tau}]$ = autocovariância com retardo τ (mm^2)

Var = variância da precipitação no intervalo (mm^2)

d = distância do ponto p à célula

1 = esperança do máximo valor do campo de precipitação gerado por uma célula

$E(Y^h)$ = média da precipitação no intervalo de h horas (mm)

exp = exponencial

F = Freqüência

f_i = função analítica

f_o = valor observados

h = hora

k = índice mensal do calendário ($k=1$ para janeiro, 2 para fevereiro, ...)

km = quilômetro

ln = logaritmo neperiano

m = número de funções consideradas

min = minuto

mm = milímetro

$n_k^{(h)}$ = número total de intervalos de tempo de h horas no mês k ;

n = número de anos de dados

n_d = número observado de intervalos

PD = probabilidade do intervalo ser seco

$\rho(h,1)$ = coeficiente de autocorrelação com retardo 1

S = desvio padrão dos valores observados na série de máximas anuais

S_n = desvio padrão da variável reduzida y

T = período de retorno

t = tempo (min ou h)

$\text{Var}[Y^h]$ = variância dos valores de precipitação no intervalo de h horas (mm^2)

$X(t)$ = variável randômica

X_T = precipitação máxima

$X(u_p, v_p)$ = precipitação total

$\bar{X}(\beta)$ = precipitação média

\bar{x} = média dos valores observados na série de máximas anuais

$Y_{i,j,k}^{(h)}$ = valor de precipitação total do j-ésimo intervalo do ano i para o mês k

$\gamma(h)$ = variância observada para o intervalo de tempo h horas (mm^{-2})

Y_n = média

S_n = desvio padrão da variável reduzida y

w = variância do número de células associado a um agrupamento

λ = parâmetro do modelo de MPRBL

k = parâmetro do modelo de MPRBL

ϕ = parâmetro do modelo de MPRBL

η = parâmetro do modelo de MPRBL

α = parâmetro de forma da distribuição gama

υ = parâmetro de escala da distribuição gama

μ_x = valor esperado da intensidade da célula (mm h^{-1})

$\mu_k(h)$ = média observada para o intervalo de tempo de h horas (mm);

ϕ_d = proporção de intervalos de h horas de duração sem chuva

σ^2 = variância das células em torno do centro do agrupamento

σ =: desvio padrão entre o centro do agrupamento e suas células

Σ = somatório

% = percentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos.....	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos.....	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 Precipitação.....	15
2.2 Modelagem Matemática.....	18
2.3 Modelagem estocástica.....	19
2.4 Modelagem da precipitação na Teoria do Processo Pontual.....	20
2.5 Precipitações intensas.....	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Resultados para intervalos de 1 hora.....	35
4.2 Resultados para intervalos de duração inferior a 1 hora.....	50
5 CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS	69
APÊNDICES	73

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos tanto no Brasil como em todo o mundo, não estão tendo a atenção necessária dos governos e também pela população em geral. Isto nos leva a enfrentar num futuro muito próximo desafios relacionados com o aproveitamento e controle desses recursos hídricos.

Segundo Uggioni (2005), para os estudos de preservação e utilização dos recursos hídricos é de grande interesse o conhecimento da distribuição temporal e espacial da precipitação, para todos que estão envolvidos nos desafios futuros, principalmente para a manutenção e aproveitamento em escalas desejáveis desses recursos. Em muitos casos o sucesso ou o fracasso de um empreendimento que envolve atividades agrícolas ou não, depende muito da ocorrência de precipitação, observados a sua duração e quantidade.

Em sua publicação Barth et. al. (1987), que trata de modelos para gerenciamento de recursos hídricos, diz que a água é recurso natural, renovável pelos processos físicos do ciclo hidrológico. A Terra comporta-se como um destilador, em que a água, após evaporar-se dos oceanos, dos lagos, dos rios e da superfície terrestre, precipita-se sob a forma de chuva, neve e gelo, corre pela superfície, infiltra-se no subsolo, escoar pelos aquíferos, é absorvida pelas plantas e transpirada para a atmosfera, da qual torna a precipitar-se, e, assim, sucessivamente.

A água distribui-se de modo irregular, no tempo e no espaço, em função das condições geográficas, climáticas e meteorológicas. Para tanto devemos considerar a água como recurso finito e de ocorrência aleatória, embora, recurso renovável. Com a capacitação tecnológica o homem procura entender os fenômenos do ciclo hidrológico, mensurando as suas fases.

Os impactos sobre o meio ambiente, associados ao desenvolvimento de atividades pelo homem em uma bacia hidrográfica, estão fortemente inter-relacionadas e têm, a cada dia, se tornado mais evidentes. Dado a este fator devemos ter a concepção de uma gestão integrada dos recursos naturais em várias partes do mundo, inclusive em países em desenvolvimento como o Brasil.

Modelos matemáticos para o estudo da preservação e qualidade da água podem ser ferramentas úteis para a tomada de decisão no apoio à gestão de bacias hidrográficas. O planejamento e a gestão dos recursos hídricos em um país de grande porte como o Brasil envolvem, geralmente, bacias extensas com um vasto conjunto de elementos naturais e antrópicos.

A precipitação pluviométrica é um dos elementos do clima que apresenta alta variabilidade temporal e espacial, e sua ocorrência em excessos ou em déficit geralmente causam prejuízos a produção agrícola bem como transtornos a população em geral. Para dimensionar as obras de engenharia executadas para contornar os problemas de excesso ou falta de chuva são utilizados valores de chuva associadas a riscos de ocorrência, chamadas chuva de projeto. Essas chuvas são obtidas por meio de análises de longas séries de dados observados, e portanto só podem ser obtidas em locais com longos registros históricos da precipitação.

No Brasil existe relativa facilidade de obter dados de chuva de duração diária, porém para chuvas de menor duração, dado a escassez de equipamentos registradores esses dados dificilmente são disponíveis, e quando existem são séries relativamente curtas e apresentam muitas falhas nos registros de dados.

A utilização da modelagem matemática para simulação de chuvas apresenta a grande vantagem de obtenção de longas séries de dados sem falhas, possibilitando a simulação do funcionamento de sistemas hidrológicos e a estimativa dos riscos de ocorrências de eventos extremos como secas e estiagens.

Existem vários modelos largamente usados para a simulação de chuvas diárias, no entanto, poucos trabalhos foram apresentados para testar modelos para chuvas de curta duração. Neste sentido destacam-se os modelos de pulsos retangulares em que vários trabalhos (RODRIGUES-ITURBE, 1988; BACK, 1997; DAMÉ, 2001; DAMÉ et al., 2006) mostraram serem eficientes na simulação de chuvas de duração horária, preservando as características das séries de dados observadas.

Na área da engenharia de drenagem há grande carência de informações de chuvas de durações inferiores a 1 hora, em muitas ocasiões necessita-se de dados de chuva com duração de 5 minutos. A aplicação de modelos matemáticos na geração de séries de dados de chuva poderá suprir essa carência de informações, no entanto há necessidade de avaliar a possibilidade de aplicar esses modelos para simulação de chuvas com duração inferior a uma hora e também de avaliar a sua aplicação na estimativa de intensidades de chuvas extremas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Aplicar a modelagem matemática na simulação de séries de dados de precipitação pluviométrica de curta duração aplicada aos projetos de recursos hídricos .

1.1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um modelo para simular séries de chuvas com durações inferiores a 1 hora;
- Analisar a variação sazonal das características da chuva de curta duração;
- Simular séries de chuvas e verificar a aderência com as séries observadas ;
- Verificar a adequação do modelo para estimativas de chuvas extremas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Precipitação

O processo de precipitação pluviométrica é entendido como sendo a água proveniente do vapor d'água da atmosfera que é depositada na superfície terrestre em forma de chuva, orvalho, granizo, neblina, neve ou geada. Para que ocorra a precipitação, é necessário que o peso das gotas de água seja maior que o das forças que as mantêm em suspensão, de tal forma que adquiram uma velocidade de queda superior á das componentes verticais dos movimentos atmosféricos.

Conforme Back (1997), para as condições de clima do Brasil, somente as chuvas têm importância no que se refere a problemas de geração de escoamento superficial. As principais características da precipitação são: a duração, o volume total precipitado, sua distribuição temporal e a distribuição espacial.

Segundo Goulart (1991), as chuvas se classificam em :

- Frontais;
- Orográficas;
- Convectivas.

As chuvas frontais são formadas da interação de massas de ar quentes e frias, ou seja, do movimento de massas de ar de regiões de alta pressão, para regiões de baixa pressão. Desta forma, o ar mais quente e úmido é impulsionado para cima, resfriando-se e condensando-se, de forma a ocasionar as chuvas. São chuvas de grande duração e de média a alta intensidade (TUCCI, 1993). As frentes frias podem ter largura de cerca de 500 km, enquanto que a frente quente atinge faixas com largura inferior de até 300 km. Em Santa Catarina as frentes frias assumem grande importância na distribuição das chuvas durante o ano todo.

As chuvas orográficas formam-se quando os ventos quentes e úmidos que sopram do oceano para o continente, encontram uma barreira montanhosa, elevando-se e resfriando adiabaticamente. Neste ponto, ocorre a condensação do vapor, a formação de nuvens e a ocorrência de chuvas. As características das chuvas orográficas dependem da altitude e conformação do relevo e da direção do vento, porém em geral são chuvas de intensidade variável e grande duração, abrangem áreas relativamente pequenas e caracterizam-se por

serem freqüentes. Em Santa Catarina as chuvas orográficas determinam os maiores totais pluviométricos próximo a Serra do Mar e Serra Geral.

As chuvas convectivas são caracterizadas por serem de grande intensidade e curta duração distribuindo-se sobre áreas mais restritas, podendo causar inundações em pequenas bacias hidrográficas. Ocorrem quando o ar úmido é aquecido na vizinhança do solo, e criam-se camadas de ar que se mantêm em equilíbrio instável. Desta forma uma brusca ascensão local de ar menos denso atingirá seu nível de condensação com formação de nuvens e até precipitações. Essas chuvas são em geral de curta duração e alta intensidade, abrangendo áreas relativamente pequenas. Células convectivas atingem áreas de 25 a 30 km² com nuvem que podem se elevar até 15 km gerando grandes intensidades de chuva.

A ocorrência de um tipo de chuva não exclui o outro. O efeito orográfico pode se fazer sentir tanto para as perturbações dos sistemas frontais quanto para as trovoadas de convecção térmica. Na Região Sul é comum, nos meses mais quentes, as frentes frias virem acompanhadas de trovoadas ao longo da linha frontal, observando-se pancadas de chuvas fortes seguidas de chuvas de menor intensidade e maior duração. As chuvas mais intensas e persistentes tendem a ocorrer quando a atividade convectiva é associada à frente fria. Nessas situações ocorrem as chuvas pré-frontais, em que elevados volumes são precipitados em curtos intervalos de tempo, funcionando a convecção térmica como um gatilho de detonação da instabilidade (BACK, 2002).

As precipitações independentemente do tipo em que sejam classificadas, ocorrem na forma de células de chuva, que são pontos de taxas de chuvas elevadas (GOULART, 1991). Essas células agrupam-se e dão origem às tormentas, que são uma perturbação meteorológica acompanhada de fenômenos como chuva, relâmpagos, trovões e vento.

Burlando e Rosso (1993), consideram que se conhecendo os mecanismos de formação da precipitação, bem como das formas como essa ocorre, percebe-se a complexidade envolta nesse fenômeno. Considera-se a chuva como principal entrada de água nas bacias hidrográficas, decorrendo a partir dela a resposta da bacia, que será função da interceptação, das condições antecedentes de umidade do solo, da topografia, do tipo e cobertura do solo, e da evaporação .

A movimentação contínua, a ascensão e a dissipação das massas de ar determinam a variação temporal e espacial das precipitações (GOULART, 1991).

Para as medidas de precipitação exprime-se a quantidade de chuva pela altura de água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. Ela é avaliada por meio

de medidas executadas em pontos previamente escolhidos, utiliza-se para a verificação destas medidas os pluviômetros ou pluviógrafos, conforme sejam simples receptáculos da água precipitada ou registrem essas alturas no decorrer do tempo.

Segundo Tucci (1993) as grandezas características das medidas pluviométricas são:

Altura Pluviométrica (h): medida realizada no pluviômetro e expressa em mm. É a quantidade de água precipitada por unidade de área. Representa a altura da lâmina de água que cobriria a área atingida pela precipitação.

Intensidade da Precipitação (i): é a relação entre a altura pluviométrica (h) e a duração (t) da precipitação expressa, geralmente em mm/h ou mm/min.

Duração (t): período de tempo contado desde o início até o fim da precipitação (em horas ou minutos).

Frequência (F): é dado pelo número de ocorrência de determinado valor de precipitação num intervalo de tempo. Para a aplicação da engenharia a frequência da chuva é definida preferencialmente pelo período de retorno (T) medido em anos, significando que um evento de chuva com duração (t) e intensidade (i) será igualado ou superado em média uma vez a cada (T) anos.

As medidas realizadas nos pluviômetros são periódicas; em geral, em intervalos de 24 horas feitas normalmente às 9 horas da manhã.

Os pluviômetros são aparelhos mais simples que acumulam a água da chuva no interior de um recipiente. A altura pluviométrica é dada pela relação entre o volume de água coletado e a área da superfície do pluviômetro. Os Pluviógrafos são instrumentos que registram a altura pluviométrica e a duração da chuva em gráficos, tendo a vantagem de fornecer a intensidade da chuva. Existem diferentes tipos de pluviógrafos, variando desde aparelhos que registram em gráficos diários, outros semanais (GOULART, 1991).

A precisão das medidas depende do tipo de aparelho utilizado. Nos pluviogramas diários pode-se obter boa precisão para a chuva com durações iguais ou superiores a 5 minutos, enquanto que nos diagramas semanais a precisão é para durações de aproximadamente 30 minutos. Nos aparelhos com gráficos diários recomenda-se trocar o gráfico cada vez que registrar a chuva, e caso não ocorra nenhuma precipitação pode-se manter o mesmo gráfico por até 4 dias.

Para a agricultura de um modo geral, talvez o aspecto mais importante, com respeito à chuva, além da sua quantidade e variabilidade seja a sua frequência, isto é, o número de dias, dentro de um mês ou estação, no qual a quantidade de chuva exceda um valor especificado. O conhecimento antecipado das condições locais de solo, radiação solar e

precipitação pluvial, e sua variação ao longo de um cultivo, são significativos para a obtenção de rendimentos satisfatórios, visto que esses fatores são determinantes para o sucesso nos cultivos. Ribeiro e Lunardi (1997) salientam a importância da caracterização da precipitação para o planejamento de atividades agrícolas, como também no dimensionamento de reservatórios de água, na elaboração de projetos de proteção e conservação de solos e em atividades de lazer e esportes.

2.2 Modelagem Matemática

Bassanesi (2002) define modelagem matemática como a arte que transforma situações reais em problemas matemáticos e após obter os resultados interpreta-os na linguagem do mundo real. A modelagem matemática, em seus vários aspectos, é um processo que avalia teoria e prática, motiva seu usuário na procura do entendimento da realidade que o cerca e na busca de meios para atingir sobre ela e transformá-la.

Em suas publicações Krioukv (1996) afirma que os primeiros passos da Matemática foram também os primeiros passos da modelagem matemática e baseia-se no fato de que a Matemática surgiu de algumas tarefas práticas por meio de formalização de qualquer coisa com o objetivo de economizar esforços nas operações com as mesmas. O que segundo ele é a essência da modelagem.

Já para Bald (1993) define modelagem matemática como o estudo de situações reais e problemas no qual a linguagem para compreensão, simplificação e resolução utilizada é a Matemática. Um modelo é considerado apropriado até que surja outro melhor que o substitua. Portanto um bom modelo é aquele que serve como base para a formulação de novos modelos.

Uma das alternativas para se obter dados de chuva do ponto de vista da sua ocorrência é através da formulação de modelos matemáticos que auxiliam no planejamento ambiental.

Estudos feitos por Clarke (1975), modelos matemáticos são representação de sistemas complexos que envolvem equações acompanhadas de expressões lógicas, que relacionam variáveis e parâmetros.

Os fenômenos hidrológicos podem ser estudados através de um modelo matemático caracterizado por observações sistemáticas do fenômeno.

Para uma boa modelagem matemática de um fenômeno hidrológico, devemos ter bem distintos o fenômeno e o modelo matemático a ser empregado. O professor J. Neymann escreve:

Todas às vezes que empregamos Matemática, a fim de estudar alguns fenômenos de observação, deveremos essencialmente começar por construir um modelo matemático (determinístico ou probabilístico) para esses fenômenos. Inevitavelmente, o modelo deve simplificar as coisas e certos pormenores devem ser desprezados. O bom resultado do modelo, depende de que os pormenores desprezados sejam ou não realmente sem importância na elucidação do fenômeno estudado. A resolução do problema matemático pode estar correta e, não obstante, estar em grande discordância com os dados observados, simplesmente porque as hipóteses básicas feitas, não sejam confirmadas. Geralmente é bastante difícil afirmar com certeza se um modelo matemático especificado é ou não adequado, antes que alguns dados de observação sejam obtidos. A fim de verificar a validade de um modelo, deveremos deduzir certo número de conseqüências de nosso modelo e, a seguir, comparar esses resultados previstos com observações (NEYMAN; SCOTT, 1958).

2.3 Modelagem estocástica

Paiva (2001), descreve a modelagem estocástica da precipitação como sendo muito útil para ser empregada nos estudos que envolvem os fenômenos hidrológicos como escoamento superficial, infiltração e erosão do solo.

A modelagem da precipitação não é uma tarefa simples devido à variabilidade temporal e espacial exibida por esse fenômeno. Um Processo Estocástico é definido como uma coleção de variáveis randômicas ($X(t)$) indexadas por um parâmetro t pertencente a um conjunto T . Frequentemente T é tomado para ser o conjunto dos inteiros não-negativos e $X(t)$ representa uma característica mensurável de interesse no tempo t . Os processos estocásticos são de interesse para descrever o procedimento de um sistema operando sobre algum período de tempo, com isso, em termos formais, a variável randômica $X(t)$ representa o estado do sistema no parâmetro (geralmente tempo) t (PAIVA, 2001).

Em suas pesquisas Waymire e Gupta (1981) mencionam que ao longo do tempo, muitos modelos são propostos, e está claro que não existe uma forma única de modelagem. Isso, pelas características do fenômeno em si, pelas ferramentas matemáticas e estatísticas disponíveis, bem como pelo objetivo que se deseja atingir quando se modela esse processo.

As chuvas pela sua grande importância na agricultura e nos ramos da engenharia, tem possibilitado muitas pesquisas utilizando-se ferramentas matemáticas como propostas para modelar todo esse processo.

Modelar matematicamente as precipitações, como um fenômeno contínuo-intermitente no tempo e no espaço, é uma tarefa difícil, talvez até impossível. Outra abordagem é modelar a chuva a partir das suas observações pontuais efetuadas em pluviômetros e pluviógrafos.

Existem várias referências que discutem os modelos estocásticos de precipitação, tais como: Kelman (1987), Waymire e Gupta (1981) e Foufoula (1985). Clarke (2002) também apresenta uma revisão de alguns métodos estocásticos, que foram aplicados nos últimos 30 anos.

A modelagem de precipitação em intervalos diários tem sido realizada por meio da aplicação de cadeias de Markov. Uggioni (2005) mostrou que a cadeia de Markov de primeira ordem em dois estados descreveu bem a seqüência de dias secos e chuvosos na região sul de Santa Catarina, e que a utilização da distribuição exponencial permite estimar os valores de chuva diária mantendo as características da precipitação.

2.4 Modelagem da precipitação na Teoria do Processo Pontual

Notável desenvolvimento a respeito da modelagem de precipitação são os modelos de processos pontuais de precipitação descritos por Rodriguez-Iturbe (1987). Estes modelos consideram que as chuvas são formadas por células, unidades básicas de precipitação, cuja distribuição no tempo segue um processo estocástico definido. Para esta representação existe uma série de processos já estudados pela teoria dos processos pontuais (COX; ISHAM, 1980, 1988). Nesta modelagem considera-se que as células distribuem-se no tempo em agrupamentos, chamados “*clusters*”, e que cada célula é considerada como um pulso com duração aleatória e intensidade aleatória e constante durante a duração da célula.

Dois processos pontuais de agrupamentos de células descritos por Rodriguez-Iturbe (1987) são o processo de Bartlett-Lewis e o processo de Neyman-Scott, dando origem ao modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis e ao modelo de pulsos retangulares de Neyman-Scott. A diferença entre ambos é relativamente sutil, e é muito improvável que a análise empírica dos dados possa ser utilizada para a escolha entre ambos os modelos.

Segundo Entekhabi et al. (1989), geralmente um modelo baseado em uma forma especial do processo Bartlett-Lewis é particularmente mais acessível a análise matemática e por isso vem sendo a forma de processos agrupados de maior uso direto em aplicações. O

modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis com cinco parâmetros (λ , β , γ , η , μ_x) pode ser assim descrito:

- (1) Supõe que a origem da chuva ocorre no processo Poisson com taxa λ ;
- (2) cada origem é seguida por um processo Poisson com taxa β de células;
- (3) após o tempo exponencialmente distribuído com taxa γ o processo de geração de novas células termina;
- (4) a duração das células são variáveis aleatórias independente e exponencialmente distribuídas com parâmetro η ;
- (5) cada profundidade de célula é uma constante aleatória exponencialmente distribuída com média μ_x .

O processo Poisson é uma distribuição discreta empregada em situações probabilísticas onde a área de oportunidade de ocorrência de um evento é grande, mas a oportunidade de ocorrência em um intervalo particular é muito pequena. Daí o Processo Poisson ser adequado para utilização na modelagem da precipitação, pelo fato de suas características de estacionaridade, não-multiplicidade e independência serem compatíveis com as exibidas pelo fenômeno de chuva.

Os modelos de pulsos retangulares de Neyman-Scott e Bartlett-Lewis foram aplicados aos dados de precipitação de Denver, por Rodriguez-Iturbe et al. (1987), que observaram que esses modelos são capazes de preservar as grandezas estatísticas da precipitação, incluindo valores extremos, em períodos de 1 hora até 24 horas, porém foram incapazes de preservar a proporção de períodos secos em níveis de agregação superior a 1 hora.

Rodriguez-Iturbe (1988) modificaram o modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis, permitindo que o parâmetro da distribuição exponencial da duração da célula varie de chuva para chuva de acordo com a distribuição gama. Com esta modificação o modelo foi também capaz de reproduzir a proporção de períodos secos em vários intervalos de tempo.

O modelo modificado de Bartlett-Lewis assume que o valor de η para diferentes chuvas são variáveis aleatórias independentes tendo uma distribuição gama com índice α e parâmetro de escala ν , isto é:

$$E(\eta) = (\alpha/\nu) \quad \dots(1)$$

$$\text{Var}(\eta) = (\alpha/\nu^2) \quad \dots(2)$$

E o valor esperado da duração da célula é:

$$E(1/\eta) = \nu/(\alpha-1) \quad \dots(3)$$

O modelo modificado tem seis parâmetros (λ , α , ν , k , ϕ , μ_x) sendo chamado de modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis modificado. O parâmetro λ governa o tempo de origem das tormentas; k é responsável pela simulação do tempo de origem das células de chuva associadas às tormentas; ϕ é usado na simulação do tempo em que não mais se originam células de chuva; o parâmetro μ_x governa a média das alturas de células associadas às tormentas. Os parâmetros de forma e escala da distribuição gama, α e ν , foram introduzidos na versão modificada deste modelo para simular η , que especifica a duração de cada célula de chuva, sendo variável de tormenta a tormenta. Islam et al. (1990) estudaram a dependência dos parâmetros do modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis modificado com a variação sazonal e espacial da precipitação na bacia do rio Arno, na Itália.

Um procedimento natural para o ajuste de um modelo com “**p**” parâmetros consiste em equacionar “**p**” diferentes momentos estatísticos, tomados da série de dados observados, com suas expressões derivadas para o modelo e resolver simultaneamente o conjunto de equações. Neste caso o modelo irá ajustar exatamente “**p**” momentos amostrais, porém o ajuste dos demais valores não é garantido. Um procedimento mais flexível consiste em ajustar um conjunto maior de momentos estatísticos.

Outra forma de obter o ajuste, adotada por Entekhabi et al. (1989) e por Cowpertwait et al. (1996) consiste em minimizar a soma de quadrados dos desvios entre os valores observados e os valores estimados pelo modelo. Neste esquema os resíduos são normalizados pelos respectivos valores históricos. Assim considerando $f_i \equiv f_i(\lambda, \alpha, \nu, k, \phi, \mu_x)$ como sendo uma função do modelo e f_o como sendo o valor amostral tomado de uma série histórica de valores, e supondo ainda **m** funções, a estimativa dos parâmetros pode ser feita minimizando a seguinte soma de quadrados:

$$S = \sum_{i=1}^m W_i (1 - f_i / f_o)^2 \quad \dots(4)$$

Em que W_i permite aplicar peso diferente a algum momento. Cowpertwait (1996) aplicou peso 100 (cem) ao valor da média e peso 1 (um) aos demais momentos de modo a garantir que o modelo gere dados de chuva com a mesma média histórica.

Khaliq e Cunnane (1996) utilizaram cinco conjuntos de dados estatísticos diferentes para cada mês de dados horários para estimar os parâmetros do modelo, sendo que quatro conjuntos consistiam de seis diferentes momentos amostrais onde os parâmetros do modelo foram estimados resolvendo simultaneamente seis equações e seis incógnitas. O outro conjunto de dados consistiu de 16 diferentes momentos estatísticos (média, variância,

autocorrelação com retardo 1 e probabilidade do intervalo ser seco para 1, 6, 12 e 24 horas), e os parâmetros do modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis modificado foram estimados minimizando a soma de quadrados dos desvios. Neste trabalho os autores observaram que os parâmetros estimados com este quinto conjunto de dados foi o que produziu uma seqüência de dados de chuva que mais se assemelha com os valores históricos.

O outro processo pontual de agrupamentos de células o Processo de Neyman-Scott apresenta um grande número de variações para representar eventos de chuva. Todas essas variações são essencialmente as mesmas na maneira que modelam a ocorrência dos eventos de precipitação, isto é, ocorrências de células de chuva, definidas como unidades básicas de precipitação.

No processo mais utilizado de Neyman-Scott, as células ocorrem em agrupamentos no espaço. Cada um dos agrupamentos contém um centro distribuído no espaço segundo o processo Poisson Bidimensional com parâmetro λ . Esses centros são apenas pontos no espaço nos quais a quantidade de células de precipitação é maior ao redor deles. A quantidade de células associadas a cada agrupamento é sorteado ao acaso e a localização dessas células em torno desses pontos segue a distribuição normal bivariada com parâmetro σ^2 (variância das células em torno do centro do agrupamento).

$$f(y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{(u_y - u_z)^2 + (v_y - v_z)^2}{\sigma^2}\right)\right\} \quad \dots(5)$$

Onde: $z = (u_z, v_z)$ é a posição do centro do agrupamento

$y = (u_y, v_y)$ é a posição da célula de precipitação

Os modelos de agrupamentos são uma classe especializada de modelos estocásticos. Esses modelos são utilizados para simular chuva por preservar as características das precipitações em diferentes escalas de tempo e também, por constituírem em sua estrutura a potencialidade de representar as células de chuva.

Há um caso particular do modelo Neyman-Scott conhecido como modelo Poisson, onde a distribuição espacial de precipitação não apresenta estrutura de agrupamento, ou seja, é considerado que cada célula de agrupamento se localiza no próprio centro do agrupamento. Essas células se distribuem no espaço segundo o Processo Poisson bidimensional, de forma análoga ao modelo Neyman-Scott. O modelo Neyman-Scott só deve ser usado quando as células de precipitação estiverem realmente agrupadas, caso contrário, o uso do modelo Poisson é mais vantajoso por conter uma quantidade menor de parâmetros.

Tanto para o modelo Neyman-Scott quanto para o modelo Poisson, cada célula (i) gera um campo de precipitação próprio cujo máximo ocorre no ponto de localização da célula y_i , e decai exponencialmente gerando um valor de precipitação para qualquer ponto $p = (u_p, v_p)$ segundo a função:

$$h_{\alpha_m}(p, y_i) = \alpha_m \exp(-2a^2 d^2) \quad \dots(6)$$

Onde: $d = |p - y_i|$; é a distância do ponto p á célula;

α_m ; é uma variável aleatória como o máximo de campo de precipitação da célula.

a ; é um parâmetro do modelo que apresenta a taxa de decaimento do campo de precipitação gerado por uma célula.

O modelo Neyman-Scott contém cinco parâmetros:

λ : valor esperado do número de agrupamentos por km^2

w : variância do número de células associado a um agrupamento

σ : desvio padrão entre o centro do agrupamento e suas células

$E[\alpha_m]$: esperança do máximo valor do campo de precipitação gerado pó uma célula

a : taxa de decaimento do campo de precipitação gerado por uma célula

O modelo Poisson contém apenas três parâmetros: $\lambda, E[\alpha_m], a$.

A precipitação total dada pelo modelo Neyman-Scott num ponto \mathbf{p} qualquer é:

$$X(u_p, v_p) = \sum_i h_{\alpha_m}(p, y_i) \quad \dots(7)$$

A precipitação média de um campo de precipitação $X(u,v)$ numa região β , de área A , é obtida através da integração de $X(u,v)$ em β e é dada por:

$$\bar{X}(\beta) = \frac{1}{A} \int_{\beta} x(u,v) dudv \quad \dots(8)$$

Estima-se os parâmetros tanto do modelo Neyman-Scott quanto do modelo Poisson, reduzindo-se o número de parâmetros da função de correlação espacial.

Back (1997) utilizando o modelo de Bartlett-Lewis gerou séries da chuva horária mantendo as características estruturais da chuva. No entanto não foi realizado verificação dos valores extremos simulados e também não foi estudado a simulação para intervalos menores.

Damé (2001) de posse dos dados pluviográficos de 1982 a 1998, da cidade de Pelotas no Rio Grande do Sul, para os seus estudos sobre a desagregação de precipitação diária para estimativa de curvas intensidade-duração-freqüência, também utilizou o modelo de

simulação de chuva Bartlett-Lewis do Pulso Retangular Modificado, para verificar com o uso deste modelo se as chuvas simuladas preservam as características estatísticas históricas do processo de precipitação.

2.5 Precipitações intensas

Chuva intensa define-se como sendo aquela que registra um grande volume de água precipitado num curto espaço de tempo. Estas chuvas intensas ocorrem isoladamente ou associadas a outros sistemas meteorológicos. As precipitações intensas, geralmente estão acompanhadas de trovões, descargas elétricas, granizos e ventos fortes. O fator favorável para o seu desenvolvimento é a presença de ar quente, úmido e instável. Nas regiões montanhosas as formações isoladas são comuns e isto se deve a um forte gradiente térmico vertical, como resultado de aquecimento diurno intenso (BEIJO et al., 2003).

A precipitação máxima provável pode, portanto ser vista não como um limite físico, que pode vir a ocorrer para as condições analisadas, mas sim, como um evento cuja superação está associada a uma probabilidade muito baixa. Muitas organizações vinculadas à segurança de barragens recomendam explicitamente a precipitação máxima provável para o caso de grandes obras, em que a transposição envolve grandes riscos (SUGAI; FILL, 1990).

Na Região Sul, Sudeste e Centro Oeste do Brasil as chuvas intensas ocorrem principalmente nas estações de primavera e verão por vórtices ciclônicos e aglomerados convectivos. Estes sistemas são intensificados, quando associados a sistemas frontais (VIANELLO, 1991).

Vieira, Lombardi Neto, Burrows (1981), relata que o conhecimento da chuva diária máxima provável é importante para trabalhos de conservação do solo, estradas, barragens e drenagens, para cujo dimensionamento adequado é necessário conhecer ocorrências extremas. O fato dos projetos hidráulicos em geral serem concebidos considerando o custo mínimo associado a um risco admissível de falha, requer a previsão de grandezas hidrológicas de grande magnitude, tais como máximas vazões ou precipitações que podem vir a ocorrer em certa localidade. Assim, as séries de máximos valores são empregadas para ajuste, segundo a lei probabilística que melhor descreva o processo, possibilitando extrapolações.

O dimensionamento dos projetos hidráulicos que envolvem o escoamento superficial é realizado com base na intensidade máxima de chuva com determinado risco de ser igualada

ou superada, definido pelo período de retorno. Normalmente as estimativas das intensidades de chuva são realizadas com base nas relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de chuvas. Nesse sentido se procura ajustar, para os locais com registros pluviográficos, as equações de chuvas intensas também chamadas equações IDF, destacando-se os trabalhos de Gomes, Aquino, Oliveira (1989) e Pinto et al. (1996) no Estado de Minas Geais; Fendrich (1998) no Estado do Paraná; Costa e Brito (1999) e Oliveira et al. (2000) no Estado de Goiás; Martinez Junior (1999) no Estado de São Paulo; Silva et al. (1999) para o Estado do Rio de Janeiro e Espírito Santo; Silva et al. (2002) para o Estado da Bahia e Back (2002) e Nerilo, Medeiros, Cordeiro (2002) para o Estado de Santa Catarina.

O procedimento normalmente adotado na estimativa da chuva de projeto consiste em ajustar uma distribuição teórica aos dados observados e, com base nesta distribuição, extrapolar os valores de precipitação extrema, associada a uma dada probabilidade. Existem diversas teorias de probabilidade empregadas para análise de chuvas extremas, sendo as mais utilizadas a distribuição Log-Normal com dois parâmetros, distribuição Log-Normal com três parâmetros, distribuição Pearson tipo III, distribuição Log-Pearson tipo III, distribuição de extremos tipo I, também conhecida como distribuição de Gumbel (KITE, 1978).

Segundo Sevruk e Geiger (1981) não há uma teoria suficientemente firme para justificar o uso de uma ou outra distribuição. No entanto existem algumas justificativas teóricas para a aplicação da distribuição de Gumbel, distribuição Pearson e Log-Normal para a análise dos valores extremos.

A distribuição de Gumbel tem tido grande aplicação para o estudo de eventos extremos, e é utilizada de forma generalizada nos trabalhos de chuvas intensas. Cruciani (1980) afirma que a distribuição de Gumbel é a mais apropriada para essas análises, segundo a opinião unânime da literatura especializada. Reichardt (1987) trabalhando com dados de precipitação do continente africano com duração de 15, 30, 45 e 60 minutos, elegeu a distribuição de Gumbel como a mais adequada para a análise dos dados registrados entre seis alternativas, no entanto o autor não citou as demais alternativas. Trent e Dickerson (1976) analisaram dados horários de precipitação de vinte e duas estações pluviométricas de Virginia, para determinar a distribuição de frequência para ajuste de dados de chuva extrema. As séries de máximas anuais foram analisadas por dez distribuições matemáticas, incluído a distribuição normal, distribuição de extremos tipo I e II, distribuição Log-Normal, das quais a distribuição de Gumbel se mostrou a mais adequada. Eltz et al. (1992) analisaram séries de chuvas máximas diárias de Santa Maria, com duração variando de dez minutos à 48 horas,

por meio das distribuições Log-Normal com 2 parâmetros, Log-Normal com três parâmetros, extremos tipo I e II, Pearson tipo III e Log-Pearson tipo III. Os autores concluíram que a distribuição de Gumbel foi a única capaz de apresentar resultados satisfatórios. Pinto (1996) ajustou as distribuições Gumbel, Log-Normal com dois e três parâmetros, Pearson e Log-Pearson III para dados de vinte e nove estações pluviográficas do estado de Minas Gerais, com duração entre 5 minutos a 1440 minutos. Utilizando o teste Kolmogorov-Smirnov concluiu que as distribuições de Gumbel e Log-Normal a dois parâmetros foram as que melhor se ajustaram aos dados observados. Aron et al. (1987) estimaram alturas de chuva com duração de 1 a 24 horas e período de retorno de 1 a 100 anos em regiões da Pennsylvania (EUA), a partir de séries parciais por meio da distribuição Log-Pearson tipo III. Osborn et al. (1980) submeteram séries de valores máximos anuais de chuva às distribuições de Gumbel, Log-Normal, Pearson tipo III e Log-Pearson tipo III e observaram que a distribuição que melhor se ajustou aos dados de cada série disponível foi a distribuição de Gumbel. Com base nestes trabalhos muitos autores utilizam a distribuição de Gumbel em seus estudos assumindo a hipótese que os dados amostrais seguem a distribuição de Gumbel, sem testar esta hipótese ou procurar outra distribuição que poderia proporcionar um melhor ajuste.

Back (2002) estudando dados de chuvas máximas diárias de cem estações pluviométricas de Santa Catarina verificou que a distribuição de Gumbel apresentou o melhor ajuste aos dados observados em 60 % das estações, e em 93 % das estações com menos de vinte anos de dados. Segundo Sevruk e Geiger (1981) não há uma teoria suficientemente firme para justificar o uso de uma ou outra distribuição, no entanto existem algumas justificativas teóricas para a aplicação da distribuição de Gumbel, distribuição Pearson e Log-Normal para a análise dos valores extremos. A distribuição de Gumbel tem tido grande aplicação para o estudo de chuvas extremas, tanto para curtas como longas durações (REICHARDT, 1987; TRENT; DICKERSON, 1976; PINTO, 1996).

Beijo et al. (2003) afirmam que a teoria de valores extremos, em especial a distribuição de Gumbel, tem apresentado grande importância em vários campos da pesquisa, e tem sido aplicada com grande frequência na análise estatística de variáveis ligadas a fenômenos meteorológicos, entre os quais a precipitação pluvial máxima.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foram utilizados os dados de precipitação diária contidos nos pluviogramas da estação meteorológica da Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina, EPAGRI, que está localizada na Estação Experimental de Urussanga, Sul de Santa Catarina. A estação meteorológica localiza-se na latitude $28,31^{\circ}$ S e longitude $48,19^{\circ}$ W, com altitude de 48,2 m.

Segundo a classificação climática de Koeppen, o clima dessa região é do tipo Cfa (Mesotémico, úmido e com verão quente). A região do litoral sul do estado é caracterizada pelos menores valores de precipitação total anual, variando de 1220 a 1660 mm, com o total anual de dias de chuva entre 98 e 150 dias (EPAGRI, 1999).

Os registros de chuva foram obtidos do pluviógrafo tipo Fuess, com o sistema de medição por sifão e a transmissão mecânica do sinal, com uma pena colocada na ponta de uma alavanca, ligada ao movimento de medição, gravando no gráfico. O pluviógrafo é de intervalo diário, com escala vertical graduada em milímetros (mm), com subdivisão em décimos de milímetros, e a escala horizontal graduada em horas, com subdivisão de 10 minutos.

Foi utilizada a série de dados pluviográficos do período de outubro de 1980 a dezembro de 2007. Estes pluviogramas foram digitalizados por meio do Software GEDAC – Gerenciamento de Dados Contínuos (PEDROLLO, 1997), e após a análise de consistência foram armazenados em um banco de dados. A análise de consistência consistiu em comparar os valores diários com os valores registrados no pluviômetro da mesma estação meteorológica. Sempre que foi registrado chuva somente no pluviômetro, os dados do pluviógrafo foram registrados como falhas na informação. Quando foi observado uma seqüência de falhas em dias chuvosos, todos os dados (inclusive dos dias sem chuva) do período foram excluídos para não interferir nas probabilidades de dias secos ou chuvosos.

Com os arquivos digitalizados foram gerados arquivos secundários com dados discretizados em intervalos de 5 min, 10 min, 15 min, 30 min e 1 h.

Para a simulação das séries de chuva horária o modelo estocástico adotado foi o modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis modificado com seis parâmetros (λ , α , ν , k , ϕ , μ_x). A resolução dos dados horários é da ordem de 0,1 mm, e, sempre que a precipitação observada num intervalo de tempo é menor que este valor, o intervalo é definido como seco.

Para considerar a variação sazonal dos valores de precipitação, os parâmetros do modelo são estimados separadamente para cada mês.

O ajuste dos parâmetros foi feito minimizando a expressão:

$$S = \sum_{i=1}^m (1 - f_i / f_o)^2 \quad \dots(9)$$

Em que: f_i = função analítica definida pelo modelo;

f_o = valor correspondente estimado dos dados observados;

m = número de funções consideradas.

Para minimizar o somatório da função (9), foi utilizado o comando Solver da planilha eletrônica do Excel (LAPPONI, 2005). Esse programa emprega o método quase-Newton para minimização de valores.

Foram utilizadas as funções representando a média de 1 h, a variância, o coeficiente de autocorrelação com retardo 1 (um) e a proporção de períodos secos para os intervalos de 1, 6, 12 e 24 horas.

A média dos valores observados para cada intervalo de duração foi estimada pela função:

$$\mu_k(h) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_k^{(h)}} Y_{i,j,k}^{(h)} / \{n_k^{(h)} n\} \quad \dots(10)$$

sendo:

$\mu_k(h)$ = média observada para o intervalo de tempo de h horas (mm);

k = índice mensal do calendário ($k=1$ para janeiro, 2 para fevereiro, etc.);

$Y_{i,j,k}^{(h)}$ = valor de precipitação total do j-ésimo intervalo do ano i para o mês k

$n_k^{(h)}$ = número total de intervalos de tempo de h horas no mês k;

n = número de anos de dados.

A variância do valor de precipitação foi estimada pela função:

$$\gamma_k(h) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_k^{(h)}} \{Y_{i,j,k}^{(h)} - \mu_k(h)\}^2}{n_k^{(h)} n} \quad \dots(11)$$

onde: $\gamma_k(h)$ = variância observada para o intervalo de tempo h horas (mm^2).

A autocovariância com retardo 1 é estimada pela função:

$$\gamma_k(h,1) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_k^{(h)-1}} \{Y_{i,j,k}^{(h)} - \mu_k(h)\} \{Y_{i,j+1,k}^{(h)} - \mu_k(h)\}}{(n_k^{(h)} - 1)n}, \quad \dots(12)$$

onde $\gamma_k(h,1)$ = autocovariância com retardo 1 (mm^2).

O coeficiente de autocorrelação com retardo 1 é dado pela relação entre a autocovariância com retardo 1 e a variância, isto é:

$$\rho(h,1) = \frac{\gamma_k(h,1)}{\gamma_k(h)}, \quad \dots(13)$$

onde: $\rho(h,1)$ = coeficiente de autocorrelação com retardo 1.

A proporção de intervalos secos é estimada pela razão entre o número de intervalos secos de h horas e o número total de intervalos de h horas no mês k, isto é:

$$\phi_d(h) = n_d(h) / n_k^{(h)}, \quad \dots(14)$$

onde: ϕ_d é a proporção de intervalos de h horas de duração sem chuva e n_d é o número observado desses intervalos.

O modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis com seis parâmetros λ , α , ν , k , ϕ , μ_x , conforme descritos na apresentação, tem o parâmetro λ (Δt^{-1}) que governa o tempo de origem das tormentas; k (adimensional) é responsável pela simulação do tempo de origem das células de chuva associadas às tormentas; ϕ (adimensional) é usado na simulação do tempo em que não mais se originam células de chuva; μ_x ($\text{mm} \cdot \Delta t^{-1}$) representa a média das alturas de células de chuva associadas às tormentas, e α (adimensional) e ν (Δt) são parâmetros de forma e escala da distribuição gama, que, na simulação da chuva por meio desse modelo, é usado para simular η (Δt^{-1}), que auxilia na estimativa da duração das células de chuva.

A expressão analítica do modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis, que define a média dos valores de precipitação no intervalo de comprimento h horas é dada por:

$$E(Y_i^h) = \frac{\lambda h \nu \mu_x \mu_c}{\alpha - 1}, \quad \dots(15)$$

onde: $E(Y_i^h)$ = média da precipitação no intervalo de h horas (mm);

λ , ν , μ_x , α , ϕ , K são os parâmetros do modelo;

$$\mu_c = 1 + K/\phi; \quad \dots(16)$$

h = intervalo de tempo (h).

A variância da precipitação é definida pela seguinte expressão:

$$\text{var}[Y_i^h] = 2A_1[(\alpha - 3)h\nu^{2-\alpha} - \nu^{3-\alpha} + (\nu + h)^{3-\alpha}] - 2A_2[(\alpha - 3)\phi h\nu^{2-\alpha} - \nu^{3-\alpha} + (\nu + \phi h)^{3-\alpha}] \quad (17)$$

onde: $\overline{\text{var}[Y_i^k]}$ = variância dos valores de precipitação no intervalo de h horas (mm^2);

$$A_1 = \frac{\lambda \mu_c \nu^\alpha}{(\alpha - 1)(\alpha - 2)(\alpha - 3)} \left[E(X^2) + \frac{\kappa \phi \mu_x^2}{\phi^2 - 1} \right] \quad \dots(18)$$

$$A_2 = \frac{\lambda \mu_c \kappa \mu_x^2 \nu^\alpha}{\phi^2(\phi^2 - 1)(\alpha - 1)(\alpha - 2)(\alpha - 3)} \quad \dots(19)$$

A profundidade da célula X é assumida como exponencialmente distribuída, por isso, $E(X^2) = 2\mu_x^2$.

A autocovariância com retardo τ é definida pela expressão:

$$\text{cov}[Y_i^h, Y_{i+\tau}^h] = A_1 \left\{ [\nu + (\tau + 1)h]^{3-\alpha} - 2(\nu + \tau h)^{3-\alpha} + [\nu + (\tau - 1)h]^{3-\alpha} \right\} \quad \dots(20)$$

$$- A_2 \left\{ [\nu + (\tau + 1)\phi h]^{3-\alpha} - 2(\nu + \tau\phi h)^{3-\alpha} + [\nu + (\tau - 1)\phi h]^{3-\alpha} \right\}, \quad \dots(21)$$

onde: $\overline{\text{cov}[Y_i, Y_{i+\tau}]}$ é a autocovariância com retardo τ (mm^2).

A probabilidade do período de comprimento de h horas ser seco é dado por:

$$\Pr(Y_i^h = 0) = \exp \left\{ -\lambda h - \lambda \mu_r + \frac{\lambda \phi}{(\phi + \kappa)} B_1 + \frac{\lambda \kappa}{(\phi + \kappa)} B_2 \right\}, \quad \dots(22)$$

onde: \Pr = probabilidade do intervalo h horas ser seco;

$$\mu_r \approx \frac{\nu}{\phi(\alpha - 1)} \left[1 + \phi(\kappa + \phi) - \frac{1}{4}\phi(\kappa + \phi)(\kappa + 4\phi) + \frac{1}{72}\phi(\phi + \kappa)(4\kappa^2 + 27\kappa\phi + 72\phi^2) \right] \quad \dots(23)$$

$$B_1 = \frac{\nu}{\phi(\alpha - 1)} \left(1 - \kappa - \phi + \frac{3}{2}\kappa\phi + \phi^2 + \frac{1}{2}\kappa^2 \right) \quad \dots(24)$$

$$B_2 = \frac{\nu^\alpha}{\phi(\alpha - 1)} [\nu + (\kappa + \phi)h]^{-\alpha} \left(1 - \kappa - \phi + \frac{3}{2}\kappa\phi + \phi^2 + \frac{1}{2}\kappa^2 \right) \quad \dots(25)$$

A chuva é simulada como o acúmulo de células chuvosas associadas com a chuva (Figura 1), da seguinte forma:

(1) Os tempos de início das chuvas ocorrem de acordo com o processo Poisson com taxa $\lambda \text{ h}^{-1}$, isto é, os tempos entre o início de chuvas consecutivas são variáveis aleatórias independentes e exponencialmente distribuídas com parâmetro $1/\lambda$.

(2) Cada chuva tem um número η , associada com ela, que especifica a intensidade da chuva. Esses números são variáveis aleatórias independentes, com distribuição gama de média α/ν , e variância α/ν^2 .

(3) Cada chuva consiste de uma ou mais células. A primeira célula inicia no tempo de origem da chuva e as células subseqüentes têm tempo de início segundo processo Poisson com taxa β ($\beta = \kappa\eta$) h^{-1} , após o tempo exponencialmente distribuído com média $1/\Upsilon$ ($\Upsilon = \phi\eta$) h mais nenhuma célula tem início.

(4) Cada célula é um pulso retangular de chuva, com intensidade exponencialmente distribuída com média $\mu_x \text{ mm h}^{-1}$, e duração exponencialmente distribuída, com média $1/\eta \text{ h}$.

(5) A precipitação total é dada pela soma de todas as células e todas as chuvas.

Foi elaborado um programa de computador em linguagem Delphi para gerar as séries de chuvas bem como calcular as estatísticas definidas pelas equações (10) a (14).

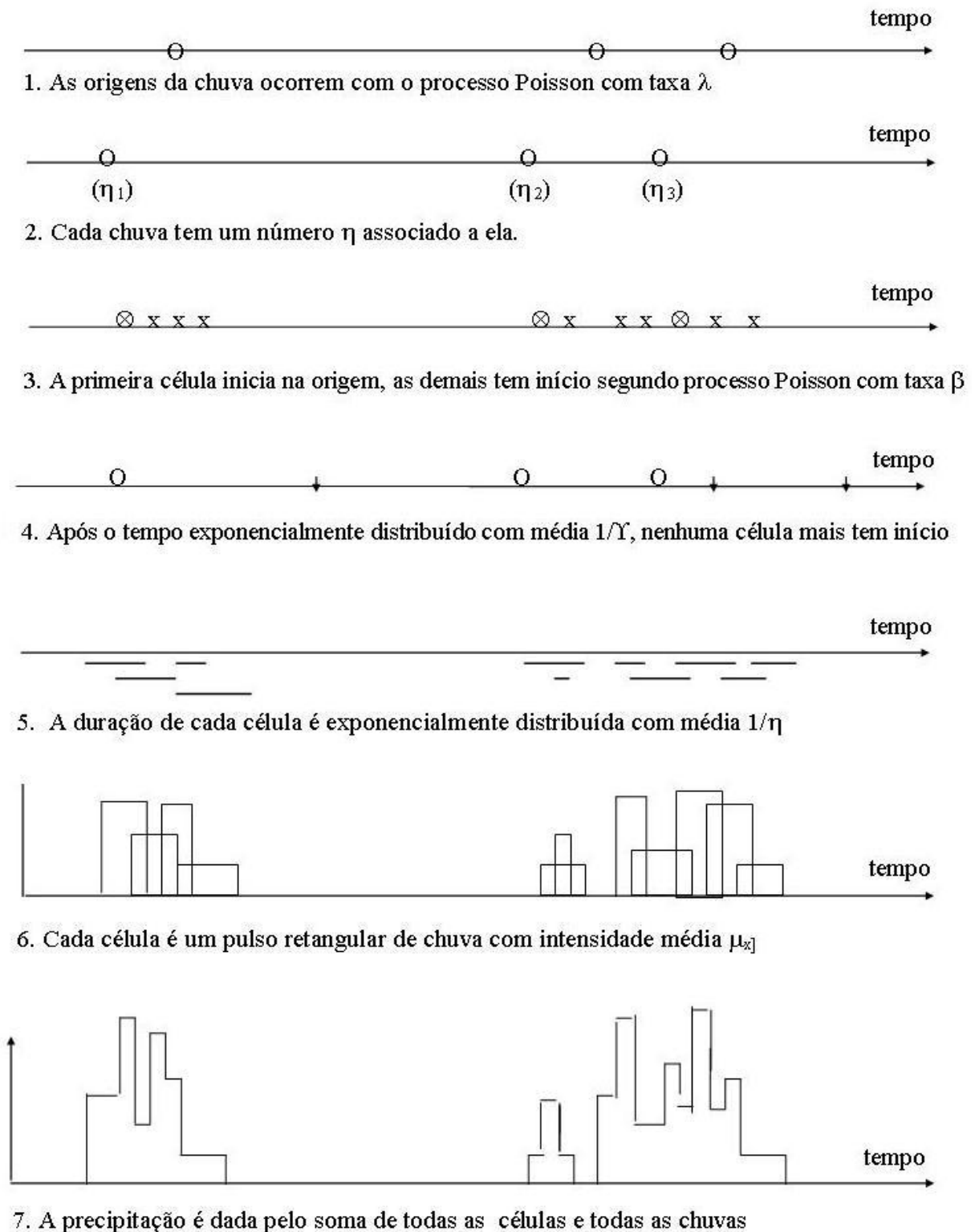


Figura 1. Representação do modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis modificado (BACK, 1997).

Para avaliar a adequação do modelo para estimativas de chuvas extremas foram comparadas as estimativas de chuvas máximas das séries observadas e simuladas por meio da distribuição de Gumbel.

Para cada intervalo de duração foram determinadas as séries de máximas anuais de chuva das séries observadas e das séries simuladas. As séries de máximas anuais é definida pela série formada pelo maior valor de chuva de cada ano.

A precipitação máxima foi estimada de acordo com:

$$X_T = \bar{x} + (Y - Y_n) \frac{S}{S_n} \quad \dots(26)$$

onde:

\bar{x} = média dos valores observados na série de máximas anuais;

S = desvio padrão dos valores observados na série de máximas anuais;

Y_n, S_n = média e o desvio padrão da variável reduzida y, tabelados em função do número de valores da série de dados (BACK, 2002).

Y = variável reduzida dada por

$$Y = -\ln \left\{ -\ln \left[1 - \left(\frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad \dots(27)$$

T = Período de retorno (anos).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados para intervalos de 1 hora

Nas Tabelas 1 a 6 encontram-se os valores das estatísticas das séries de precipitação em intervalos de 1 hora para as séries históricas (1), bem com os valores estimados pelo modelo (2) e as médias (3) de 10 séries geradas.

Observa-se marcante variação sazonal nas características da precipitação. A precipitação média horária varia de $0,274 \text{ mm h}^{-1}$ para o mês de fevereiro a $0,104 \text{ mm h}^{-1}$ para o mês de junho (figura 2). Nos meses de verão são observadas as maiores variâncias da precipitação nos vários níveis de agregação. A proporção de dias secos (PD) também apresenta menores valores nos meses de janeiro e fevereiro e maiores valores nos meses de junho e julho. Comportamento idêntico foi registrado por Back (1997), que utilizou a série de dados de precipitação horária do período de 1980 a 1996. O autor atribuiu essas diferenças sazonais a atuação diferenciada das massas de ar na região sul do país, refletindo diretamente na frequência e intensidade das chuvas. Também Assis (1993) destacou que a atuação diferenciada das massas de ar são responsáveis pelas diferenças no padrão pluviométrico verificado na região sul e sudeste do país. As chuvas frontais, que tem características a longa duração e baixa intensidade (TUCCI, 1993) ocorrem durante todo o ano. No verão predominam as chuvas convectivas, caracterizadas pela curta duração e alta intensidade, refletindo nas maiores intensidades e também maior variância das chuvas observadas nos meses de verão.

No geral a precipitação está distribuída durante o ano devido as características do relevo e à atuação das Massas de ar Polar Atlântica e da Massa Tropical Atlântica, que por sua constância fazem com que não ocorra uma estação seca (SANTA CATARINA, 1986). Os menores valores de precipitação observados no litoral sul de Santa Catarina refletem a atuação de corrente fria das Malvinas e as modificações locais da circulação da atmosfera, determinadas pela passagem livre de ventos vindos do oceano, que na sua rota do mar até as encostas da Serra Geral, perdem umidade (ORSELLI, 1991). Monteiro (2007) afirma que os diversos sistemas que atuam no Sul do Brasil imprimem ao sul catarinense uma dinâmica climática bastante acentuada, com boa distribuição de chuvas no decorrer do ano, tendo em vista que todos os sistemas instáveis são produtores de chuva. Este autor apresenta uma

descrição detalhada sobre os sistemas atmosféricos atuantes na bacia hidrográfica do Rio Araranguá, onde destaca que as massas de ar tropical continental ocorre na região Sul de forma restrita no verão, ocasionando períodos de veranicos na Região Sul do Brasil. Destaca também que a frente fria é o sistema atmosférico que mais interfere nas condições de tempo na Região Sul, durante o ano inteiro. Rodrigues (2003) identificou uma média mensal de 3 a 3,5 entradas de frentes frias na costa catarinense durante os anos de 1990 a 1999. Embora as frentes frias ocorram durante o ano todo, observa-se que a atuação desses sistemas ocorre de forma diferente nas estações do ano. No verão a atuação das frentes frias é maior sobre o Oceano Atlântico, no outono adentram mais pelo continente. No inverno, com o continente mais frio as massas de ar provenientes de grandes latitudes tornam-se mais importantes na distribuição de precipitação na Região Sul, e embora o número médio de incursões mensais seja igual, no inverno as frentes frias possuem atuação mais continental. Segundo Monteiro (2007) na primavera as frentes frias tem deslocamento menos continental em relação ao inverno, mas na primavera apresentam um ligeiro aumento na frequência desse sistema em relação as demais estações do ano.

As chuvas convectivas dependem de calor, umidade e ventos fracos, ocorrem com frequência no verão na Região Sul do Brasil, sendo responsável pelo grande volume de precipitação nesta época do ano. Monteiro (2007) afirma que na maioria das localidades da Bacia hidrográfica do Rio Araranguá os meses de maior precipitação são janeiro e fevereiro, creditando a isso as pancadas de chuva, que apesar de rápidas, são fortes e o volume precipitado em apenas dez minutos pode exceder aquele proveniente de uma frente fria de até mais de vinte e quatro horas, comum no inverno. No outono o processo convectivo já não se faz muito presente e a precipitação que ocorre nas estações está associada à passagem de frentes frias.

Com os valores das estatísticas observadas foram ajustados os parâmetros do modelo (Tabela 7), que refletem a sazonalidade da precipitação. O inverso do parâmetro λ determina o intervalo médio entre as origem das chuvas, onde se observa que este intervalo varia de 37 h para o mês de fevereiro até 143 h no mês de agosto. A intensidade das células chuvosas é dada pelo parâmetro μ_x onde se observa que no verão as células chuvosas são mais intensas (Figura 3). Na Figura 4 estão representados os valores da duração média das células chuvosas e do número médio de células chuvosas. Observa-se que no mês de janeiro tem-se em média 2,585 células chuvosas a cada origem de chuva, com duração média 0,318 h. No mês de julho ocorrem em média 7 células chuvosas com duração média de 0,868 h.

É importante destacar que os valores dos parâmetros do modelo de Bartlett-Lewis podem variar de acordo com a combinação das estatísticas usadas na função de ajuste dos modelos, conforme demonstrado por Damé (2001). Na função de otimização alguns parâmetros apresentam maior instabilidade, variando de acordo com o conjunto de estatísticas usadas. Damé (2001) observou também que o parâmetro λ foi o mais estável enquanto que o parâmetro ν foi o mais instável. Também Rodrigues-Iturbe (1987), Onof e Wheeler (1993) e Khaliq Cunnane (1996) analisando a sensibilidade e estabilidade dos parâmetros do modelo de Bartlett-Lewis, verificaram que a magnitude dos parâmetros estimados usando 5 diferentes conjuntos de estatística variaram consideravelmente. Estes autores concluíram pelo uso de 16 momentos, para derivar, os seis parâmetros do modelo e sugerem que diferentes valores iniciais dos parâmetros α e ν devem ser usados na otimização. A instabilidade observada para o parâmetro ν , é interpretada por Damé (2001) como indicativo de que a duração das células de chuva foi a característica da precipitação que mais sofreu pela forma como os parâmetros foram estimados. Onof e Wheeler (1993) mostraram que com exceção de μ_x e λ os demais parâmetros determinados por dois conjuntos diferentes de momentos foram muito diferentes, em particular os parâmetros α e ν , porém ambos os conjuntos podem manter as características de precipitação com erros inferiores a 5 % dos valores históricos.

De modo geral a variação dos parâmetros estão de acordo com os processos físicos de formação de chuvas, onde no verão predominam as chuvas de curta duração, com menor número de células chuvosas e menor duração das células, porém com maior intensidade média.

A variação sazonal dos parâmetros, especialmente os parâmetros λ , μ_x , α , e o parâmetro k demonstram que o modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis modificado representa as características da precipitação, com predomínio de chuvas de curta duração e alta intensidade no verão e chuvas de baixa intensidade e maior duração no inverno. Também se observa coerência no número de células chuvosas e na duração das células, onde nos meses de inverno o modelo indica maior número e também maior duração das células chuvosas (Figura 4), porém de menor intensidade (Figura 3). O maior intervalo entre as origens das chuvas também reflete o predomínio das chuvas frontais.

Tabela 1. Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 60 minutos para os meses de Janeiro e Fevereiro.

Intervalos	Estatística	Janeiro			Fevereiro		
		1	2	3	1	2	3
1 h	Média ¹	0,250	0,249	0,2409	0,274	0,273	0,2635
	Var ²	2,357	2,764	2,5766	2,864	3,245	3,1412
	PD ³	0,857	0,918	0,9240	0,850	0,919	0,9259
	Covar ⁴	0,029	0,840	0,7346	0,032	1,342	1,2711
	Correl ⁵	0,313	0,304	0,2848	0,389	0,414	0,4040
6 h	Var ²	26,100	27,554	24,9241	36,230	38,876	37,0916
	PD ³	0,696	0,709	0,7245	0,671	0,714	0,7327
	Covar ⁴	4,270	3,168	2,7643	8,539	5,603	4,9357
	Correl ⁵	0,164	0,115	0,1105	0,236	0,144	0,1308
12 h	Var ²	63,420	61,445	55,5171	99,463	88,960	83,1097
	PD ³	0,608	0,561	0,5799	0,575	0,558	0,5812
	Covar ⁴	5,699	7,202	6,5747	8,365	10,188	8,7152
	Correl ⁵	0,090	0,117	0,1186	0,084	0,115	0,1035
24 h	Var ²	132,014	137,294	125,1837	217,679	198,295	183,0588
	PD ³	0,421	0,385	0,4036	0,368	0,370	0,3940
	Covar ⁴	21,392	16,814	15,0933	45,833	21,209	18,5122
	Correl ⁵	0,162	0,122	0,1216	0,211	0,107	0,1006

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm) ;

² Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³ PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

Tabela 2. Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 60 minutos para os meses de Março e Abril.

Intervalos	Estatística	Março			Abril		
		1	2	3	1	2	3
1 h	Média ¹	0,166	0,165	0,1612	0,130	0,129	0,1261
	Var ²	1,423	1,572	1,5609	0,953	1,035	1,0171
	PD ³	0,896	0,941	0,9465	0,904	0,939	0,9445
	Covar ⁴	0,017	0,651	0,6611	0,011	0,390	0,3725
	Correl ⁵	0,387	0,414	0,4216	0,373	0,377	0,3644
6 h	Var ²	17,647	18,250	18,5939	12,103	12,139	11,5196
	PD ³	0,760	0,784	0,7991	0,783	0,798	0,8096
	Covar ⁴	2,988	2,004	2,1864	2,467	2,154	1,8275
	Correl ⁵	0,169	0,110	0,1168	0,204	0,177	0,1561
12 h	Var ²	43,199	40,509	41,2600	29,737	28,586	26,5481
	PD ³	0,677	0,645	0,6654	0,712	0,690	0,7050
	Covar ⁴	2,580	3,288	3,9289	3,877	4,331	3,7596
	Correl ⁵	0,060	0,081	0,0940	0,130	0,151	0,1406
24 h	Var ²	86,992	87,595	87,2247	65,231	65,834	60,4135
	PD ³	0,494	0,458	0,4816	0,560	0,531	0,5492
	Covar ⁴	11,385	6,703	7,0687	9,029	8,466	7,9523
	Correl ⁵	0,131	0,077	0,0775	0,138	0,129	0,1314

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

² Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³ PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

Tabela 3. Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 60 minutos para os meses de Maio e Junho.

Intervalos	Estatística	Maio			Junho		
		1	2	3	1	2	3
1 h	Média ¹	0,140	0,141	0,1384	0,104	0,103	0,0994
	Var ²	0,704	0,730	0,7036	0,390	0,390	0,3634
	PD ³	0,900	0,945	0,9451	0,908	0,939	0,9410
	Covar ⁴	0,006	0,481	0,4601	0,004	0,258	0,2340
	Correl ⁵	0,627	0,659	0,6507	0,620	0,662	0,6424
6 h	Var ²	13,995	14,580	14,0796	7,111	7,629	6,8892
	PD ³	0,814	0,883	0,8869	0,813	0,862	0,8683
	Covar ⁴	6,967	6,405	6,1952	3,655	3,064	2,6039
	Correl ⁵	0,498	0,439	0,4340	0,514	0,402	0,3744
12 h	Var ²	42,996	41,970	40,5645	21,942	21,385	18,9780
	PD ³	0,761	0,819	0,8241	0,760	0,784	0,7933
	Covar ⁴	16,482	14,655	13,7061	7,926	6,666	5,2939
	Correl ⁵	0,383	0,349	0,3279	0,361	0,312	0,2758
24 h	Var ²	128,292	113,250	109,4736	58,109	56,103	48,1082
	PD ³	0,654	0,704	0,7125	0,661	0,648	0,6620
	Covar ⁴	30,648	30,262	27,1373	11,588	13,180	9,8141
	Correl ⁵	0,239	0,267	0,2305	0,199	0,235	0,2038

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

² Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³ PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

Tabela 4. Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 60 minutos para os meses de Julho e Agosto.

Intervalos	Estatística	Julho			Agosto		
		1	2	3	1	2	3
1 h	Média ¹	0,138	0,139	0,1368	0,121	0,122	0,1154
	Var ²	0,504	0,513	0,5043	0,519	0,553	0,5112
	PD ³	0,886	0,919	0,9215	0,902	0,930	0,9371
	Covar ⁴	0,005	0,353	0,3473	0,005	0,319	0,2865
	Correl ⁵	0,623	0,689	0,6888	0,565	0,576	0,5594
6 h	Var ²	10,463	10,303	10,1204	10,086	9,555	8,5816
	PD ³	0,785	0,848	0,8533	0,817	0,875	0,8820
	Covar ⁴	4,410	4,204	4,0002	4,072	3,986	3,5589
	Correl ⁵	0,421	0,408	0,3951	0,404	0,417	0,4142
12 h	Var ²	29,866	29,014	28,2656	28,304	27,082	24,4521
	PD ³	0,729	0,782	0,7885	0,775	0,837	0,8451
	Covar ⁴	9,591	8,937	8,2366	11,020	10,527	9,2186
	Correl ⁵	0,321	0,308	0,2908	0,389	0,389	0,3759
24 h	Var ²	82,051	75,903	73,4718	79,246	75,217	67,5167
	PD ³	0,602	0,667	0,6743	0,679	0,769	0,7789
	Covar ⁴	16,861	15,874	13,9927	26,383	24,306	21,0450
	Correl ⁵	0,206	0,209	0,1900	0,333	0,323	0,3096

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

² Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³ PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

Tabela 5. Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 60 minutos para os meses de Setembro e Outubro.

Intervalos	Estatística	Setembro			Outubro		
		1	2	3	1	2	3
1 h	Média ¹	0,159	0,160	0,1591	0,178	0,179	0,1847
	Var ²	0,573	0,597	0,5966	0,902	0,877	0,8890
	PD ³	0,865	0,923	0,9210	0,870	0,926	0,9264
	Covar ⁴	0,006	0,410	0,4109	0,009	0,446	0,4528
	Correl ⁵	0,614	0,687	0,6885	0,487	0,508	0,5094
6 h	Var ²	11,396	11,843	11,8276	14,080	14,291	14,4925
	PD ³	0,748	0,837	0,8406	0,737	0,830	0,8305
	Covar ⁴	5,327	4,219	4,2369	5,632	4,852	4,7896
	Correl ⁵	0,467	0,356	0,3578	0,400	0,340	0,3305
12 h	Var ²	34,617	32,124	32,3004	39,310	38,286	38,6985
	PD ³	0,680	0,748	0,7540	0,660	0,730	0,7300
	Covar ⁴	9,985	7,349	7,6176	11,549	9,127	8,4846
	Correl ⁵	0,288	0,229	0,2347	0,294	0,238	0,2197
24 h	Var ²	91,068	78,946	78,7808	104,610	94,825	94,7822
	PD ³	0,558	0,599	0,6069	0,519	0,563	0,5627
	Covar ⁴	9,955	10,378	11,6158	13,841	14,517	13,0277
	Correl ⁵	0,109	0,131	0,1448	0,132	0,153	0,1383

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

² Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³ PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

Tabela 6. Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 60 minutos para os meses de Novembro e Dezembro.

Intervalos	Estatística	Novembro			Dezembro		
		1	2	3	1	2	3
1 h	Média ¹	0,165	0,164	0,1588	0,213	0,212	0,2065
	Var ²	0,970	1,035	0,9399	1,807	1,986	1,9206
	PD ³	0,875	0,910	0,9178	0,876	0,906	0,9150
	Covar ⁴	0,011	0,375	0,3174	0,021	0,766	0,7455
	Correl ⁵	0,371	0,363	0,3360	0,386	0,386	0,3807
6 h	Var ²	12,771	12,529	10,9363	24,559	25,152	24,4131
	PD ³	0,739	0,769	0,7803	0,743	0,752	0,7645
	Covar ⁴	3,325	2,972	2,5571	7,240	6,605	6,4519
	Correl ⁵	0,260	0,237	0,2346	0,295	0,263	0,2477
12 h	Var ²	32,943	31,002	27,3762	67,632	63,515	61,1276
	PD ³	0,670	0,656	0,6708	0,667	0,646	0,6617
	Covar ⁴	5,565	6,192	4,7485	13,742	15,444	14,2986
	Correl ⁵	0,169	0,200	0,1759	0,203	0,243	0,2261
24 h	Var ²	69,472	74,388	64,2718	162,689	157,917	152,9305
	PD ³	0,515	0,481	0,4998	0,497	0,491	0,5078
	Covar ⁴	11,909	11,246	8,1216	39,682	34,586	30,4763
	Correl ⁵	0,171	0,151	0,1277	0,244	0,219	0,2025

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

² Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³ PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

Tabela 7. Parâmetros do modelo de Bartlett-Lewis Modificado ajustados para os dados horários de Urussanga, SC.

Mês	λ (h ⁻¹)	ν (h)	μ_x (mm h ⁻¹)	α	ϕ	κ
Janeiro	0,0265	1,4160	11,4170	5,4544	0,0150	0,0238
Fevereiro	0,0269	1,1761	10,2543	3,7085	0,0150	0,0192
Março	0,0222	2,2954	7,8594	5,4369	0,0150	0,0125
Abril	0,0208	0,6594	7,8282	3,1764	0,0287	0,0463
Mai	0,0126	0,5179	2,4253	2,3743	0,1006	1,1368
Junho	0,0158	0,7929	1,8443	2,4069	0,1690	0,8962
Julho	0,0132	2,6125	1,7266	4,0096	0,1332	0,7992
Agosto	0,0070	1,7618	2,7623	4,1161	0,0397	0,4039
Setembro	0,0185	1,9613	1,3390	4,3782	0,1852	1,8695
Outubro	0,0215	0,2342	4,5803	3,2837	0,0385	0,6424
Novembro	0,0258	0,4922	6,7017	3,2795	0,0397	0,1349
Dezembro	0,0221	0,2546	10,5493	2,3852	0,0176	0,0695

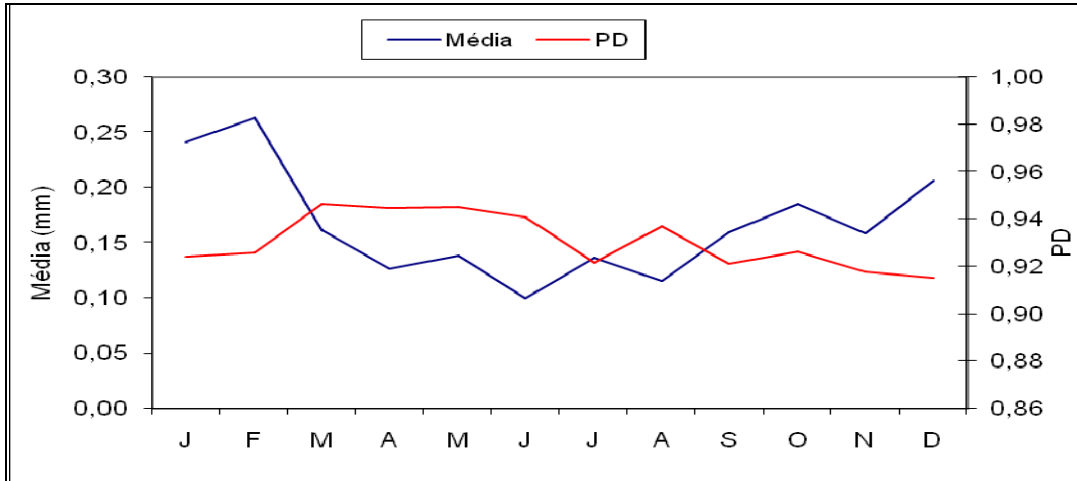


Figura 2. Valores médios de precipitação horária e probabilidade do intervalo ser seco (PD).

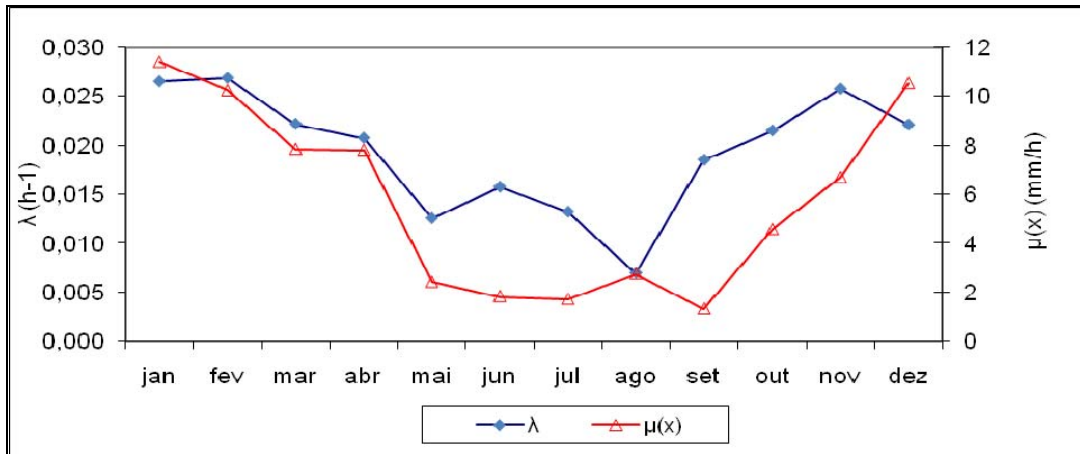


Figura 3. Parâmetros λ e $\mu(x)$ do modelo de Bartlett-Lewis Modificado para intervalos de 1 hora.

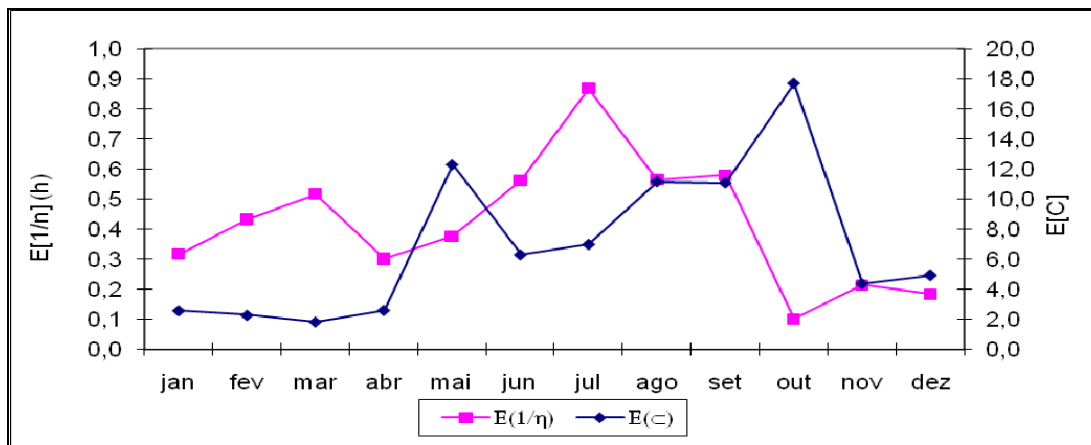


Figura 4. Valores da duração média das células chuvosas ($E[1/\eta]$) e do número médio de células chuvosas ($E[C]$) para intervalos de 1 hora.

O desempenho do modelo pode ser avaliado comparando os momentos do modelo com as características dos valores históricos. Analisando-se nas Tabelas 1 a 6 as estatísticas das séries observadas e simuladas, observa-se que de forma geral tem-se que o modelo

permitiu simular séries de dados horários mantendo as características das chuvas horárias e também nos diversos níveis de agregação. Nos valores médios de precipitação horária a média obtida para as dez séries de 100 anos simulada para o mês de agosto foi de 4,7 % inferior a série observada conforme Figura 5 abaixo. Para os demais meses as diferenças foram ainda menores, evidenciando que há adequacidade do modelo, embora na função de ajuste dos parâmetros do modelo tenha sido incluído a restrição para igualar a média estimada pelo modelo com a média observada.

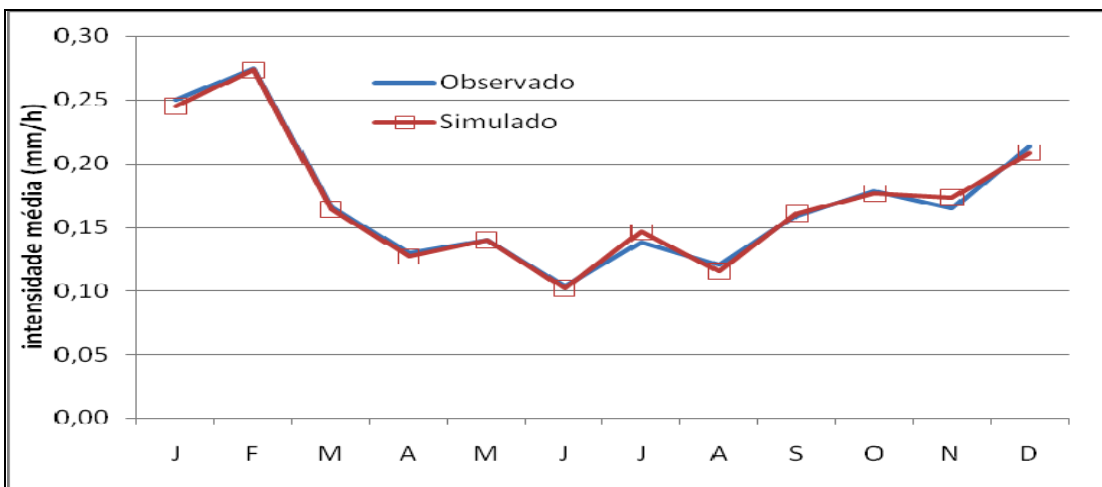


Figura 5. Valores da intensidade média (mm/h) da série observada e da simulada.

Com relação as variâncias das chuvas nos diversos intervalos, observa-se que a maior relação entre a variância da série simulada e a variância da série observada ocorre no mês de abril, para as chuvas em intervalo de 24 horas, com relação de 1,28 (Figura 6). Isto significa que a série simulada apresentou variância 28 % superior a variância da série observada. Aplicando o teste F de Fisher para verificar a homogeneidade de variâncias observa-se que as relações obtidas são inferiores ao valor de F crítico de 1,601, adotando o nível de significância de 5 %.

Os resultados obtidos mostram que a série simulada apresenta valores de probabilidade do intervalo de 1 hora ser seco (PD1) ligeiramente superior aos valores observados. A maior diferença foi observada no mês de fevereiro, com diferença de 8,2 % e a menor diferença no mês de junho (3,5 %), com uma diferença média anual de 5,2 %. Também se observa na Figura 5 que os valores da série simulada estão coincidindo com os valores teóricos do modelo.

Com relação à autocorrelação (Figura 8) para a chuva com intervalo de 1 hora observa-se que as diferenças entre os valores observados e simulados variam de 10,8 % superior para o mês de setembro a 1,4 % inferior em dezembro, com média anual de 2,4 %.

Os resultados obtidos estão de acordo com os trabalhos de Gyasi-Agyei e Willgoose (1997) que observaram que o modelo de pulsos retangulares de Barlett-Lewis foi incapaz de reproduzir a autocorrelação e a probabilidade de intervalos secos características dos dados históricos em Queensland, Austrália.

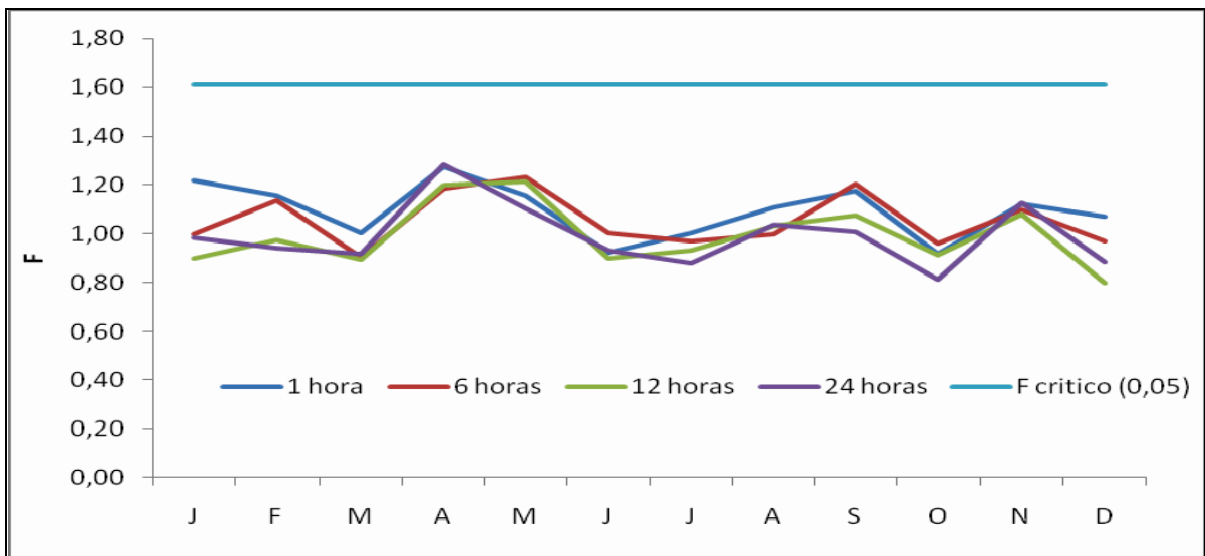


Figura 6. Valores de F para variância da série simulada em relação a variância da série observada para intervalos de 1 hora .

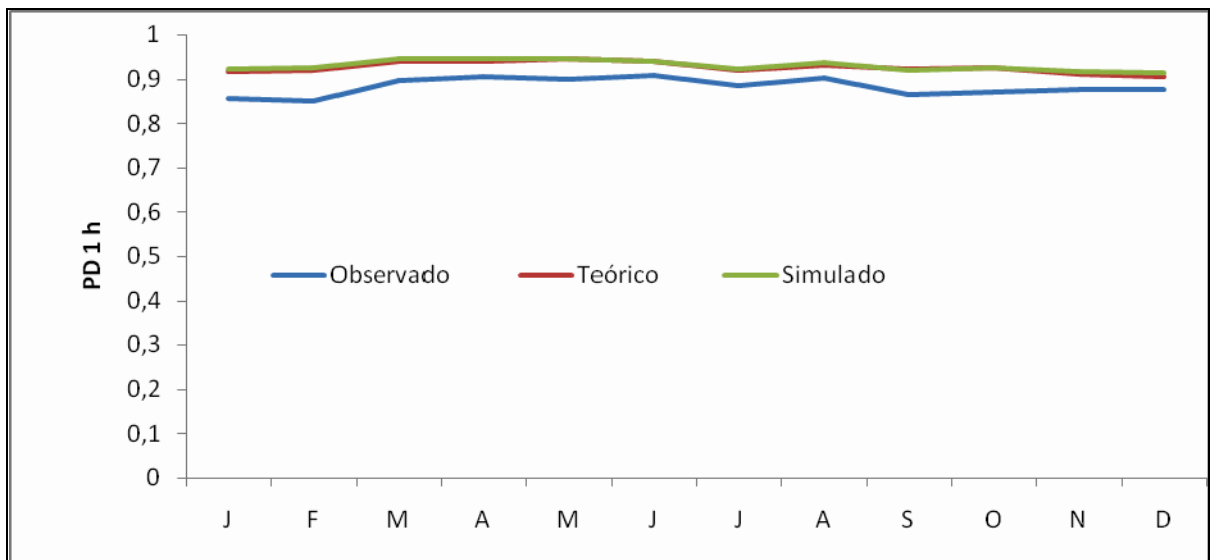


Figura 7. Valores da probabilidade do intervalo ser seco das séries observada e da simulada bem como o valor teórico do modelo para intervalos de 1 hora.

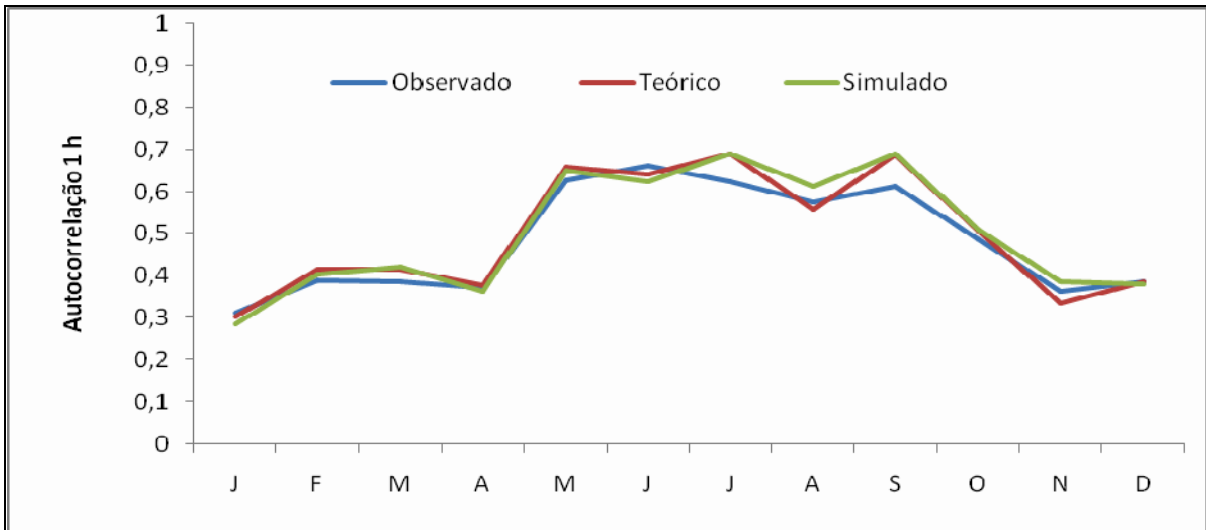


Figura 8. Valores da autocorrelação das séries observada e da simulada bem como o valor teórico do modelo para intervalos de 1 hora.

Na Figura 9 estão representados os totais anuais de precipitação da série observada e série simulada, juntamente com o intervalo de confiança de 95 %, assumindo que a precipitação total anual tem distribuição normal. Observa-se que a série simulada apresentou 6 % dos valores fora dos limites do intervalo de confiança de 95 %.

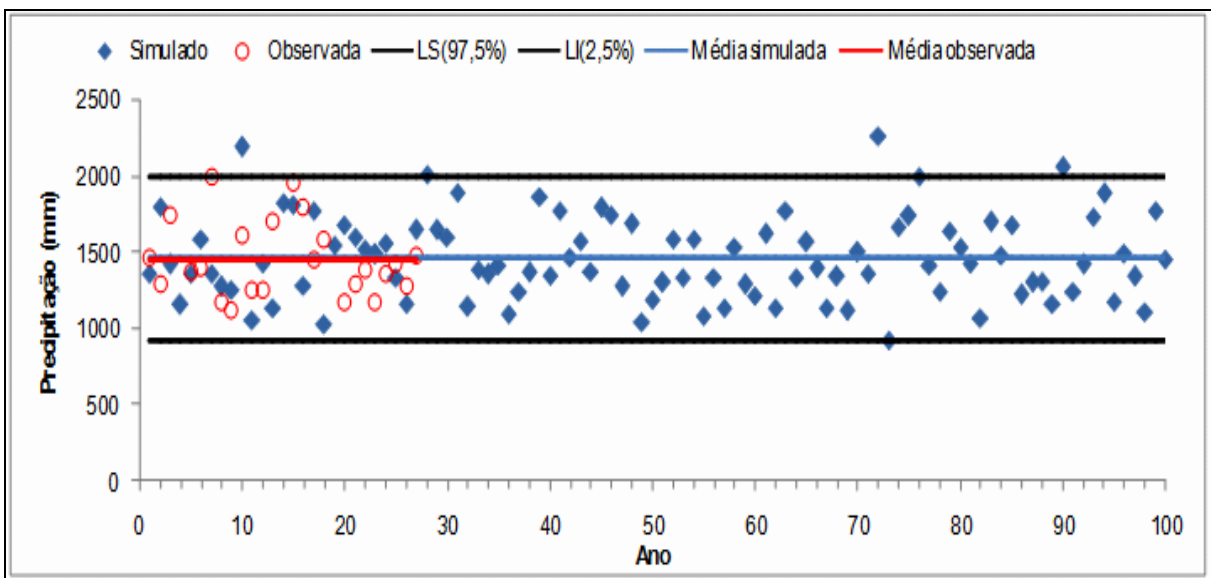


Figura 9. Totais anuais de chuva da série horária.

Tomando-se como base os valores de média, variância e autocorrelação pode-se dizer que os resultados obtidos concordam com os trabalhos de Rodrigues-Iturbe (1997), Verhoest, Troch, Troch (1997) que observaram que o modelo preserva os primeiros momentos. As séries de dados simuladas mantêm as características da precipitação, e representam um

avanço nos estudos hidrológicos, por possibilitar o ajuste dos parâmetros baseados em séries de dados observados por um período relativamente curto, e gerar longas séries de dados sem ocorrências de falhas nos registros de dados.

Na Tabela 8 encontram-se as estatísticas descritivas das séries de máximas anuais observadas e simuladas para a chuva com duração horária e diária. Observa-se que de forma geral as séries de precipitação máximas anuais obtidas das séries simuladas mantêm as características das séries observadas, o que indica que o modelo de Bartlett-Lewis pode ser utilizado também para o estudo de eventos extremos.

Na Tabela 9 estão os valores de precipitação máxima estimadas por meio da distribuição de Gumbel para os períodos de retorno de 5 a 100 anos, onde se observa que as diferenças entre os valores estimados a partir da série simulada apresentam diferenças inferiores a 1 % dos valores estimados a partir da série observada, tanto para o intervalo horário como para o intervalo diário.

Tabela 8. Estatísticas das séries de máximas anuais da chuva de duração diária e horária.

Estatística	Série de dados horários		Série de dados diários	
	Observada	Simulada	Observada	Simulada
Nº de valores	26	100	26	100
Média (mm)	33,8	34,5	93,1	92,5
Desvio padrão (mm)	12,1	13,0	42,5	47,6
Assimetria	2,15	1,43	2,42	2,69
Maximo (mm)	78,4	88,6	253,9	373,1
Mínimo (mm)	17	16,8	49,2	38,2
Quartil 3 (mm)	36,3	39,8	112,6	112,3
Quartil 2 (mm)	31,5	31,1	79,8	79,2
Quartil 1 (mm)	26,4	26,0	67,1	60,2

Tabela 9. Precipitação máxima de duração diária e horária estimada por meio da distribuição de Gumbel.

T - Período de Retorno (anos)	Y – variável reduzida	Série de dados horários		Série de dados diários	
		observada	Simulada	observada	Simulado
2	0,367	32,0	32,4	86,7	84,9
5	1,500	44,5	44,6	130,6	129,5
10	2,250	52,7	52,7	159,7	159,1
20	2,970	60,7	60,4	187,6	187,5
25	3,199	63,2	62,9	196,4	196,5
50	3,902	71,0	70,5	223,7	224,2
100	4,600	78,7	78,0	250,7	251,8

Nas Figuras 10 e 11 tem-se representados os valores das séries observadas e simuladas da precipitação diária e horária, respectivamente. Para as séries de máximas anuais

de duração diária (Tabela 8) observa-se que com exceção do valor máximo de 373,1 mm, todos os demais estão dentro do intervalo de confiança de 95 % da distribuição de Gumbel. Para a série de dados horários observa-se que houve uma melhor aderência a distribuição de Gumbel. Esta observação reveste de grande importância hidrológica, pois o modelo permite a aplicação para simular séries de chuvas em intervalos horários também com a finalidade de simular eventos extremos. Também Verhoest, Troch, Troch (1997) trabalhando com dados da África do Sul, observaram que o modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis resultou em estimativas adequadas para chuvas extremas com duração superior a 1 hora, no entanto, obtiveram estimativas pobres para duração de uma hora ou inferiores.

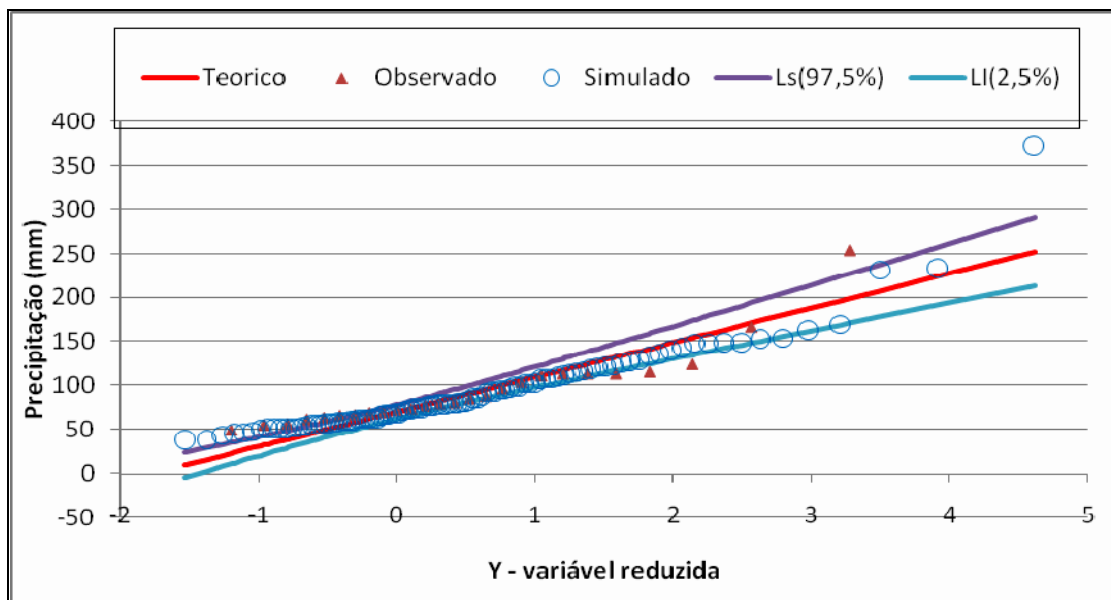


Figura 10. Aderência da série de máximas anuais de precipitação diária a distribuição de Gumbel.

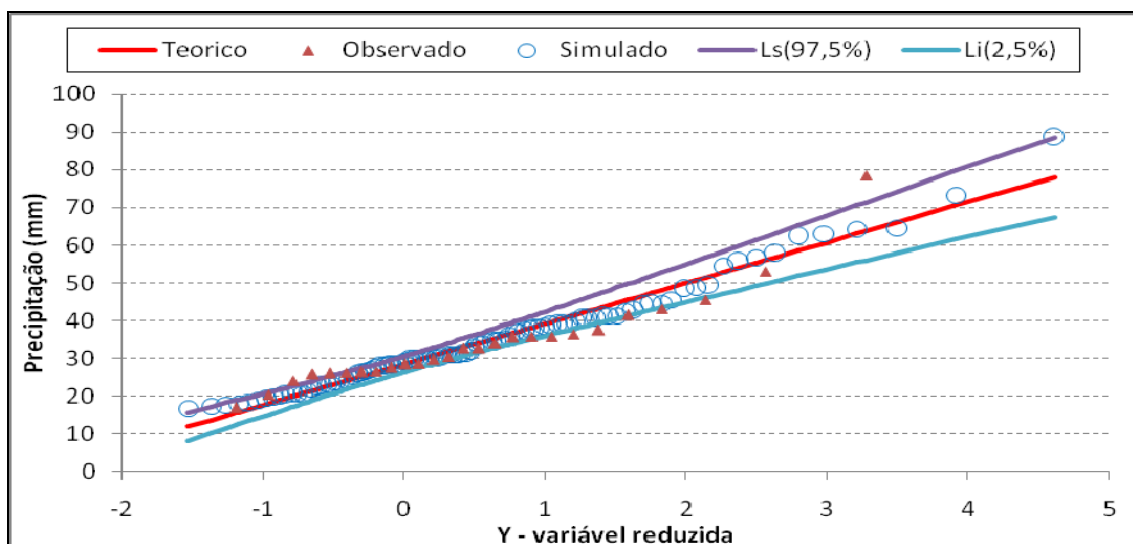


Figura 11. Aderência da série de máximas anuais de precipitação horária a distribuição de Gumbel

4.2 Resultados para intervalos de duração inferior a 1 hora.

Nas tabelas 10 a 13 são apresentados os parâmetros ajustados para o modelo de Bartlett-Lewis Modificado para o intervalo de 30, 15, 10 e 5 minutos, respectivamente. Nas Figuras 12 a 19 são representados os parâmetros λ e μ_x para os mesmos intervalos. Para todos os intervalos de duração inferior a 1 hora observa-se que os valores dos parâmetros tem valores semelhantes aos valores ajustados para o intervalo de 1 hora. Os maiores valores do parâmetro λ foram observados em fevereiro e os menores no mês de maio. Esse comportamento pode ser explicado pela atuação dos diferentes tipos de chuva, como já discutido para as chuvas com intervalo de uma hora. A maior ocorrência de processos convectivos no verão determina a maior frequência de chuvas, bem como chuvas de curta duração e alta intensidade. Este comportamento reflete principalmente nos valores maiores dos parâmetros λ e μ_x , nos menores valores do número de células chuvosas ($E[C]$) e duração das células chuvosas e nos valores de $1/\eta$ que definem a duração de cada célula. Os maiores valores de número de células chuvosas foi observado no mês de julho e tem em média mais de cinquenta células chuvosas. Observou-se também para todos os intervalos de duração inferior a 1 hora a oscilação do parâmetros ϕ e k , implicando na oscilação dos valores de $E[C]$ e $1/\eta$. Essa oscilação nos parâmetros do modelo também foi observada nos trabalhos de Rodrigues-Iturbe (1987), Onof e Wheeler (1993), Khaliq e Cunnane (1996) e Damé (2001). A instabilidade observada para o parâmetro v é interpretada por Damé (2001) como indicativo de que a duração das células de chuva foi a característica da precipitação que mais sofreu pela forma como os parâmetros foram estimados. Com uma análise mais profunda dos parâmetros pode-se inserir critérios de controle na função de minimização de maneira a evitar a oscilação dos parâmetros do modelo. Também o estudo da frequência de ocorrência dos eventos causadores da precipitação poderia ser importante para definir os intervalos médios de ocorrência de eventos e outros parâmetros de controle na função de minimização.

Tabela 10. Parâmetros do modelo de Bartlett-Lewis Modificado ajustados para dados de intervalos de 30 minutos.

Mês	λ (h^{-1})	ν (h)	μ_x (mm h^{-1})	α	ϕ	κ
Janeiro	0,0309	1,2158	10,8591	4,9461	0,0220	0,0310
Fevereiro	0,0426	0,2261	9,9042	2,7190	0,1979	0,7768
Março	0,0287	0,1000	10,3704	3,1644	0,0870	0,9694
Abril	0,0231	0,4834	8,3980	3,0475	0,0426	0,0772
Mai	0,0121	0,0922	3,1641	2,3852	0,0232	1,2680
Junho	0,0140	0,6992	1,8997	2,4814	0,1250	0,9031
Julho	0,0177	0,0722	2,7526	2,5656	0,0195	1,1816
Agosto	0,0137	0,2664	3,3538	2,0694	0,0374	0,3611
Setembro	0,0146	0,8063	2,3647	7,9853	0,0299	1,1695
Outubro	0,0193	0,4564	4,1374	3,9521	0,0452	0,6095
Novembro	0,0284	0,2326	7,9170	2,9525	0,0394	0,2022
Dezembro	0,0264	0,1727	11,3222	2,3406	0,0275	0,1243

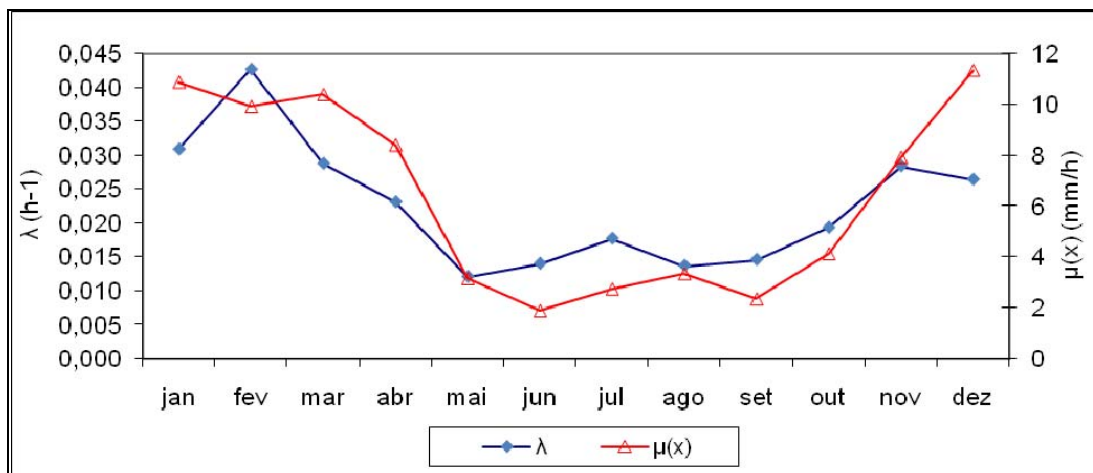
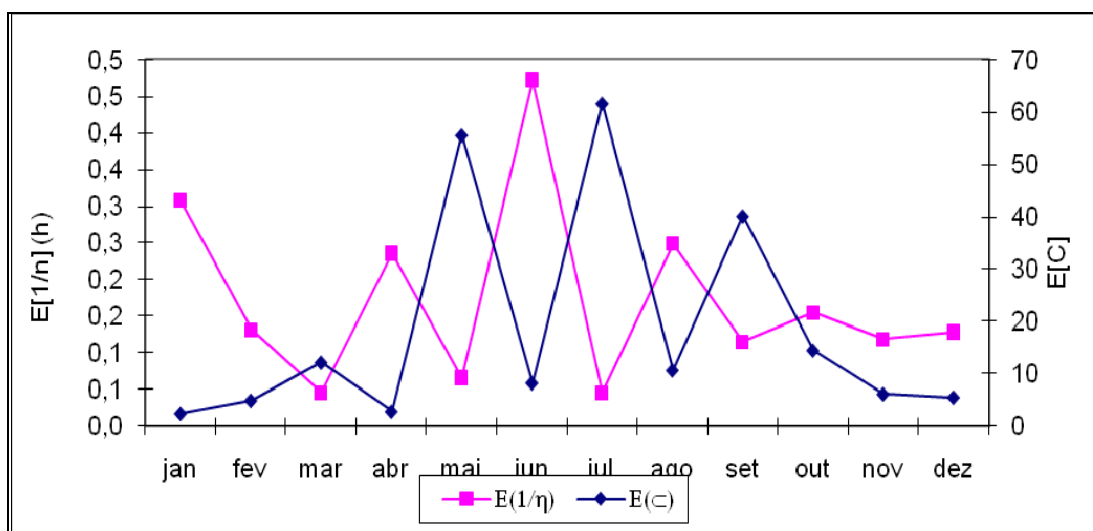
Figura 12. Parâmetros λ e μ_x do modelo de Bartlett-Lewis Modificado para intervalo de 30 minutos.Figura 13. Duração média das células chuvosas ($E[1/\eta]$) e número médio de células chuvosas ($E[C]$) para intervalos de 30 minutos.

Tabela 11. Parâmetros do modelo de Bartlett-Lewis Modificado ajustados para dados de intervalos de 15 minutos.

Mês	λ (h^{-1})	ν (h)	μ_x ($mm\ h^{-1}$)	α	ϕ	κ
Janeiro	0,032309	1,0006	11,2633	4,5378	0,02248	0,0319
Fevereiro	0,042459	0,2536	9,8469	2,7771	0,18976	0,6862
Março	0,029135	0,1000	9,4047	3,1237	0,09395	1,124477
Abril	0,023340	0,4824	8,2268	3,0432	0,04543	0,0836
Mai	0,010067	0,1912	2,9789	2,7414	0,02831	1,1872
Junho	0,014440	0,6892	1,9240	2,4630	0,13168	0,9082
Julho	0,017546	0,1020	2,3331	2,5882	0,02614	1,3540
Agosto	0,015754	0,1159	3,7379	1,9880	0,03196	0,5236
Setembro	0,013133	3,3798	2,2891	23,2976	0,03277	1,1178
Outubro	0,019631	0,3622	4,4186	3,7974	0,04011	0,5994
Novembro	0,028666	0,2122	8,0198	2,9226	0,03912	0,2137
Dezembro	0,026275	0,1827	10,9601	2,3502	0,02818	0,1254

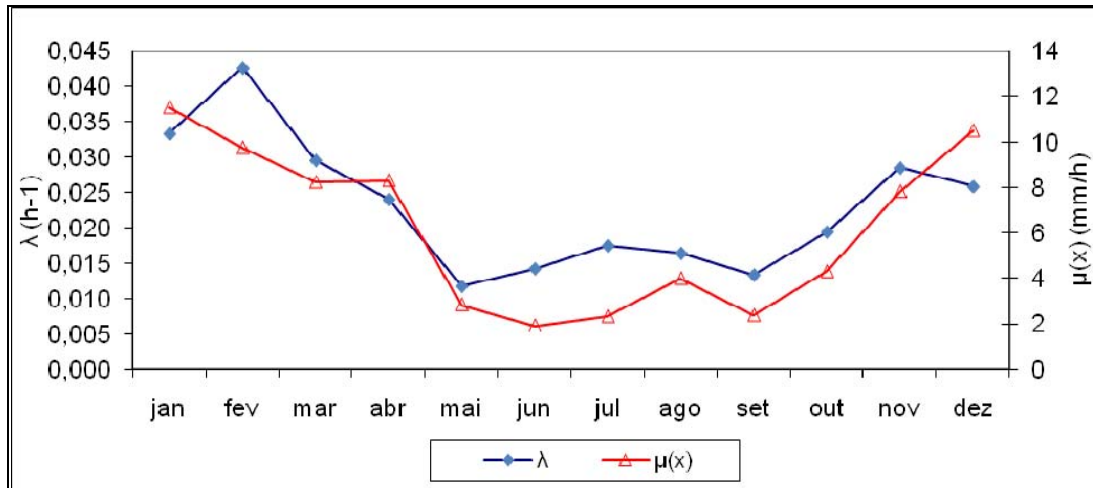
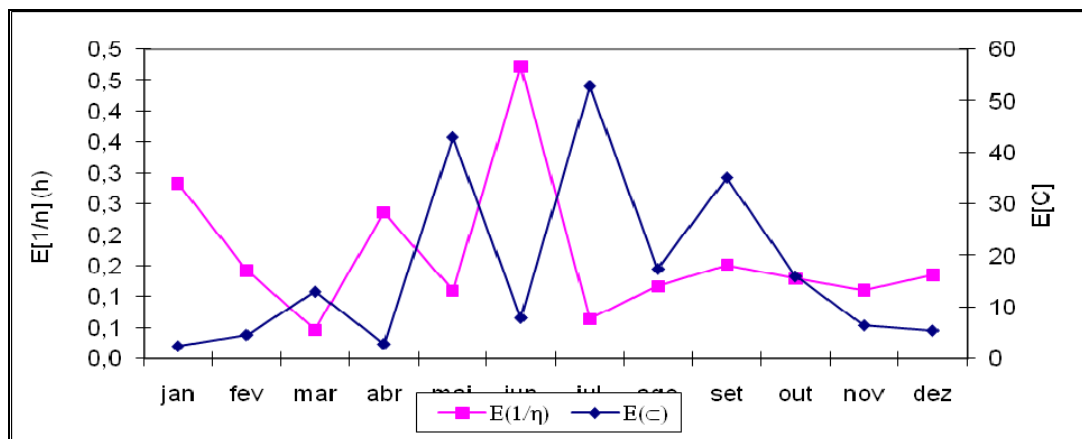
Figura 14. Parâmetros λ e μ_x do modelo de Bartlett-Lewis Modificado para intervalos de 15 minutos.Figura 15. Duração média das células chuvosas ($E[1/\eta]$) e número médio de células chuvosas ($E[C]$) para intervalos de 15 minutos.

Tabela 12. Parâmetros do modelo de Bartlett-Lewis Modificado ajustados para dados de intervalos de 10 minutos.

Mês	λ (h^{-1})	ν (h)	μ_x ($mm\ h^{-1}$)	α	ϕ	κ
Janeiro	0,033368	0,8870	11,5326	4,3196	0,02314	0,0329
Fevereiro	0,042681	0,2416	9,7617	2,7577	0,18951	0,7221
Março	0,029588	0,1397	8,2452	3,1284	0,12742	1,203711
Abril	0,024054	0,4312	8,3141	2,9772	0,05113	0,0998
Mai	0,011782	0,1256	2,8561	2,4250	0,02893	1,3500
Junho	0,014257	0,7515	1,9210	2,4293	0,14653	0,9256
Julho	0,017526	0,1017	2,3278	2,5913	0,02598	1,3558
Agosto	0,016450	0,0743	4,0059	1,9682	0,02581	0,5859
Setembro	0,013377	2,1297	2,3803	16,6370	0,03053	1,0957
Outubro	0,019458	0,3983	4,3132	3,8774	0,04171	0,6011
Novembro	0,028533	0,2248	7,8386	2,9451	0,03977	0,2126
Dezembro	0,025885	0,2011	10,5173	2,3703	0,02876	0,1241

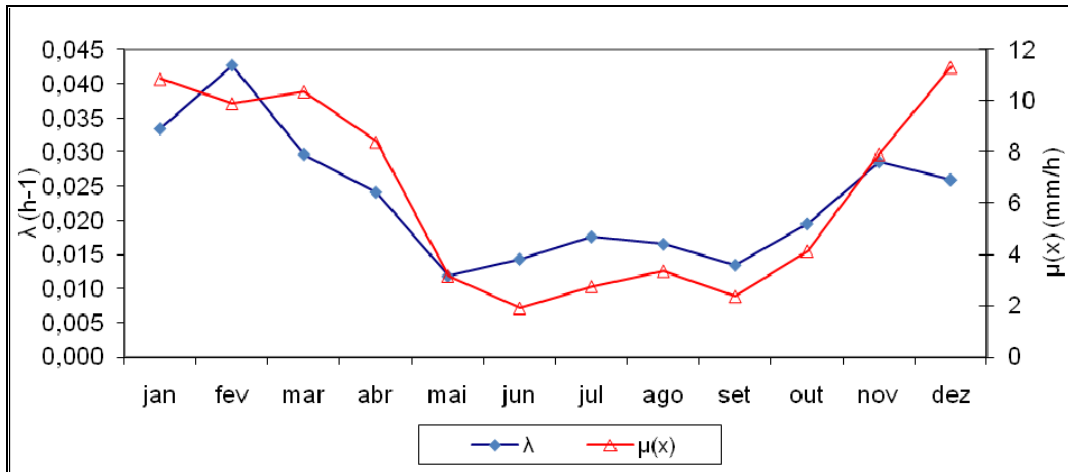
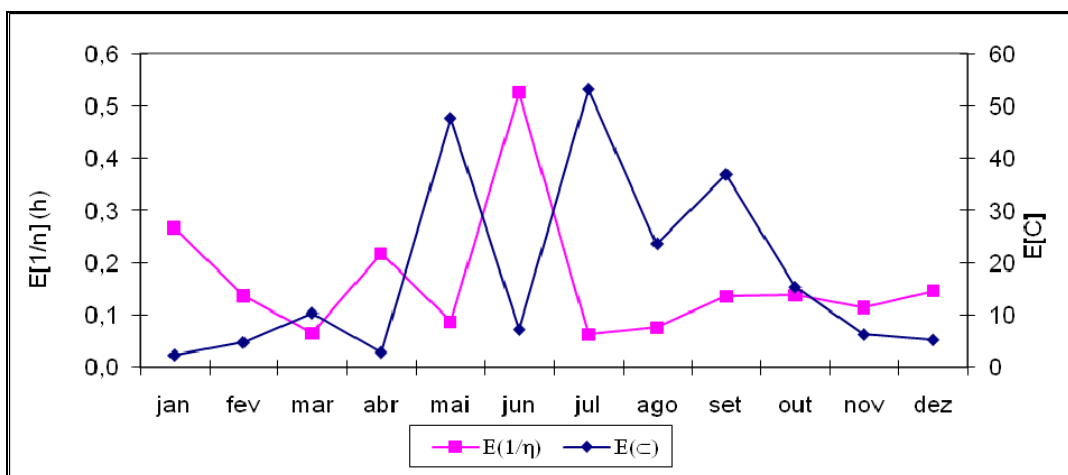
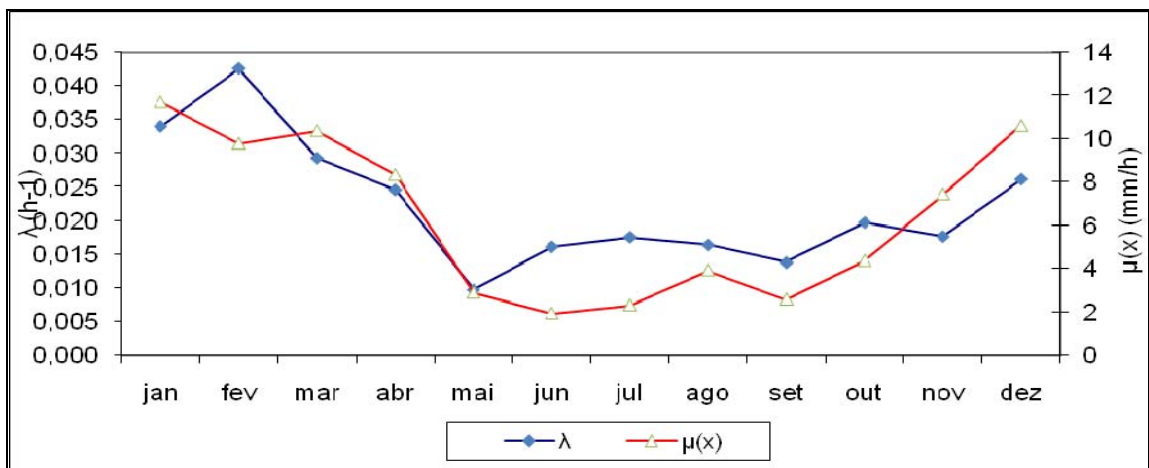
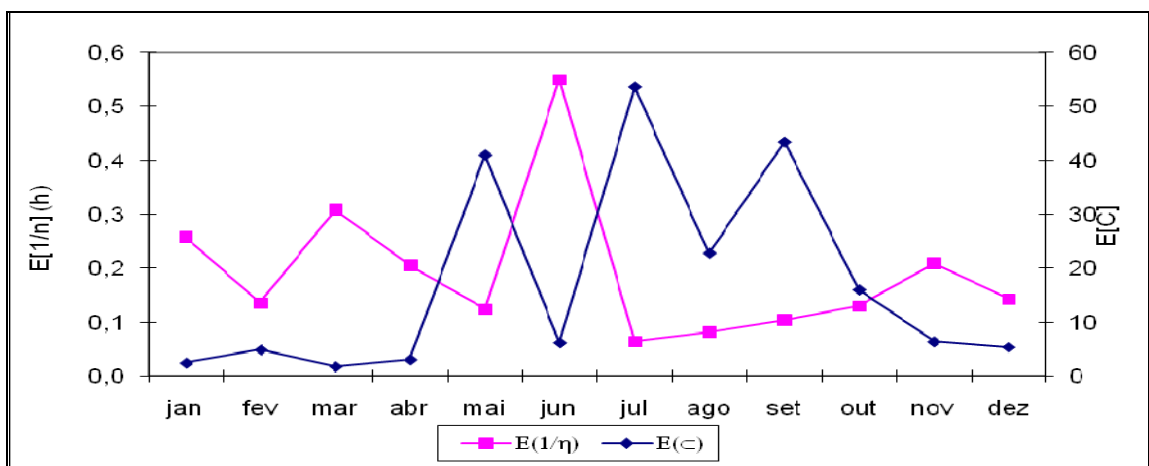
Figura 16. Parâmetros λ e μ_x do modelo de Brartlett-Lewis Modificado para intervalos de 10 minutos.Figura 17. Duração média das células chuvosas ($E[1/\eta]$) e número médio de células chuvosas ($E[C]$) para intervalos de 10 minutos.

Tabela 13. Parâmetros do modelo de Bartlett-Lewis Modificado ajustados para dados de intervalos de 5 minutos.

Mês	λ (h^{-1})	ν (h)	μ_x ($mm\ h^{-1}$)	α	ϕ	κ
Janeiro	0,033979	0,8255	11,7174	4,1987	0,02355	0,0335
fevereiro	0,042577	0,2379	9,7984	2,7611	0,18569	0,7218
Março	0,029270	0,9052	10,3858	3,9321	0,01729	0,0131
Abril	0,024542	0,3962	8,3465	2,9296	0,05625	0,1160
Mai	0,009674	0,2297	2,8818	2,8566	0,02981	1,1922
Junho	0,016068	0,7783	1,9254	2,4159	0,18018	0,9362
Julho	0,017512	0,1023	2,3034	2,5939	0,02603	1,3691
Agosto	0,016349	0,0795	3,9294	1,9715	0,02682	0,5849
Setembro	0,013731	1,1036	2,5817	11,6137	0,02494	1,0576
Outubro	0,019682	0,3617	4,3749	3,7836	0,04043	0,6067
Novembro	0,017600	0,6450	7,4600	4,0800	0,02420	0,1301
dezembro	0,026112	0,1935	10,6320	2,3605	0,02868	0,1255

Figura 18. Parâmetros λ e μ_x do modelo de Brartlett-Lewis Modificado para intervalos de 5 minutos.Figura 19. Duração média das células chuvosas ($E[1/\eta]$) e número médio de células chuvosas ($E[C]$) para intervalos de 5 minutos.

Nos Apêndices de A até Y encontram-se para cada mês do ano os valores das estatísticas da precipitação em intervalos de 30, 15, 10 e 5 minutos as séries observadas (1) e

simuladas (3) bem como os valores teóricos do modelo (2). Observa-se que de forma geral o modelo de Bartlett-Lewis modificado aplicado para intervalos de duração inferiores a 1 hora simulou as séries de chuva mantendo os valores do primeiro e segundo momentos.

Nas Figura 20 e 21 estão representados os valores da variância da precipitação nos intervalos de 5, 10, 15, 30 min, 1 hora (60 min), 6 horas (360 min), 12 horas (720 min) e 24 horas (1440) minutos das séries observadas, e uma série de 100 anos simuladas com o intervalo de 5 minutos. Na maioria dos meses verifica-se que os valores da série simulada e observada estão muito próximos, principalmente para os menores intervalos de duração. Nos meses de fevereiro observa-se que para a duração de 720 e 1440 minutos a série simulada apresentou menor variância que a série observada. Também nos meses de agosto, e dezembro a variância da chuva em períodos de 24 horas da série simulada foi menor que a série observada. É importante observar que a série observada tem 27 anos de observação sendo que alguns meses foram excluídos na análise pela presença de falhas nos registros, e a série simulada contém 100 anos de observação, isso pode explicar em parte a menor variância das séries simuladas.

Nas Figuras 22 e 23 estão representados os valores da probabilidade do intervalo ser seco nas séries de precipitação observada e uma série de 100 anos simuladas com o intervalo de 5 minutos. Observa-se que nas séries simuladas encontra-se maiores valores de probabilidade do intervalo ser seco. Em média essas diferenças são inferiores a 5 %, no entanto nos meses de maio e setembro foram observadas diferenças nas probabilidades superiores a 10 % para os intervalos iguais ou superior a 6 horas.

Nas Figura 24 e 25 estão representados os valores da covariância nas série de precipitação observada e uma série de 100 anos simuladas com o intervalo de 5 minutos. Observa-se que para os intervalos de duração de até 12 horas há similaridade nos valores observados e simulados. Para os dados agregados em 24 horas de duração observa-se que as séries simuladas tendem a apresentar valores menores de autocovariância, sendo as diferenças maiores observadas nos meses de fevereiro, março, abril e dezembro. A grande discrepância observada no mês de fevereiro pode ser atribuída em parte à presença de valores extremos na série observada que reflete nos altos valores de variância e autocovariância.

Nas Figuras 26 e 27 estão representados os valores da autocorrelação dos dados de precipitação nas séries observadas e uma série de 100 anos simuladas com o intervalo de 5 minutos. Observa-se que de modo geral os valores das séries simuladas mantêm as características das séries observadas em todos os intervalos de agregação. Observa-se que a

série simulada apresenta relação inversa dos valores de autocorrelação e a duração, e na série observada tem-se que nos meses de dezembro a março os valores de autocorrelação para o intervalo de 24 horas é superior aos valores para o intervalo de 12 horas. Esse comportamento pode ser devido á valores atípicos de covariância nas séries observadas.

A variação sazonal de todas as estatísticas das séries observadas e simuladas evidencia a necessidade de considerar a variação sazonal dos parâmetros para cada mês. Também uma análise mais profunda das características da precipitação e da frequência de ocorrência dos processos atmosféricos causadores da precipitação podem indicar a possibilidade de ajustar os parâmetros para as diferentes estações do ano.

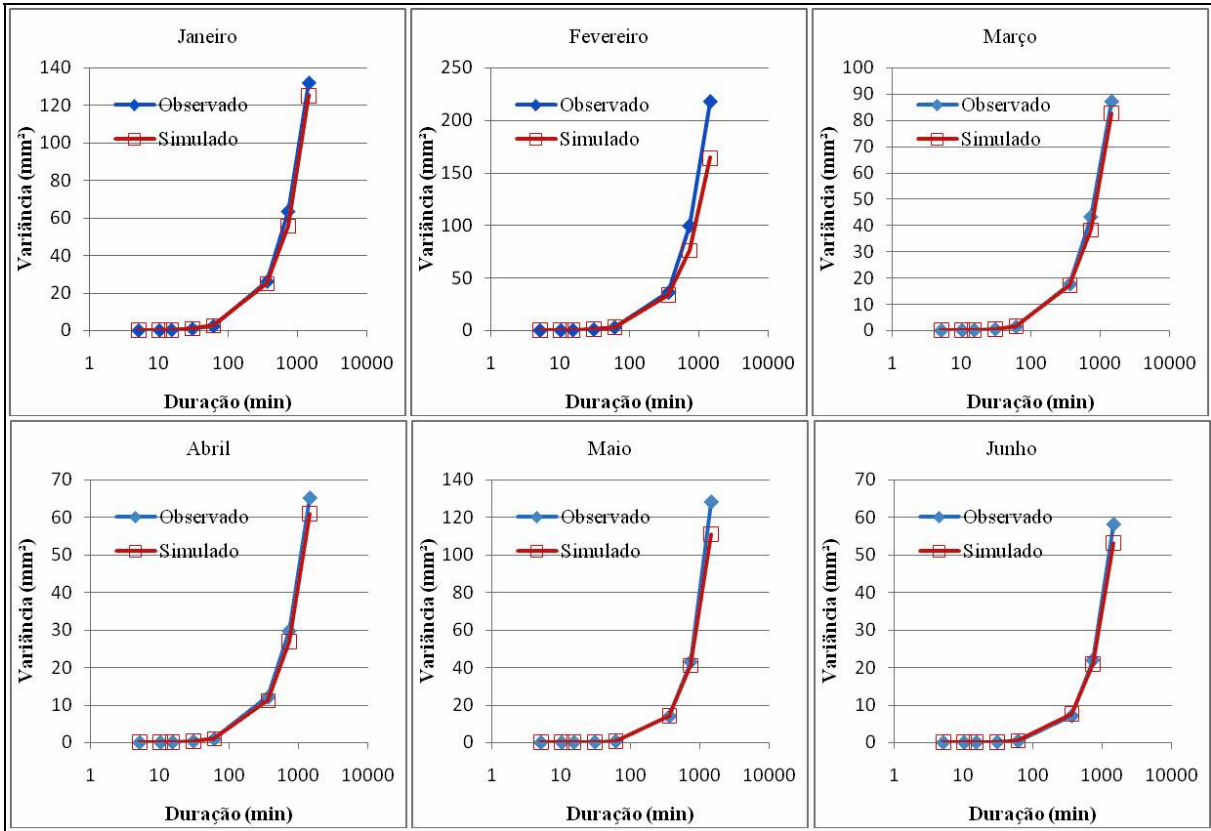


Figura 20. Variância da precipitação da série observada e simulada nos diferentes intervalos de duração para os meses de janeiro a junho.

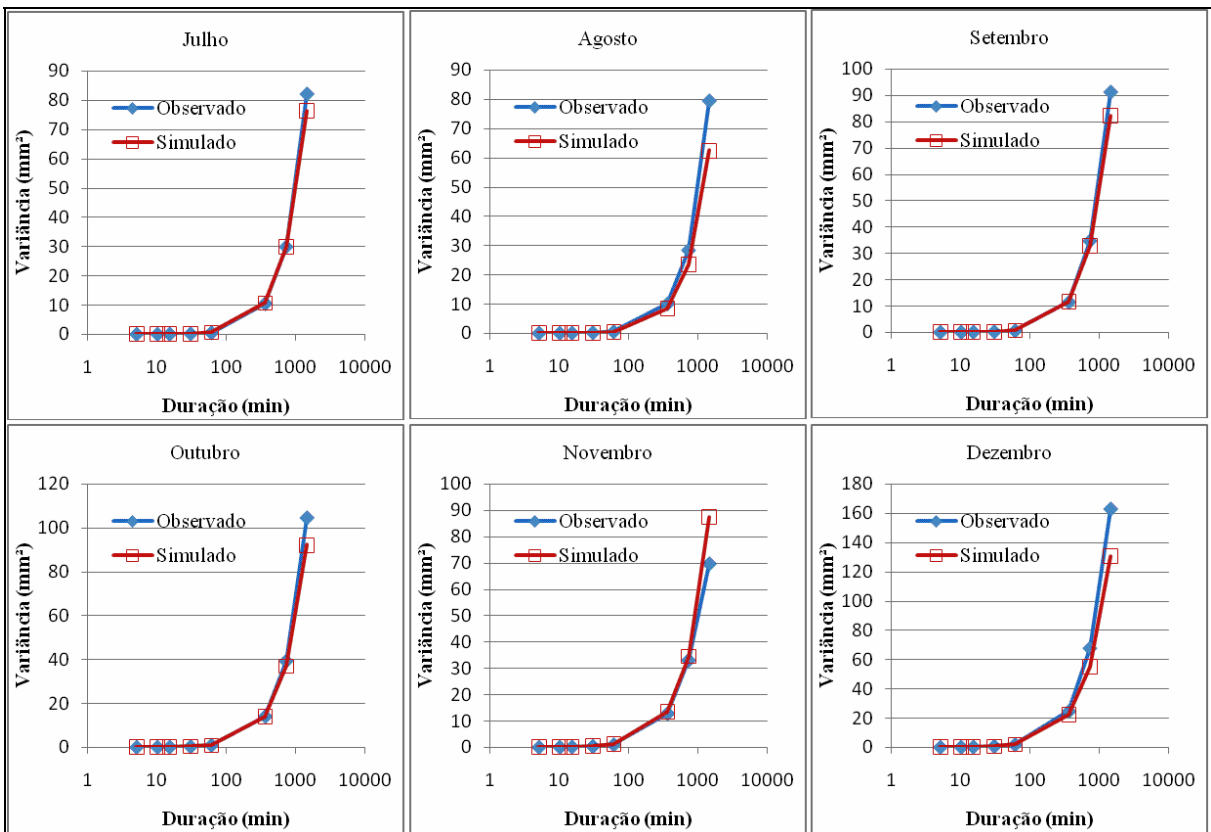


Figura 21. Variância da precipitação da série observada e simulada nos diferentes intervalos de duração para os meses de julho a dezembro.

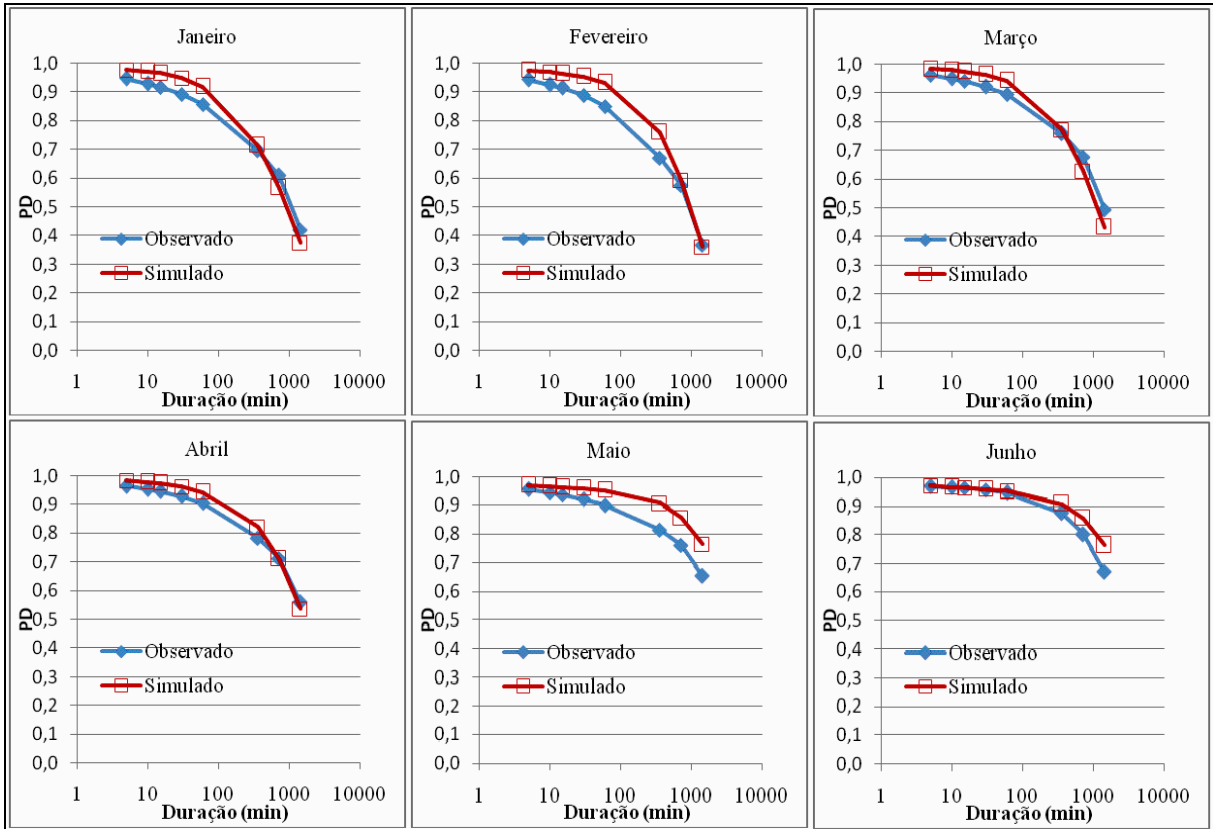


Figura 22. Probabilidade do intervalo ser seco da série de precipitação observada e simulada nos diferentes intervalos de duração para os meses de janeiro a junho.

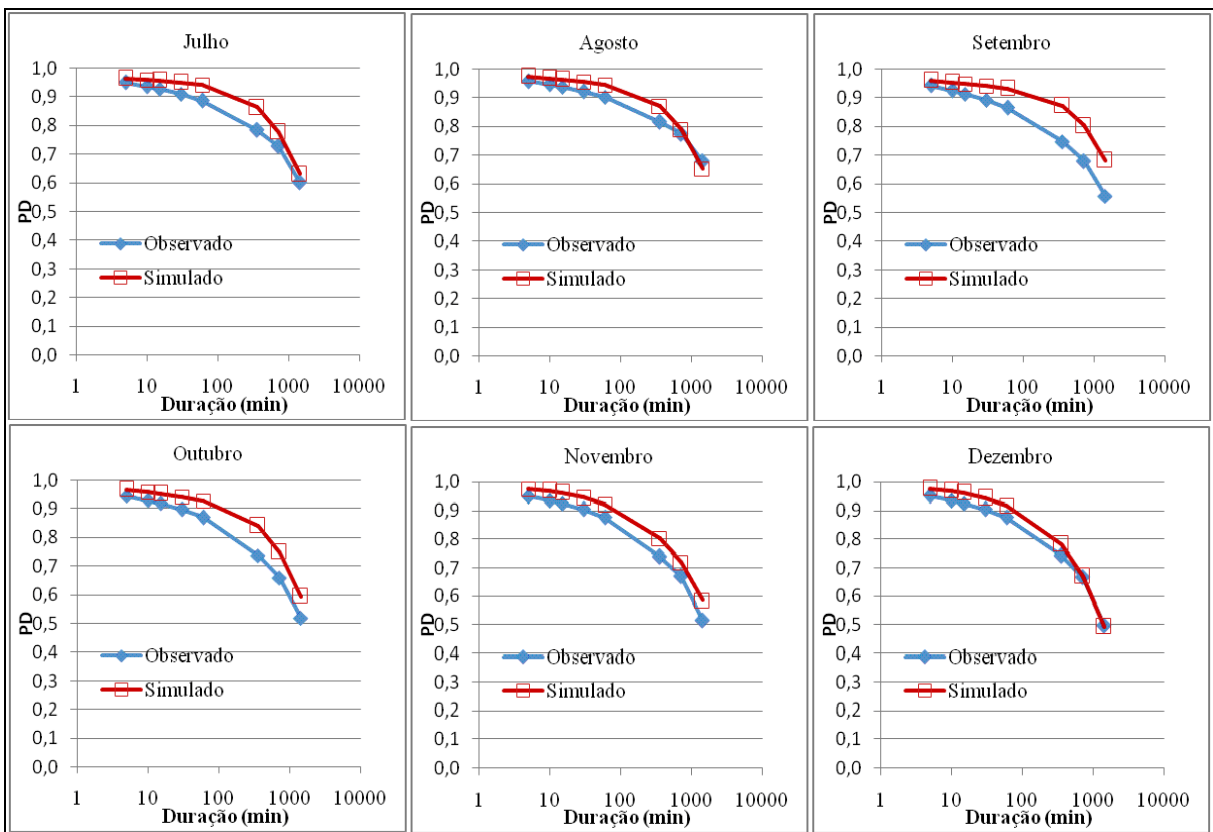


Figura 23. Probabilidade do intervalo ser seco da série de precipitação observada e simulada nos diferentes intervalos de duração para os meses de julho a dezembro.

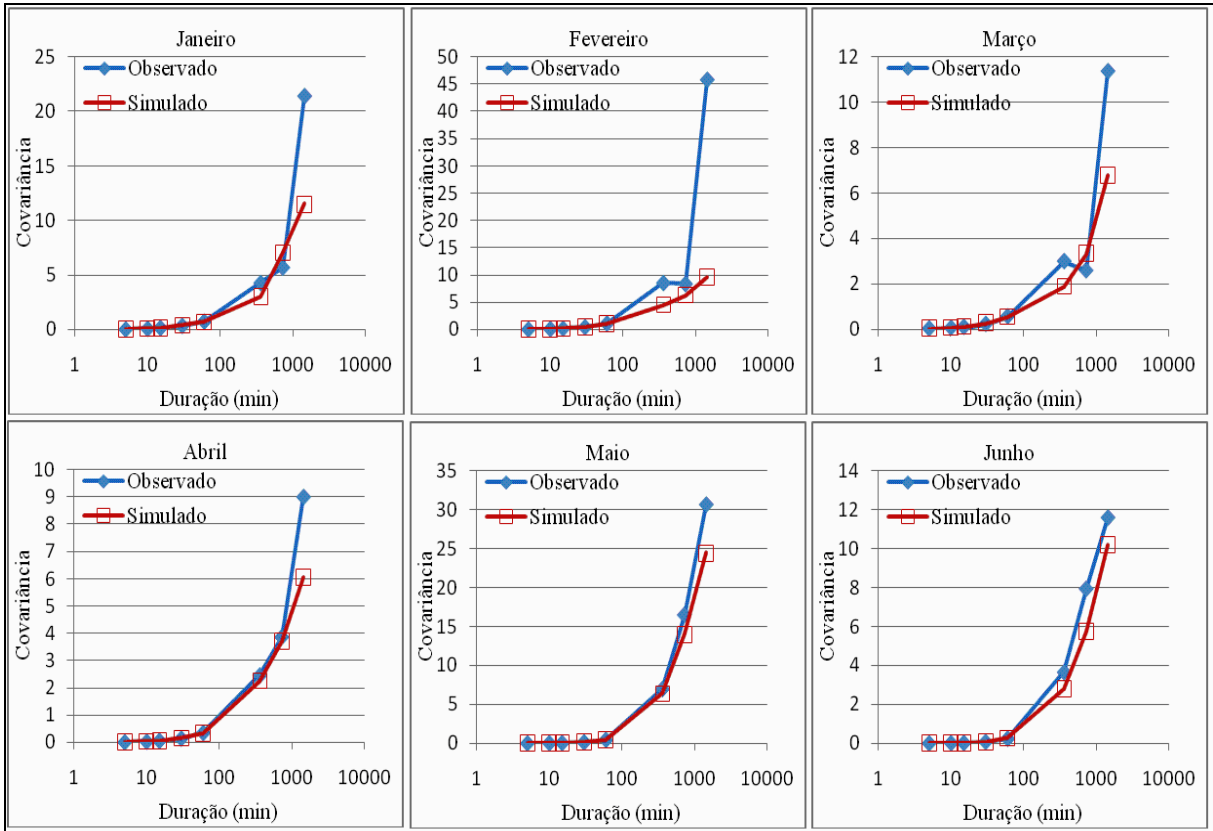


Figura 24. Covariância da precipitação da série observada e simuladas nos diferentes intervalos de duração para os meses de janeiro a junho.

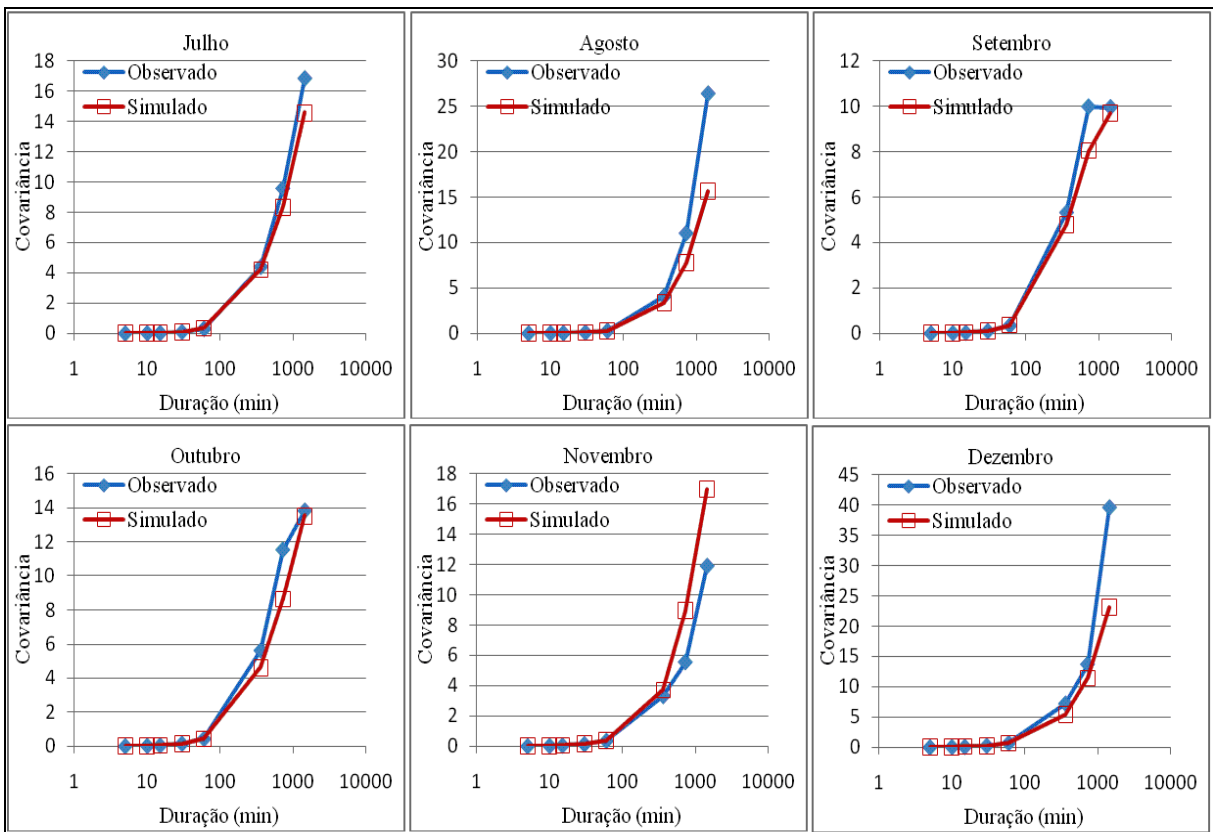


Figura 25. Covariância da precipitação da série observada e simulada nos diferentes intervalos de duração para os meses de julho a dezembro.

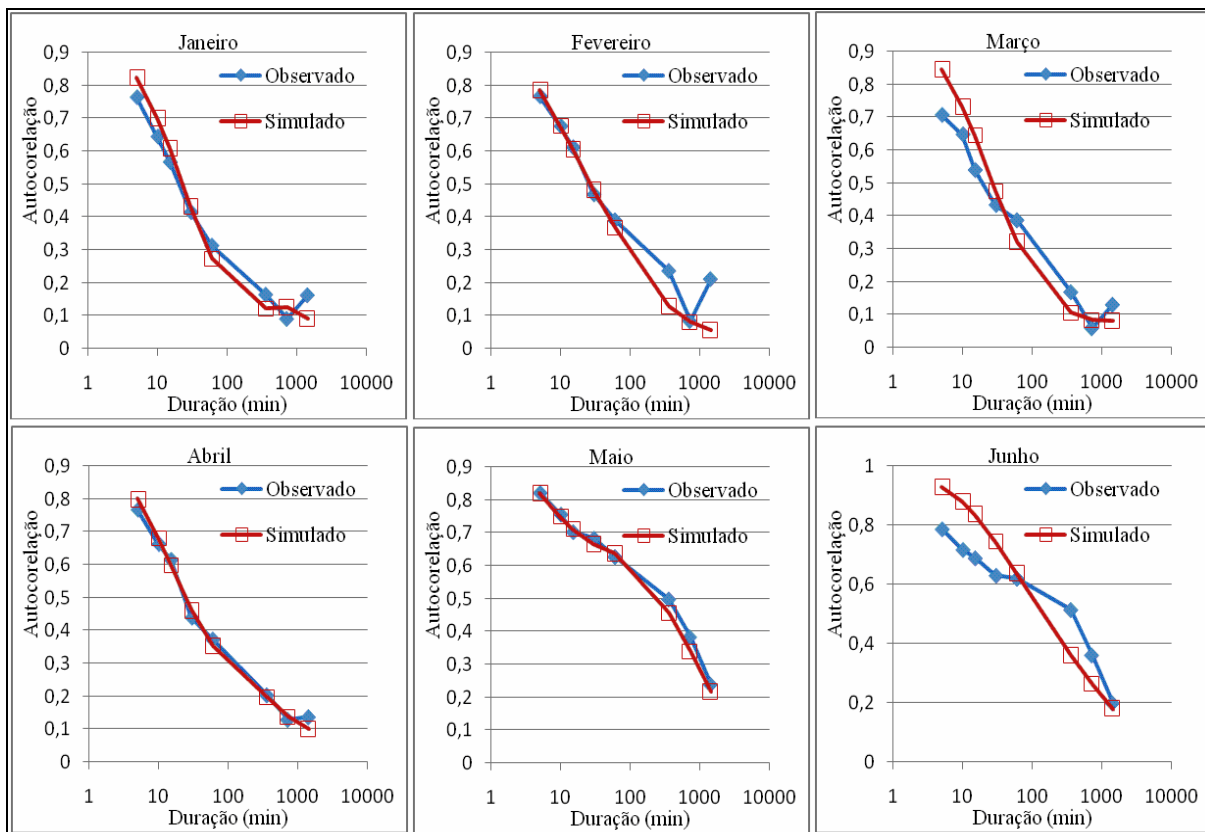


Figura 26. Autocorelação da precipitação da série observada e simulada nos diferentes intervalos de duração para os meses de janeiro a junho.

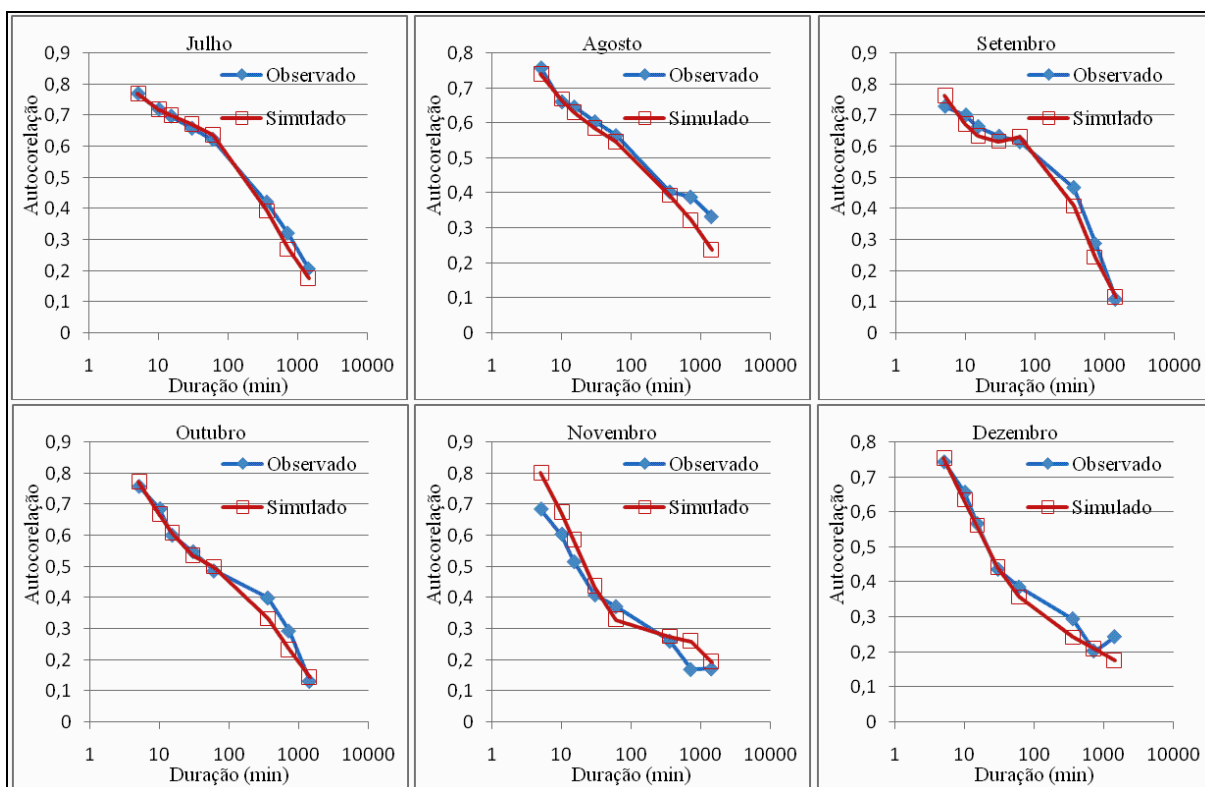


Figura 27. Autocorelação da precipitação da série observada e simulada nos diferentes intervalos de duração para os meses de julho a dezembro.

Nas Figuras 28 a 31 são representados os totais de chuva em intervalos de 30, 15, 10 e 5 minutos da série observada e de uma série simulada com 100 anos de duração, juntamente com o intervalo de confiança de 95 %. Observa-se também nos totais anuais que o modelo simula as chuvas mantendo as características da série observada, de forma semelhante ao observado para o intervalo de duração horária. Dentre os poucos trabalhos aplicando o modelo de pulsos retangulares para duração inferior a 1 hora, destaca-se o trabalho de Damé (2001) que ajustou os parâmetros do modelo com dados de Pelotas (RS) e aplicou o método para simular séries de chuva com intervalos de 15 minutos.

Como o ajuste dos parâmetros do modelo refletem as diferenças sazonais no tipo de chuva e mantém as características estruturais da mesma, coerentes com a ocorrência dos principais tipos de precipitação, e ainda considerando que as séries simuladas apresentam as estatísticas semelhantes as séries observadas, pode-se concluir que a aplicação do modelo é uma importante ferramenta que pode ser utilizada nos estudos hidrológicos que necessitam de longas séries de dados de precipitação em intervalos de duração inferiores a 1 dia.

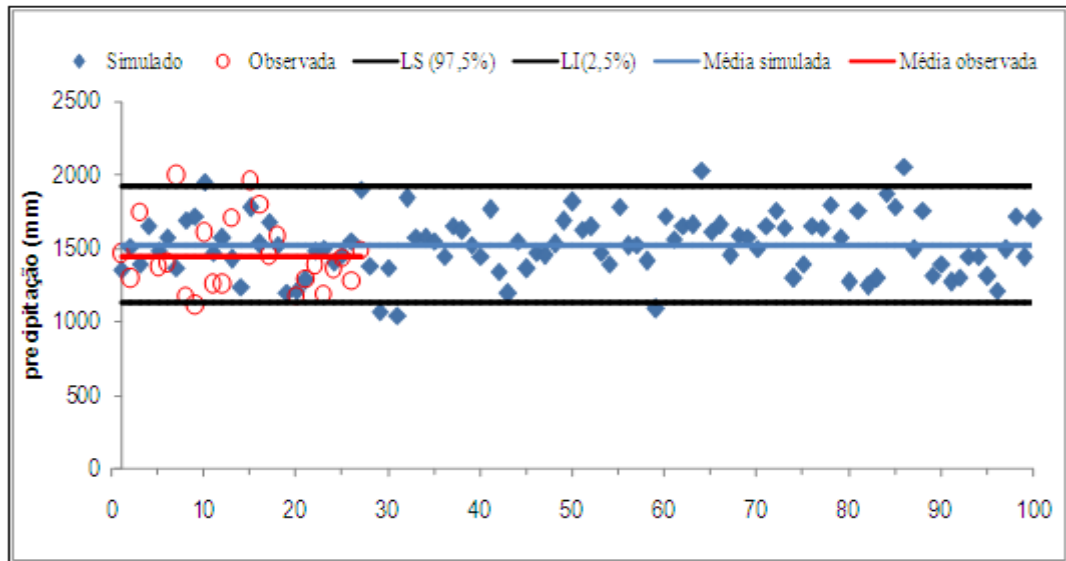


Figura 28. Totais anuais de chuva da série de 30 minutos.

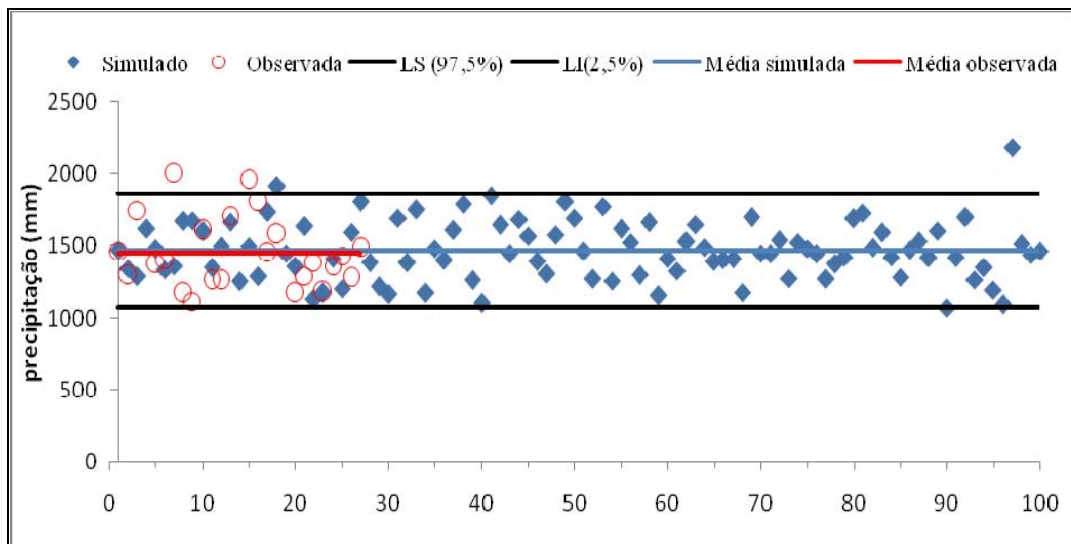


Figura 29. Totais anuais de chuva da série de 15 minutos.

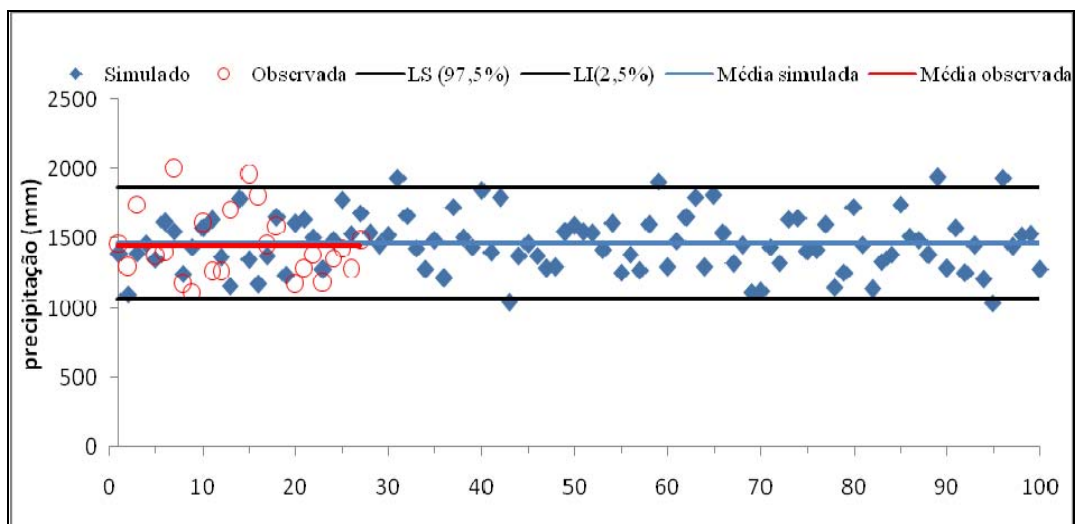


Figura 30. Totais anuais de chuva da série de 10 minutos.

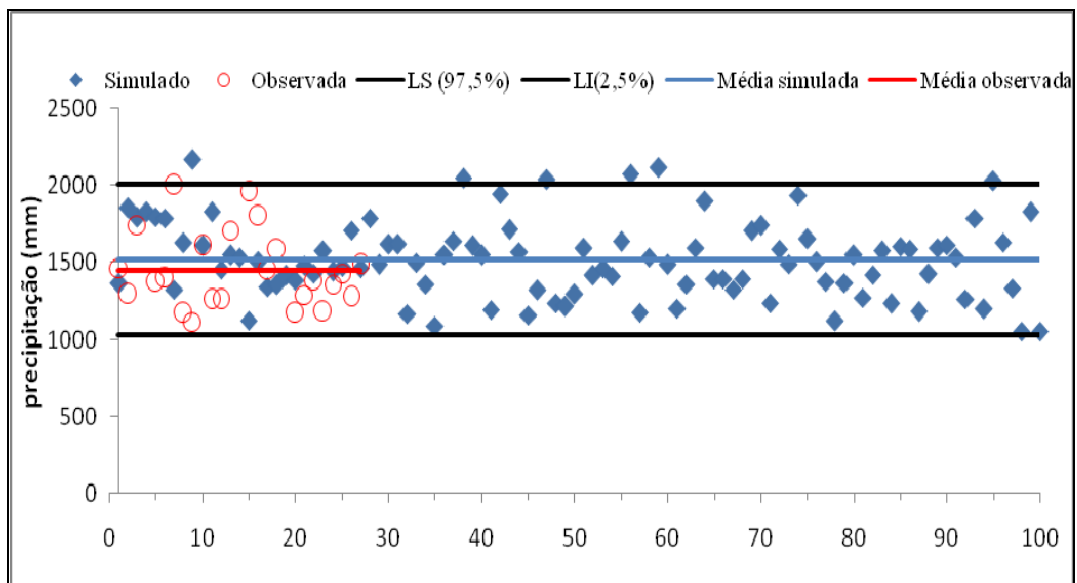


Figura 31. Totais anuais de chuva da série de 5 minutos.

Nas tabelas 14, 16, 18 e 20 encontram-se as estatísticas das séries das máximas anuais observadas e simuladas para o intervalo de duração de 30, 15, 10 e 5 minutos respectivamente. Nas tabelas 15, 17, 19 e 21 os valores de precipitação máxima estimada para períodos de retorno variando de 2 a 100 anos, para a série observada e simulada, respectivamente. Para todos os intervalos de duração menor de 1 hora observa-se que na série de máximas anuais da série simulada apresenta menores valores que da série observada. No intervalo de duração de 30 minutos a média simulada é 25,3 % inferior a série observada, sendo essa diferença de 22,9 %, 33,3 % e 40,6 % para os intervalos de 15 min, 10 min e 5 min respectivamente. Essas diferenças na média e no desvio padrão implicam em subestimativas dos valores de chuva máxima, como evidenciados nas Figuras 32 a 35. Essa constatação está de acordo com as observações de Onof e Wheater (1994) e Cameron et al. (2001) que encontraram valores de estatísticas de eventos extremos subestimados em relação aos dados históricos para duração de 1 hora.

Com essa constatação pode-se afirmar que o modelo de pulsos retangulares de Bartlett-Lewis modificado pode ser usado para gerar séries sintéticas de precipitação, porém sua aplicação para estudos de eventos extremos fica limitado para chuvas em intervalos de duração superior a 1 hora.

Tabela 14. Estatísticas das séries de máximas anuais com duração de 30 minutos.

Estatística	Série de dados horários	
	observada	Simulada
Nº de valores	26	100
Média (mm)	27,7	21,7
Desvio padrão (mm)	8,8	5,2
Assimetria	1,26	1,01
Maximo (mm)	55,9	40,0
Mínimo (mm)	14,5	11,6
Quartil 3 (mm)	32,6	24,7
Quartil 2 (mm)	26,5	20,6
Quartil 1 (mm)	20,4	18,1

Tabela 15. Precipitação máxima com duração de 30 minutos estimada por meio da distribuição de Gumbel .

T - Período de Retorno (anos)	Y – variável reduzida	Série de dados horários	
		observada	Simulada
2	0,367	26,4	20,9
5	1,500	35,5	25,8
10	2,250	41,5	29,1
20	2,970	47,3	32,2
25	3,199	49,1	33,2
50	3,902	54,7	36,3
100	4,600	60,3	39,3

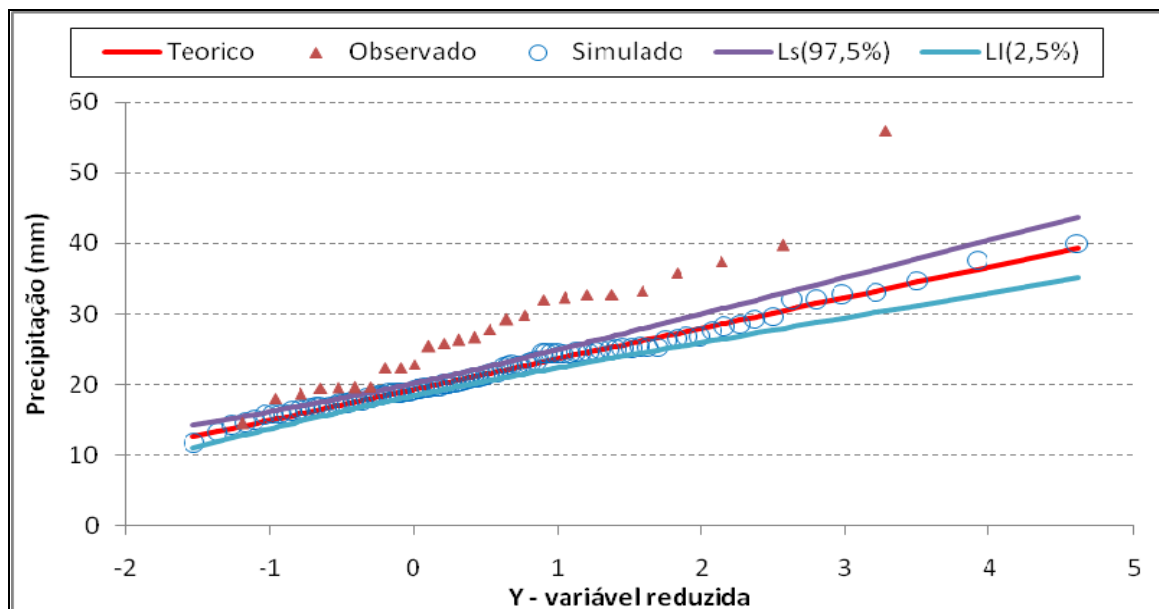


Figura 32. Aderência da série de máximas anuais de precipitação de 30 minutos a distribuição de Gumbel

Tabela 16. Estatísticas das séries de máximas anuais para intervalos de 15 minutos.

Estatística	Série de dados horários	
	observada	Simulada
Nº de valores	26	100
Média (mm)	18,3	14,1
Desvio padrão (mm)	4,6	3,5
Assimetria	1,18	1,12
Maximo (mm)	32,8	27,6
Mínimo (mm)	11,3	8,7
Quartil 3 (mm)	20,6	16,2
Quartil 2 (mm)	18,1	13,0
Quartil 1 (mm)	14,9	11,7

Tabela 17. Precipitação máxima com duração de 15 minutos estimada por meio da distribuição de Gumbel .

T - Período de Retorno (anos)	Y - variável reduzida	Série de dados horários	
		observada	Simulada
2	0,367	17,6	13,5
5	1,500	22,4	16,8
10	2,250	25,6	19,0
20	2,970	28,6	21,2
25	3,199	29,6	21,8
50	3,902	32,6	23,9
100	4,600	35,5	25,9

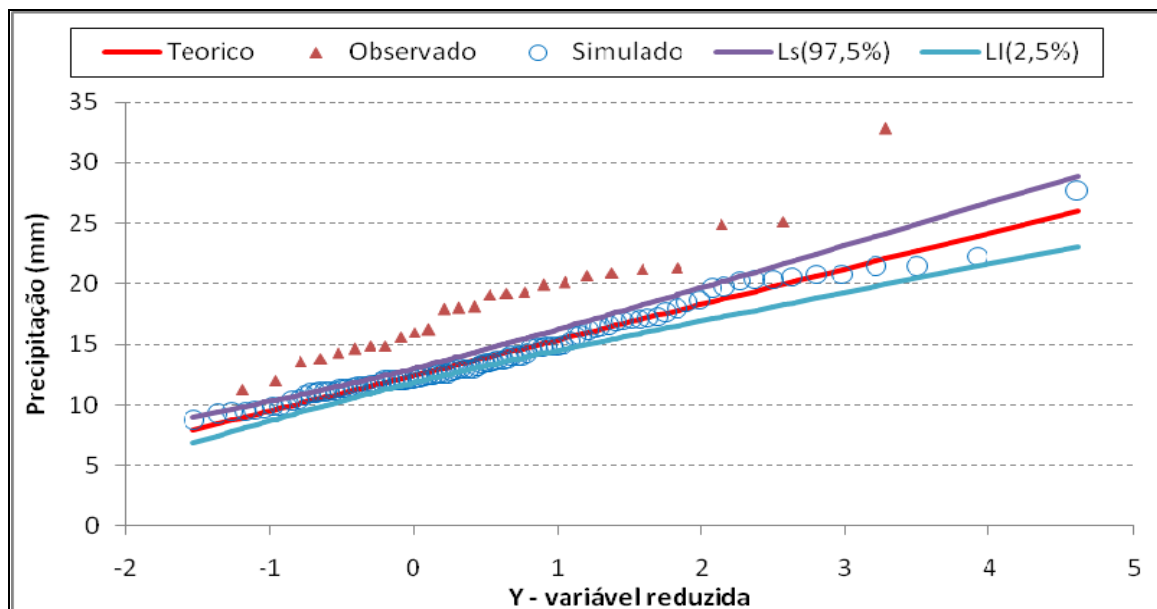


Figura 33. Aderência da série de máximas anuais de precipitação de 15 minutos a distribuição de Gumbel.

Tabela 18. Estatísticas das séries de máximas anuais para intervalos de 10 minutos.

Estatística	Série de dados horários	
	Observada	Simulada
Nº de valores	26	100
Média (mm)	14,7	9,8
Desvio padrão (mm)	2,6	2,2
Assimetria	0,93	0,70
Maximo (mm)	22,7	15,9
Mínimo (mm)	10,2	5,9
Quartil 3 (mm)	16,1	10,9
Quartil 2 (mm)	14,4	9,5
Quartil 1 (mm)	13,4	8,1

Tabela 19. Precipitação máxima com duração de 10 minutos estimada por meio da distribuição de Gumbel.

T - Período de Retorno (anos)	Y - variável reduzida	Série de dados horários	
		Observada	Simulada
2	0,367	14,3	9,5
5	1,500	17,0	11,6
10	2,250	18,8	13,0
20	2,970	20,5	14,3
25	3,199	21,1	14,7
50	3,902	22,8	16,0
100	4,600	24,5	17,3

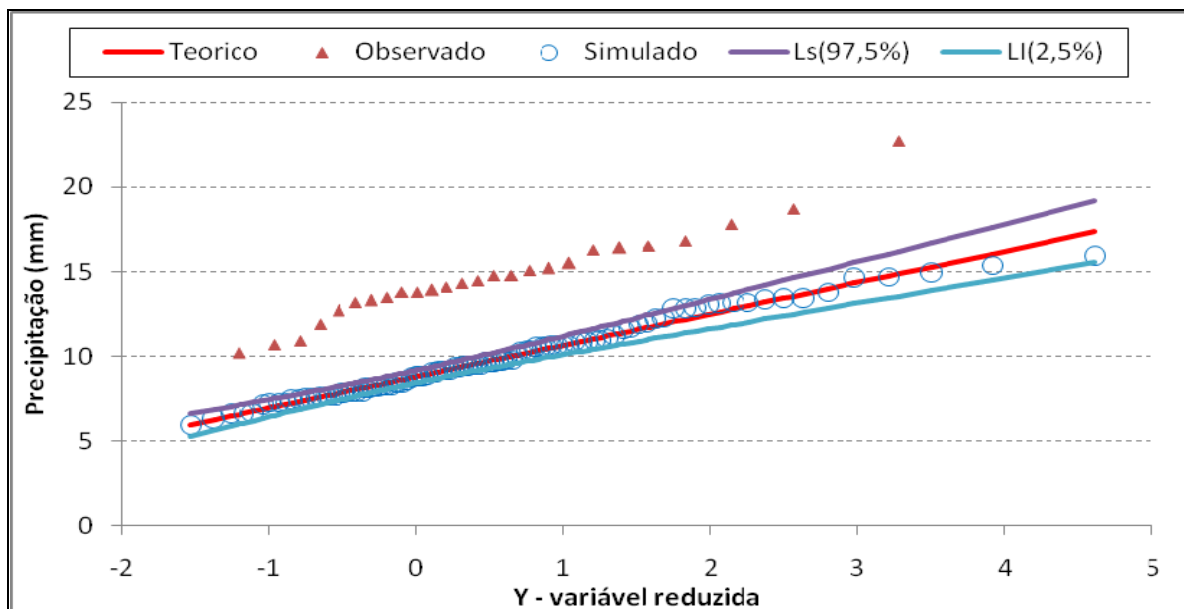


Figura 34. Aderência da série de máximas anuais de precipitação de 10 minutos a distribuição de Gumbel.

Tabela 20. Estatísticas das séries de máximas anuais com duração de 5 minutos.

Estatística	Série de dados horários	
	observada	Simulada
Nº de valores	26	100
Média (mm)	9,6	5,7
Desvio padrão (mm)	2,1	1,2
Assimetria	1,08	0,62
Maximo (mm)	15,1	9,4
Mínimo (mm)	6,9	3,8
Quartil 3 (mm)	10,9	6,4
Quartil 2 (mm)	8,9	5,7
Quartil 1 (mm)	8,3	4,8

Tabela 21. Precipitação máxima com duração de 5 minutos estimada por meio da distribuição de Gumbel.

T - Período de Retorno (anos)	Y - variável reduzida	Série de dados horários	
		observada	Simulada
2	0,367	9,3	5,6
5	1,500	11,4	6,7
10	2,250	12,8	7,4
20	2,970	14,2	8,1
25	3,199	14,6	8,4
50	3,902	15,9	9,1
100	4,600	17,2	9,8

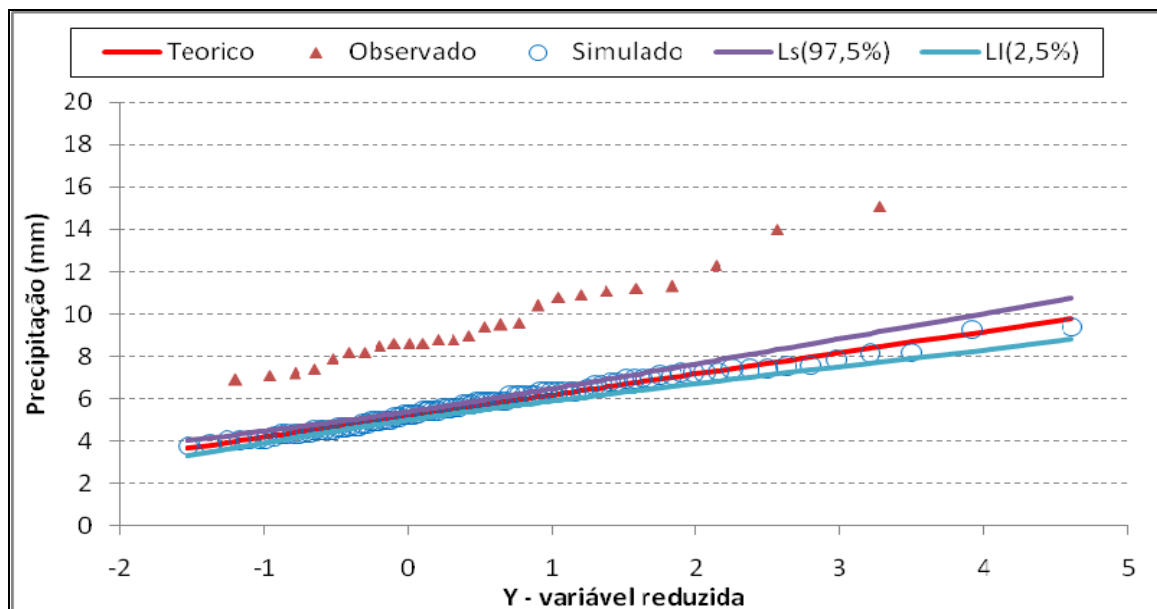


Figura 35. Aderência da série de máximas anuais de precipitação de 5 minutos a distribuição de Gumbel.

5 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos pode-se concluir que:

1. O ajuste dos parâmetros do modelo de Bartlett-Lewis modificado possibilita a simulação de chuvas com intervalos de duração de até 5 minutos preservando as propriedades estatísticas da precipitação em vários níveis de agregação temporal;
2. A variação sazonal dos processos atmosféricos envolvidos na origem das chuva e das características implica em variação sazonal dos parâmetros do modelo, refletindo de forma coerente as características da chuva predominante;
3. As séries simuladas apresentaram estatísticas nos diversos níveis de agregação temporal semelhantes aos valores observados;
4. De forma geral observou-se a tendência de superestimativa da probabilidade dos períodos serem secos e subestimativa da covariância para intervalos de 24 horas, principalmente no verão;
5. Os totais anuais de chuva simulada para todos os intervalos de duração analisados permanecem dentro do intervalo de confiança de 95 %;
6. Para as séries de precipitação simulada com duração de 1 hora observou-se que a série de máximas anuais da série simulada manteve as características da série observada;
7. Para as séries de precipitação simulada com duração de 30 minutos ou inferior observou-se subestimativas superior a 23 % na média da série de máximas anuais, inviabilizando sua utilização direta na simulação de eventos extremos.

REFERÊNCIAS

- ARON, G.; WALL, D.J.; WHITE, E.I.; DUNN, C.N. Regional rainfall intensity-duration-frequency curve Pennsylvania. **Water Resources Bulletin**, Salt Lake City, v.23, n.2, p.479-485, 1987.
- ASSIS, F.N. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. Pelotas: Universitária, 1993. 161p.
- BACK, Á.J. **Determinação da precipitação efetiva para irrigação Suplementar pelo balanço hídrico horário: um caso – estudo em Urussanga, SC**. Porto Alegre: UFRGS, 1997. 122p.
- BACK, A. J. **Chuvas intensas e chuva de projeto de drenagem superficial para o estado de Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, 2002. 65p.
- BARTH, F.T. et. al. **Modelos para gerenciamento de recursos Hídricos**. São Paulo: Nobel: ABRH, 1987. 320p.
- BALD, A.A. **Tópicos em matemática aplicada**. Santo Ângelo, RS: URI, 1993.
- BASSANESI, R.C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**. São Paulo: Contexto, 2002. 256p.
- BEIJO, L. A. et al. Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal (SP) pela distribuição de Gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n.1. p. 141-147, 2003.
- BURLANDO, P., ROSSO, R. **Stochastic models of temporal rainfall: reproducibility, estimation and prediction of extreme events**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1993, p. 137-173.
- CAMERON, L.S. et al. **Statical modeling in hydrology**. Chichester: John Wiley & Sons, 2001. 412p.
- COSTA, A.R.; BRITO, V.F. Equações de chuva intensa para Goiás e Sul de Tocantins. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999, Belo Horizonte. **Anais....** Belo Horizonte: ABRH, 1999. 1CD-ROM.
- COX, D.R., ISHAM, V. **Point processes**. London. Chapman and Hall, 1980.
- _____. A simple spatial temporal model of rainfall. London, **Mathematical and Physical Sciences**, v. 415, p. 317-328, 1988.
- COWPERTWAIT, P.S.P. et al. Stochastic point process modelling of rainfall. I. Single-site and validation. **Journal of Hidrology**, Amsterdam, v.175, 1996.
- CLARKE, R.T. Stochastic Hydrology Revisited. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Roma, v.7, p.97-104, 2002.
- _____. **Mathematical models in hydrology**. Roma: John Wiley & Sons, 1975, 175p. (paper 19).

CRUCIANI, D.E. **A drenagem na agricultura**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1980. 337p.

DAMÉ, R.C.F. **Desagregação de precipitação diária para estimativa de curvas intensidade-duração-freqüência**. 2001. 131f. Tese (Doutorado em engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

DAMÉ, R.C.F.; PEDROTTI, C.B.M.; CARDOSO, M.A.; SILVEIRA, C.P.; DUARTE, L.A.; MOREIRA, C. Comparação entre curvas intensidade-Duração-Freqüência de ocorrência de precipitação obtidas a partir de dados pluviográficos com aquelas estimadas por técnicas de desagregação de chuva diária. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.12, n.4, p.505-509, 2006.

ELTZ, F. L.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.2, p.265-269, 1992.

ENTEKHABI, D. et. al. Probabilistic representation of the temporal rainfall process by modified Neyman-Scott rectangular pulses model: parameter estimation and validation. **Water resources Research**, Washington, v.25, 1989.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural. **Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico do Estado de Santa Catarina**.1999. 1CD-ROM.

FENDRICH, R. **Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná**. Curitiba: Champagnat, 1998. 99p.

FOUFOLA, G. **Discrete – Time Point Process Models for Daily Rainfall, Water Resources Séries**, Technical Report, n.33, Scatle- Whashington: Dept Civil Eng University of Washington, 1985.

GOMES, F.G.; AQUINO, L.H. de; OLIVEIRA, M.S. de. Estudo da distribuição e freqüência de precipitação pluviométrica máxima em períodos de dez e quinze dias, um mês e um ano, em Lavras (MG) pela distribuição Gumbel. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 177-184, maio/ago. 1989.

GOULART, J.P. **Apostila de hidrologia**. Faculdade de Engenharia Agrícola. UFPel, 1991. 52p.

GYASI, A.; WILLGOOSE, C. **Frequency and risk analysis in hydrology**. 3.ed. Fort Collins: Water Resources, 1997. 224p.

ISLAM, S. et. al. Parameter estimation and sensivity for the modified bartlett-Lewis Rectangular pulses model of rainfall. **Jornal of Geophysical Research**, Washington, v.95, 1990.

KELMANN, J. Controle de cheias a aproveitamentos hidroelétricos (RBE). **Revista brasileira de engenharia**, Rio de Janeiro, v. 35, n.3, p.20-29, 1987.

KHALIQ, M.N.; CUNNANE, C. **Modeling point rainfall occurrences with the Modified Bart-Lewis Rectangular Pulses Model**. Journal of Hydrology, Rome, v.180, 1996.

KITE, G. W. **Frequency and risk analysis in hydrology**. Fort Collins: Water Resources. 3.ed. 1978. 224p.

- KRIOUKOV, V. **fundamentos da modelagem matemática**. São Paulo: Harbra, 1996. 245p.
- LAPPONI, J.C. **Estatística usando excel**. 4 ed., rev. e atual. São Paulo: Elsevier, 2005. 352p.
- MARTINEZ JUNIOR, F. Análise das precipitações intensas no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13, 1999, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 1999. 1 CD-ROM.
- MONTEIRO, M.A. **Dinâmica atmosférica e a caracterização dos tipos de tempo na bacia Hidrográfica do Rio Araranguá**. 2007. 224f. Tese (Doutorado em Geografia) – Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- NERILO, N.; MEDEIROS, P.A.; CORDEIRO, A. **Chuvas intensas no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis:UFSC/Edifurb, 2002. 128p.
- NEYMAN, J.; SCOTT, E. I. **A Statistical Approach to Problems of Cosmology**, J.R. Statist. Soc., p.41-43,1958.
- OLIVEIRA, L.F.; CORTES, F.C.; BARBOSA, F.O.; ROMÃO, P.A. CARVALHO, D.F. Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades de Goiás pelo método da desagregação de chuvas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.30, n.1, p23-27, 2000.
- ONOF, S.J.; WHEATER, P. Análise de dados pluviométricos. In: **International Institute for Land Reclamation and Improvement: principios y aplicaciones del drenaje**. Wageningen: Handbook, 1993. p. 269-288.
- ORSELLI, L. Clima. In:**Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aero foto Cruzeiro, 1991. p.38-39.
- OSBORN, J. et al. Short-duration-rainfall intensity equations for drainage design. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.119, n.5, p.814-828, 1980.
- PAIVA, J.B. **Projeto de rede de estações pluviométricas – Estudo de caso**. São Paulo: SBPC, 2001. p. 74-81.
- PEDROLLO, O.C. **GEDAC: Gerenciamento de Dados Contínuos**. Manual do usuário. Porto Alegre: IPH, 1997. 60 p. (v. 34.).
- PINTO, F.A.; FERREIRA, P.A.; PRUSKI, F.F.; ALVES, A.R.; CECON, P.R. Equações de chuvas intensas para algumas localidades do Estado de Minas Gerais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.16, n.1, p.91-104, 1996.
- RIBEIRO, A.M.; LUNARDI, D.M.C. **precipitação mensal através da função gama**. Revista energia na agricultura, Botucatu, v.12, n.4, p.37-44, 1997.
- REICHARDT, K.A. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Mande, 1987. 188p.
- RODRIGUES, M.L.G. **Uma climatologia de frentes frias no litoral catarinense com dados de reanálise NCEP**. 2003. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- RODRIGUEZ-ITURBE, I. Scale of fluctuation of rainfall models. **Water Resources Reserch.**, v. 22, n.9, p.62-73, 1988.

_____. **Some models for rainfall based on stochastic point process.** *Proc. R. Lond. A.*, v.10, p.45-51, 1987.

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. **Atlas de Santa Catarina.** Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986. 173 p.

SEVRUK, B.; GEIGER, H. **Selection of distribution types for extremes of precipitation.** Geneva: Statist Soc., 1981. 65p. (World Meteorological Organization Report n° 15).

SILVA, D.D.; PINTO, F.R.L.P.; PRUSKI, F.F.; PINTO, F. A. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.18, n.3, p.11-21, 1999.

SILVA, D.D.; GOMES FILHO, R.R.; PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S.B.; NOVAES, L.F. Chuvas intensas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.362-367, 2002.

SUGAI, M.R.B.; FILL, H.D.O.A. Tempo de recorrência associado à precipitação máxima provável na Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia**, Rio de Janeiro, v. 8, n. p. 1, 110,1990.

TRENT, R.E.; DICKERSON, W.H. Storm characteristic and Rainfall Intensity in West Virginia. In: **West Virginia University Bulletin**, series 77, n. 12, 1976, 60 p. (Information Report 8).

TUCCI, C.E. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: UFRGS, 1993. 943p.

UGGIONI, A.B. **Utilização da modelagem matemática no planejamento ambiental no litoral sul de Santa Catarina.** 2005. 60f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2005.

VIANELLO, R. L. **Meteorologia Básica e Aplicações.** Viçosa: UFV, 1991. 234p.

VERHOEST, N.; TROCH, P.A.; DE TROCH, F.P. On the applicability of Bartlett-Lewis rectangular pulses models in the modeling of designs storms at a point. **Journal of hydrology**, p.108-120, 1997.

VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F.; BURROWS, I.T. Mapeamento da chuva diária máxima provável para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.15, n.1, p.93-98, 1981.

WAYMIRE, E.E.; GUPTA, V.J. **The Mathematical Structure of Rainfall:** representation, Part 1, a review of the stochastic rainfall models. Walter Resouces Research, 1981, p.1261-1272.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 30 minutos para os meses de Janeiro e Fevereiro.

Intervalos	Estatística	Janeiro			Fevereiro		
		1	2	3	1	2	3
30 min	Var ²	0,850	0,890	0,8744	0,976	1,030	1,0393
	PD ³	0,892	0,757	0,9488	0,888	0,951	0,9532
	Covar ⁴	0,353	0,422	0,4144	0,456	0,516	0,5165
	Correl ⁵	0,415	0,474	0,4735	0,468	0,501	0,4955
1 h	Média ¹	0,250	0,249	0,2465	0,274	0,273	0,2784
	Var ²	2,357	2,624	2,5969	2,864	3,091	3,1204
	PD ³	0,857	0,913	0,9200	0,850	0,932	0,9325
	Covar ⁴	0,738	0,815	0,7963	1,114	1,212	1,2011
	Correl ⁵	0,313	0,311	0,3059	0,389	0,392	0,3829
6 h	Var ²	26,100	26,725	26,2533	36,230	37,609	36,9652
	PD ³	0,696	0,703	0,7179	0,671	0,752	0,7552
	Covar ⁴	4,270	3,367	3,0820	8,539	6,375	5,8184
	Correl ⁵	0,164	0,126	0,1174	0,236	0,170	0,1544
12 h	Var ²	63,420	60,183	58,5498	99,463	87,967	86,3279
	PD ³	0,608	0,556	0,5724	0,575	0,583	0,5888
	Covar ⁴	5,699	7,249	6,6821	8,365	10,122	7,6299
	Correl ⁵	0,090	0,120	0,1143	0,084	0,115	0,0855
24 h	Var ²	132,014	134,863	129,7331	217,679	196,178	191,1513
	PD ³	0,421	0,372	0,3913	0,368	0,349	0,3574
	Covar ⁴	21,392	15,055	14,2500	45,833	15,009	7,8075
	Correl ⁵	0,162	0,112	0,1094	0,211	0,077	0,0409

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

²Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE B – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 30 minutos para os meses de Março e Abril.

Intervalos	Estatística	Março			Abril		
		1	2	3	1	2	3
30 min	Var ²	0,505	0,520	0,5624	0,333	0,344	0,3452
	PD ³	0,922	0,973	0,9719	0,929	0,905	0,9624
	Covar ⁴	0,219	0,241	0,2526	0,146	0,166	0,1678
	Correl ⁵	0,433	0,463	0,4482	0,439	0,482	0,4834
1 h	Média ¹	0,166	0,167	0,1758	0,130	0,129	0,1294
	Var ²	1,423	1,521	1,6294	0,953	1,020	1,0295
	PD ³	0,896	0,958	0,9584	0,904	0,938	0,9418
	Covar ⁴	0,550	0,551	0,5707	0,355	0,364	0,3657
	Correl ⁵	0,387	0,362	0,3488	0,373	0,357	0,3518
6 h	Var ²	17,647	17,285	18,2023	12,103	11,836	11,8941
	PD ³	0,760	0,828	0,8345	0,783	0,806	0,8140
	Covar ⁴	2,988	2,263	1,9433	2,467	2,251	2,0316
	Correl ⁵	0,169	0,131	0,1057	0,204	0,190	0,1709
12 h	Var ²	43,199	39,095	40,2534	29,737	28,173	27,9860
	PD ³	0,677	0,695	0,7066	0,712	0,697	0,7064
	Covar ⁴	2,580	3,154	1,9970	3,877	4,392	3,9600
	Correl ⁵	0,060	0,081	0,0477	0,130	0,156	0,1423
24 h	Var ²	86,992	84,500	85,2551	65,231	65,131	62,8326
	PD ³	0,494	0,490	0,5068	0,560	0,527	0,5391
	Covar ⁴	11,385	4,086	2,1052	9,029	7,848	7,5006
	Correl ⁵	0,131	0,048	0,0255	0,138	0,120	0,1181

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

²Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE C – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 30 minutos para os meses de Maio e Junho.

Intervalos	Estatística	Maio			Junho		
		1	2	3	1	2	3
30 min	Var ²	0,207	0,210	0,2313	0,120	0,113	0,1056
	PD ³	0,920	0,960	0,9605	0,929	0,940	0,9535
	Covar ⁴	0,141	0,143	0,1590	0,076	0,084	0,0772
	Correl ⁵	0,683	0,682	0,6865	0,630	0,743	0,7301
1 h	Média ¹	0,140	0,141	0,1511	0,104	0,103	0,0982
	Var ²	0,704	0,706	0,7813	0,390	0,393	0,3645
	PD ³	0,900	0,954	0,9543	0,908	0,940	0,9435
	Covar ⁴	0,442	0,462	0,5071	0,242	0,255	0,2313
	Correl ⁵	0,627	0,655	0,6484	0,620	0,647	0,6339
6 h	Var ²	13,995	14,437	15,7934	7,111	7,600	6,8367
	PD ³	0,814	0,898	0,8981	0,813	0,871	0,8775
	Covar ⁴	6,967	6,575	7,2839	3,655	3,109	2,6504
	Correl ⁵	0,498	0,455	0,4599	0,514	0,409	0,3870
12 h	Var ²	42,996	42,024	46,0312	21,942	21,417	18,8552
	PD ³	0,761	0,835	0,8355	0,760	0,801	0,8091
	Covar ⁴	16,482	14,820	17,3225	7,926	6,856	5,6546
	Correl ⁵	0,383	0,353	0,3713	0,361	0,320	0,2994
24 h	Var ²	128,292	113,688	125,5076	58,109	56,547	49,5848
	PD ³	0,654	0,723	0,7230	0,661	0,677	0,6883
	Covar ⁴	30,648	29,950	38,2288	11,588	13,603	9,9979
	Correl ⁵	0,239	0,263	0,2952	0,199	0,241	0,2023

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

²Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE D – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 30 minutos para os meses de Julho e Agosto.

Intervalos (h)	Estatística	J			A		
		1	2	3	1	2	3
30 min	Var ²	0,152	0,656	0,1698	0,161	0,167	0,1543
	PD ³	0,909	0,950	0,9524	0,921	0,911	0,9491
	Covar ⁴	0,100	0,104	0,1131	0,098	0,106	0,0960
	Correl ⁵	0,659	0,670	0,6656	0,605	0,638	0,6206
1 h	Média ¹	0,138	0,139	0,1478	0,121	0,122	0,1129
	Var ²	0,504	0,519	0,5656	0,519	0,546	0,5003
	PD ³	0,886	0,942	0,9438	0,902	0,924	0,9335
	Covar ⁴	0,314	0,334	0,3574	0,294	0,307	0,2685
	Correl ⁵	0,623	0,644	0,6315	0,565	0,562	0,5348
6 h	Var ²	10,463	10,260	10,8245	10,086	9,656	8,3212
	PD ³	0,785	0,862	0,8643	0,817	0,849	0,8596
	Covar ⁴	4,410	4,248	4,1337	4,072	4,210	3,1256
	Correl ⁵	0,421	0,414	0,3806	0,404	0,436	0,3758
12 h	Var ²	29,866	29,016	29,7407	28,304	27,732	23,1681
	PD ³	0,729	0,775	0,7778	0,775	0,780	0,7941
	Covar ⁴	9,591	8,896	7,9311	11,020	10,720	7,4926
	Correl ⁵	0,321	0,307	0,2647	0,389	0,387	0,3238
24 h	Var ²	82,051	75,824	75,0737	79,246	76,905	61,2584
	PD ³	0,602	0,627	0,6297	0,679	0,661	0,6801
	Covar ⁴	16,861	16,543	12,1460	26,383	25,503	16,3008
	Correl ⁵	0,206	0,218	0,1615	0,333	0,332	0,2650

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

²Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE E – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 30 minutos para os meses de Setembro e Outubro.

Intervalos (h)	Estatística	Setembro			Outubro		
		1	2	3	1	2	3
30 min	Var ²	0,178	0,177	0,1737	0,287	0,284	0,2792
	PD ³	0,892	0,938	0,9414	0,897	0,928	0,9395
	Covar ⁴	0,112	0,111	0,1096	0,157	0,154	0,1523
	Correl ⁵	0,632	0,628	0,6313	0,549	0,544	0,5450
1 h	Média ¹	0,159	0,160	0,1572	0,178	0,179	0,1759
	Var ²	0,573	0,576	0,5673	0,902	0,877	0,8651
	PD ³	0,865	0,931	0,9338	0,870	0,921	0,9257
	Covar ⁴	0,352	0,361	0,3563	0,440	0,433	0,4274
	Correl ⁵	0,614	0,627	0,6280	0,487	0,494	0,4936
6 h	Var ²	11,396	11,461	11,3606	14,080	14,087	13,9335
	PD ³	0,748	0,865	0,8692	0,737	0,834	0,8397
	Covar ⁴	5,327	4,609	4,5725	5,632	4,902	4,6410
	Correl ⁵	0,467	0,402	0,4021	0,400	0,348	0,3321
12 h	Var ²	34,617	32,138	31,7739	39,310	37,977	37,5530
	PD ³	0,680	0,793	0,7983	0,660	0,743	0,7496
	Covar ⁴	9,985	7,830	7,8794	11,549	9,222	8,3239
	Correl ⁵	0,288	0,244	0,2476	0,294	0,243	0,2214
24 h	Var ²	91,068	79,938	79,4544	104,610	94,399	92,3497
	PD ³	0,558	0,665	0,6742	0,519	0,589	0,5971
	Covar ⁴	9,955	9,995	9,0300	13,841	14,101	11,5895
	Correl ⁵	0,109	0,125	0,1134	0,132	0,149	0,1238

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

²Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE F – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 30 minutos para os meses de Novembro e Dezembro.

Intervalos	Estatística	Novembro			Dezembro		
		1	2	3	1	2	3
30 min	Var ²	0,338	0,348	0,3576	0,635	0,656	0,6299
	PD ³	0,904	0,914	0,9425	0,905	0,889	0,9434
	Covar ⁴	0,138	0,148	0,1519	0,278	0,301	0,2744
	Correl ⁵	0,408	0,425	0,4226	0,437	0,459	0,4349
1 h	Média ¹	0,165	0,164	0,1686	0,213	0,212	0,2075
	Var ²	0,970	0,991	1,0203	1,807	1,914	1,7972
	PD ³	0,875	0,914	0,9189	0,876	0,911	0,9168
	Covar ⁴	0,360	0,355	0,3688	0,697	0,732	0,6431
	Correl ⁵	0,371	0,358	0,3581	0,386	0,383	0,3571
6 h	Var ²	12,771	12,370	12,7941	24,559	24,757	21,8217
	PD ³	0,739	0,783	0,7884	0,743	0,774	0,7832
	Covar ⁴	3,325	3,165	3,2889	7,240	6,983	5,0146
	Correl ⁵	0,260	0,256	0,2564	0,295	0,282	0,2311
12 h	Var ²	32,943	31,069	32,0263	67,632	63,478	54,1175
	PD ³	0,670	0,660	0,6676	0,667	0,658	0,6679
	Covar ⁴	5,565	6,207	6,4886	13,742	15,632	10,3915
	Correl ⁵	0,169	0,200	0,1993	0,203	0,246	0,1926
24 h	Var ²	69,472	74,552	77,5595	162,689	158,221	128,6552
	PD ³	0,515	0,469	0,4796	0,497	0,479	0,4889
	Covar ⁴	11,909	10,643	10,7950	39,682	32,462	21,9688
	Correl ⁵	0,171	0,143	0,1365	0,244	0,205	0,1701

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

²Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE G – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 15 minutos para os meses de Janeiro e Fevereiro.

Intervalos	Estatística	Janeiro			Fevereiro		
		1	2	3	1	2	3
15 min	Var ²	0,271	0,274	0,2577	0,301	0,314	0,3054
	PD ³	0,917	0,962	0,9643	0,914	0,963	0,9639
	Covar ⁴	0,154	0,184	0,1587	0,184	0,194	0,1882
	Correl ⁵	0,568	0,673	0,6151	0,611	0,620	0,6155
30 min	Var ²	0,850	0,916	0,8328	0,976	1,016	0,9878
	PD ³	0,892	0,226	0,9484	0,888	0,948	0,9520
	Covar ⁴	0,353	0,458	0,3693	0,456	0,512	0,4897
	Correl ⁵	0,415	0,501	0,4430	0,468	0,503	0,4947
1 h	Média ¹	0,250	0,249	0,2399	0,274	0,275	0,2735
	Var ²	2,357	2,748	2,3962	2,864	3,055	2,9519
	PD ³	0,857	0,918	0,9185	0,850	0,929	0,9313
	Covar ⁴	0,738	0,900	0,6961	1,114	1,205	1,1366
	Correl ⁵	0,313	0,328	0,2902	0,389	0,394	0,3836
6 h	Var ²	26,100	28,135	23,8363	36,230	37,353	34,7713
	PD ³	0,696	0,697	0,7145	0,671	0,751	0,7570
	Covar ⁴	4,270	2,932	2,7025	8,539	6,382	4,9632
	Correl ⁵	0,164	0,104	0,1138	0,236	0,171	0,1409
12 h	Var ²	63,420	62,136	53,0556	99,463	87,470	78,5112
	PD ³	0,608	0,538	0,5667	0,575	0,582	0,5902
	Covar ⁴	5,699	6,763	6,0361	8,365	10,071	6,9910
	Correl ⁵	0,090	0,109	0,1139	0,084	0,115	0,0860
24 h	Var ²	132,014	137,798	118,2918	217,679	195,082	170,5288
	PD ³	0,421	0,372	0,3768	0,368	0,350	0,3590
	Covar ⁴	21,392	21,253	12,8085	45,833	14,759	9,7949
	Correl ⁵	0,162	0,154	0,1086	0,211	0,076	0,0526

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

² Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³ PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE H – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 15 minutos para os meses de Março e Abril.

Intervalos (h)	Estatística	Março			Abril		
		1	2	3	1	2	3
15 min	Var ²	0,164	0,167	0,1790	0,099	0,104	0,0999
	PD ³	0,941	0,980	0,9791	0,947	0,971	0,9749
	Covar ⁴	0,088	0,091	0,0974	0,061	0,065	0,0623
	Correl ⁵	0,539	0,541	0,5438	0,614	0,628	0,6224
30 min	Var ²	0,505	0,516	0,5528	0,333	0,339	0,3257
	PD ³	0,922	0,973	0,9719	0,929	0,909	0,9636
	Covar ⁴	0,219	0,240	0,2506	0,146	0,164	0,1554
	Correl ⁵	0,433	0,465	0,4527	0,439	0,485	0,4759
1 h	Média ¹	0,166	0,167	0,1772	0,130	0,129	0,1238
	Var ²	1,423	1,512	1,6042	0,953	1,005	0,9575
	PD ³	0,896	0,959	0,9581	0,904	0,937	0,9438
	Covar ⁴	0,550	0,550	0,5666	0,355	0,362	0,3430
	Correl ⁵	0,387	0,364	0,3519	0,373	0,360	0,3566
6 h	Var ²	17,647	17,215	17,8563	12,103	11,744	11,0739
	PD ³	0,760	0,829	0,8313	0,783	0,807	0,8190
	Covar ⁴	2,988	2,253	1,7419	2,467	2,261	1,7860
	Correl ⁵	0,169	0,131	0,0953	0,204	0,193	0,1605
12 h	Var ²	43,199	38,937	39,2273	29,737	28,010	25,6363
	PD ³	0,677	0,696	0,7010	0,712	0,697	0,7126
	Covar ⁴	2,580	3,135	1,9606	3,877	4,379	3,3621
	Correl ⁵	0,060	0,081	0,0488	0,130	0,156	0,1323
24 h	Var ²	86,992	84,145	82,3061	65,231	64,779	58,9698
	PD ³	0,494	0,490	0,4997	0,560	0,526	0,5457
	Covar ⁴	11,385	4,053	2,1411	9,029	7,739	5,4531
	Correl ⁵	0,131	0,048	0,0247	0,138	0,119	0,0940

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

² Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³ PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE I – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 15 minutos para os meses de Maio e Junho.

Intervalos (h)	Estatística	Maio			Junho		
		1	2	3	1	2	3
15 min	Var ²	0,060	0,061	0,0609	0,035	0,031	0,0292
	PD ³	0,936	0,963	0,9636	0,944	0,960	0,9616
	Covar ⁴	0,042	0,043	0,0428	0,024	0,026	0,0240
	Correl ⁵	0,703	0,709	0,7017	0,689	0,831	0,8208
30 min	Var ²	0,207	0,209	0,2074	0,120	0,114	0,1064
	PD ³	0,920	0,956	0,9591	0,929	0,941	0,9547
	Covar ⁴	0,141	0,140	0,1369	0,076	0,085	0,0775
	Correl ⁵	0,683	0,668	0,6591	0,630	0,743	0,7286
1 h	Média ¹	0,140	0,141	0,1410	0,104	0,103	0,0978
	Var ²	0,704	0,697	0,6878	0,390	0,398	0,3679
	PD ³	0,900	0,952	0,9534	0,908	0,941	0,9446
	Covar ⁴	0,442	0,448	0,4359	0,242	0,257	0,2298
	Correl ⁵	0,627	0,643	0,6333	0,620	0,646	0,6241
6 h	Var ²	13,995	14,259	13,9601	7,111	7,660	6,7129
	PD ³	0,814	0,905	0,9067	0,813	0,870	0,8782
	Covar ⁴	6,967	6,716	6,2405	3,655	3,096	2,3536
	Correl ⁵	0,498	0,471	0,4466	0,514	0,404	0,3494
12 h	Var ²	42,996	41,951	40,6758	21,942	21,511	18,0974
	PD ³	0,761	0,852	0,8531	0,760	0,798	0,8086
	Covar ⁴	16,482	15,047	12,5609	7,926	6,783	4,4862
	Correl ⁵	0,383	0,359	0,3077	0,361	0,315	0,2472
24 h	Var ²	128,292	113,996	107,5974	58,109	56,587	44,9124
	PD ³	0,654	0,755	0,7561	0,661	0,671	0,6864
	Covar ⁴	30,648	29,087	19,6825	11,588	13,405	7,0780
	Correl ⁵	0,239	0,255	0,1808	0,199	0,237	0,1588

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

²Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE J – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 15 minutos para os meses de Julho e Agosto.

Intervalos (h)	Estatística	Julho			Agosto		
		1	2	3	1	2	3
15 min	Var ²	0,044	0,045	0,0476	0,049	0,050	0,0472
	PD ³	0,927	0,955	0,9563	0,938	0,956	0,9609
	Covar ⁴	0,031	0,032	0,0334	0,032	0,033	0,0304
	Correl ⁵	0,698	0,702	0,7017	0,647	0,670	0,6408
30 min	Var ²	0,152	0,154	0,1618	0,161	0,166	0,1553
	PD ³	0,909	0,949	0,9506	0,921	0,937	0,9512
	Covar ⁴	0,100	0,104	0,1092	0,098	0,101	0,0895
	Correl ⁵	0,659	0,677	0,6751	0,605	0,609	0,5737
1 h	Média ¹	0,138	0,139	0,1451	0,121	0,120	0,1165
	Var ²	0,504	0,517	0,5421	0,519	0,535	0,4891
	PD ³	0,886	0,941	0,9419	0,902	0,936	0,9393
	Covar ⁴	0,314	0,333	0,3452	0,294	0,302	0,2590
	Correl ⁵	0,623	0,644	0,6368	0,565	0,564	0,5265
6 h	Var ²	10,463	10,224	10,4289	10,086	9,664	8,2545
	PD ³	0,785	0,862	0,8629	0,817	0,861	0,8653
	Covar ⁴	4,410	4,242	4,0047	4,072	4,315	3,2495
	Correl ⁵	0,421	0,415	0,3832	0,404	0,447	0,3922
12 h	Var ²	29,866	28,931	28,9646	28,304	27,958	23,2454
	PD ³	0,729	0,775	0,7762	0,775	0,783	0,7900
	Covar ⁴	9,591	8,888	7,6840	11,020	10,787	7,2111
	Correl ⁵	0,321	0,307	0,2653	0,389	0,386	0,3059
24 h	Var ²	82,051	75,638	74,0892	79,246	77,491	60,9892
	PD ³	0,602	0,628	0,6293	0,679	0,648	0,6579
	Covar ⁴	16,861	16,496	11,4667	26,383	25,268	14,8566
	Correl ⁵	0,206	0,218	0,1550	0,333	0,326	0,2347

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

² Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³ PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE K – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 15 minutos para os meses de Setembro e Outubro.

Intervalos (h)	Estatística	Setembro			Outubro		
		1	2	3	1	2	3
15 min	Var ²	0,054	0,053	0,0536	0,089	0,089	0,0894
	PD ³	0,913	0,942	0,9452	0,918	0,946	0,9510
	Covar ⁴	0,036	0,036	0,0360	0,054	0,054	0,0541
	Correl ⁵	0,663	0,668	0,6704	0,602	0,609	0,6046
30 min	Var ²	0,178	0,177	0,1791	0,287	0,285	0,2870
	PD ³	0,892	0,934	0,9377	0,897	0,930	0,9394
	Covar ⁴	0,112	0,109	0,1104	0,157	0,152	0,1514
	Correl ⁵	0,632	0,614	0,6164	0,549	0,533	0,5273
1 h	Média ¹	0,159	0,160	0,1604	0,178	0,179	0,1806
	Var ²	0,573	0,572	0,5794	0,902	0,874	0,8798
	PD ³	0,865	0,928	0,9301	0,870	0,923	0,9258
	Covar ⁴	0,352	0,351	0,3559	0,440	0,433	0,4282
	Correl ⁵	0,614	0,613	0,6139	0,487	0,495	0,4867
6 h	Var ²	11,396	11,378	11,5350	14,080	14,116	14,0240
	PD ³	0,748	0,869	0,8721	0,737	0,835	0,8382
	Covar ⁴	5,327	4,783	4,9200	5,632	4,916	4,8432
	Correl ⁵	0,467	0,420	0,4255	0,400	0,348	0,3435
12 h	Var ²	34,617	32,321	33,0691	39,310	38,064	37,7203
	PD ³	0,680	0,803	0,8081	0,660	0,742	0,7449
	Covar ⁴	9,985	8,087	8,2567	11,549	9,221	8,9083
	Correl ⁵	0,288	0,250	0,2485	0,294	0,242	0,2337
24 h	Var ²	91,068	80,818	82,5936	104,610	94,571	93,2744
	PD ³	0,558	0,686	0,6933	0,519	0,586	0,5896
	Covar ⁴	9,955	9,819	10,6901	13,841	14,162	12,3308
	Correl ⁵	0,109	0,121	0,1277	0,132	0,150	0,1299

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

²Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE L – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 15 minutos para os meses de Novembro e Dezembro.

Intervalos	Estatística	Novembro			Dezembro		
		1	2	3	1	2	3
15 min	Var ²	0,111	0,113	0,1066	0,199	0,206	0,1942
	PD ³	0,925	0,955	0,9601	0,925	0,956	0,9613
	Covar ⁴	0,057	0,059	0,0534	0,113	0,118	0,1061
	Correl ⁵	0,515	0,522	0,4997	0,568	0,571	0,5446
30 min	Var ²	0,338	0,345	0,3212	0,635	0,647	0,6019
	PD ³	0,904	0,917	0,9432	0,905	0,887	0,9433
	Covar ⁴	0,138	0,146	0,1282	0,278	0,301	0,2567
	Correl ⁵	0,408	0,423	0,3979	0,437	0,465	0,4243
1 h	Média ¹	0,165	0,164	0,1614	0,213	0,212	0,2058
	Var ²	0,970	0,980	0,8979	1,807	1,896	1,7252
	PD ³	0,875	0,915	0,9204	0,876	0,910	0,9167
	Covar ⁴	0,360	0,354	0,3100	0,697	0,732	0,5796
	Correl ⁵	0,371	0,361	0,3439	0,386	0,386	0,3331
6 h	Var ²	12,771	12,342	10,9127	24,559	24,628	20,1591
	PD ³	0,739	0,784	0,7909	0,743	0,774	0,7819
	Covar ⁴	3,325	3,182	2,7266	7,240	6,954	4,9236
	Correl ⁵	0,260	0,258	0,2484	0,295	0,282	0,2420
12 h	Var ²	32,943	31,048	27,2150	67,632	63,164	50,8750
	PD ³	0,670	0,660	0,6680	0,667	0,658	0,6670
	Covar ⁴	5,565	6,199	4,9553	13,742	15,571	10,2039
	Correl ⁵	0,169	0,200	0,1794	0,203	0,247	0,2034
24 h	Var ²	69,472	74,495	64,7206	162,689	157,469	122,0402
	PD ³	0,515	0,468	0,4760	0,497	0,479	0,4895
	Covar ⁴	11,909	10,580	7,3615	39,682	32,332	21,9288
	Correl ⁵	0,171	0,142	0,1116	0,244	0,205	0,1789

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

² Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³ PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE M – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 10 minutos para os meses de Janeiro e Fevereiro

Intervalos	Estatística	Janeiro			Fevereiro		
		1	2	3	1	2	3
10 min	Var ²	0,135	0,135	0,1244	0,149	0,152	0,1525
	PD ³	0,929	0,966	0,9702	0,926	0,968	0,9686
	Covar ⁴	0,087	0,095	0,0869	0,100	0,105	0,1047
	Correl ⁵	0,645	0,709	0,6980	0,675	0,687	0,6866
30 min	Var ²	0,850	0,904	0,8239	0,976	1,013	1,0130
	PD ³	0,892	0,777	0,9482	0,888	0,949	0,9522
	Covar ⁴	0,353	0,407	0,3549	0,456	0,510	0,4993
	Correl ⁵	0,415	0,451	0,4299	0,468	0,503	0,4925
1 h	Média ¹	0,250	0,249	0,2383	0,274	0,275	0,2777
	Var ²	2,357	2,622	2,3575	2,864	3,045	3,0321
	PD ³	0,857	0,910	0,9179	0,850	0,930	0,9316
	Covar ⁴	0,738	0,784	0,6678	1,114	1,202	1,1435
	Correl ⁵	0,313	0,299	0,2821	0,389	0,395	0,3766
6 h	Var ²	26,100	26,502	23,3684	36,230	37,242	35,7505
	PD ³	0,696	0,696	0,7131	0,671	0,750	0,7564
	Covar ⁴	4,270	3,471	3,2849	8,539	6,377	5,3363
	Correl ⁵	0,164	0,131	0,1374	0,236	0,171	0,1489
12 h	Var ²	63,420	59,946	53,2941	99,463	87,238	82,4717
	PD ³	0,608	0,547	0,5656	0,575	0,581	0,5890
	Covar ⁴	5,699	7,326	6,4924	8,365	10,093	7,4187
	Correl ⁵	0,090	0,122	0,1206	0,084	0,116	0,0896
24 h	Var ²	132,014	134,544	121,5672	217,679	194,663	180,9598
	PD ³	0,421	0,358	0,3772	0,368	0,348	0,3578
	Covar ⁴	21,392	14,602	10,7583	45,833	14,859	6,9957
	Correl ⁵	0,162	0,109	0,0879	0,211	0,076	0,0373

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

²Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE N – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 10 minutos para os meses de Março e Abril.

Intervalos	Estatística	Março			Abril		
		1	2	3	1	2	3
10 min	Var ²	0,079	0,082	0,0851	0,050	0,050	0,0497
	PD ³	0,950	0,980	0,9805	0,954	0,975	0,9788
	Covar ⁴	0,051	0,051	0,0532	0,033	0,035	0,0344
	Correl ⁵	0,647	0,626	0,6242	0,662	0,697	0,6924
30 min	Var ²	0,505	0,514	0,5351	0,333	0,337	0,3305
	PD ³	0,922	0,969	0,9704	0,929	0,918	0,9632
	Covar ⁴	0,219	0,242	0,2470	0,146	0,161	0,1546
	Correl ⁵	0,433	0,470	0,4609	0,439	0,478	0,4651
1 h	Média ¹	0,166	0,167	0,1739	0,130	0,129	0,1266
	Var ²	1,423	1,512	1,5613	0,953	0,996	0,9704
	PD ³	0,896	0,955	0,9563	0,904	0,937	0,9436
	Covar ⁴	0,550	0,550	0,5508	0,355	0,358	0,3438
	Correl ⁵	0,387	0,364	0,3523	0,373	0,359	0,3493
6 h	Var ²	17,647	17,230	17,3554	12,103	11,706	11,3547
	PD ³	0,760	0,824	0,8268	0,783	0,809	0,8215
	Covar ⁴	2,988	2,268	1,7427	2,467	2,306	2,2965
	Correl ⁵	0,169	0,132	0,0998	0,204	0,197	0,1940
12 h	Var ²	43,199	38,996	38,2702	29,737	28,025	26,5165
	PD ³	0,677	0,690	0,6953	0,712	0,698	0,7145
	Covar ⁴	2,580	3,139	1,9886	3,877	4,396	4,1841
	Correl ⁵	0,060	0,080	0,0509	0,130	0,157	0,1537
24 h	Var ²	86,992	84,269	80,8008	65,231	64,840	62,8482
	PD ³	0,494	0,484	0,4918	0,560	0,522	0,5434
	Covar ⁴	11,385	4,015	1,0738	9,029	7,595	5,7275
	Correl ⁵	0,131	0,048	0,0118	0,138	0,117	0,0934

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

² Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³ PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE O – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 10 minutos para os meses de Maio e Junho.

Intervalos	Estatística	Maio			Junho		
		1	2	3	1	2	3
10 min	Var ²	0,028	0,029	0,0291	0,017	0,015	0,0146
	PD ³	0,943	0,967	0,9674	0,951	0,964	0,9634
	Covar ⁴	0,021	0,022	0,0216	0,012	0,013	0,0129
	Correl ⁵	0,756	0,750	0,7424	0,717	0,884	0,8800
30 min	Var ²	0,207	0,208	0,2079	0,120	0,118	0,1169
	PD ³	0,920	0,958	0,9610	0,929	0,942	0,9541
	Covar ⁴	0,141	0,143	0,1398	0,076	0,090	0,0880
	Correl ⁵	0,683	0,687	0,6721	0,630	0,758	0,7511
1 h	Média ¹	0,140	0,141	0,1409	0,104	0,105	0,1040
	Var ²	0,704	0,703	0,6957	0,390	0,416	0,4097
	PD ³	0,900	0,953	0,9548	0,908	0,942	0,9443
	Covar ⁴	0,442	0,460	0,4440	0,242	0,275	0,2659
	Correl ⁵	0,627	0,655	0,6378	0,620	0,660	0,6473
6 h	Var ²	13,995	14,366	13,8995	7,111	8,161	7,7787
	PD ³	0,814	0,898	0,9008	0,813	0,871	0,8773
	Covar ⁴	6,967	6,572	5,9047	3,655	3,345	2,9656
	Correl ⁵	0,498	0,457	0,4225	0,514	0,410	0,3794
12 h	Var ²	42,996	41,876	39,2797	21,942	23,013	21,3937
	PD ³	0,761	0,837	0,8404	0,760	0,800	0,8075
	Covar ⁴	16,482	14,821	12,1791	7,926	7,364	6,1176
	Correl ⁵	0,383	0,354	0,3064	0,361	0,320	0,2816
24 h	Var ²	128,292	113,395	104,0281	58,109	60,754	55,4791
	PD ³	0,654	0,727	0,7305	0,661	0,674	0,6842
	Covar ⁴	30,648	29,824	19,9386	11,588	14,667	11,2330
	Correl ⁵	0,239	0,263	0,1880	0,199	0,241	0,1932

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

² Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³ PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE P – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 10 minutos para os meses de Julho e Agosto.

Intervalos	Estatística	Julho			Agosto		
		1	2	3	1	2	3
10 min	Var ²	0,022	0,022	0,0229	0,024	0,024	0,0246
	PD ³	0,936	0,958	0,9595	0,946	0,961	0,9660
	Covar ⁴	0,016	0,016	0,0166	0,016	0,017	0,0165
	Correl ⁵	0,720	0,723	0,7257	0,662	0,683	0,6674
30 min	Var ²	0,152	0,154	0,1618	0,161	0,165	0,1642
	PD ³	0,909	0,949	0,9514	0,921	0,945	0,9533
	Covar ⁴	0,100	0,104	0,1102	0,098	0,100	0,0960
	Correl ⁵	0,659	0,677	0,6795	0,605	0,604	0,5812
1 h	Média ¹	0,138	0,139	0,1433	0,121	0,120	0,1221
	Var ²	0,504	0,516	0,5441	0,519	0,529	0,5226
	PD ³	0,886	0,941	0,9428	0,902	0,940	0,9426
	Covar ⁴	0,314	0,333	0,3496	0,294	0,302	0,2789
	Correl ⁵	0,623	0,645	0,6410	0,565	0,572	0,5313
6 h	Var ²	10,463	10,213	10,6418	10,086	9,693	9,0029
	PD ³	0,785	0,862	0,8643	0,817	0,864	0,8672
	Covar ⁴	4,410	4,241	4,2770	4,072	4,354	3,6320
	Correl ⁵	0,421	0,415	0,3942	0,404	0,449	0,3978
12 h	Var ²	29,866	28,909	29,8808	28,304	28,094	25,2342
	PD ³	0,729	0,776	0,7798	0,775	0,782	0,7877
	Covar ⁴	9,591	8,885	8,6609	11,020	10,804	8,4676
	Correl ⁵	0,321	0,307	0,2767	0,389	0,385	0,3270
24 h	Var ²	82,051	75,588	77,2717	79,246	77,796	67,2218
	PD ³	0,602	0,628	0,6356	0,679	0,642	0,6500
	Covar ⁴	16,861	16,482	15,2798	26,383	25,187	18,1406
	Correl ⁵	0,206	0,218	0,1771	0,333	0,324	0,2597

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

² Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³ PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE Q – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 10 minutos para os meses de Setembro e Outubro.

Intervalos	Estatística	Setembro			Outubro		
		1	2	3	1	2	3
10 min	Var ²	0,026	0,026	0,0267	0,043	0,043	0,0427
	PD ³	0,925	0,947	0,9500	0,928	0,952	0,9575
	Covar ⁴	0,018	0,018	0,0188	0,029	0,029	0,0290
	Correl ⁵	0,700	0,708	0,7041	0,687	0,679	0,6783
30 min	Var ²	0,178	0,177	0,1821	0,287	0,284	0,2834
	PD ³	0,892	0,935	0,9371	0,897	0,929	0,9398
	Covar ⁴	0,112	0,109	0,1112	0,157	0,152	0,1518
	Correl ⁵	0,632	0,612	0,6106	0,549	0,536	0,5358
1 h	Média ¹	0,159	0,160	0,1638	0,178	0,179	0,1777
	Var ²	0,573	0,572	0,5865	0,902	0,874	0,8713
	PD ³	0,865	0,929	0,9294	0,870	0,922	0,9261
	Covar ⁴	0,352	0,353	0,3597	0,440	0,432	0,4306
	Correl ⁵	0,614	0,616	0,6131	0,487	0,494	0,4942
6 h	Var ²	11,396	11,405	11,5875	14,080	14,083	14,1057
	PD ³	0,748	0,869	0,8690	0,737	0,835	0,8405
	Covar ⁴	5,327	4,758	4,7448	5,632	4,911	4,9058
	Correl ⁵	0,467	0,417	0,4087	0,400	0,349	0,3475
12 h	Var ²	34,617	32,326	32,7211	39,310	37,987	38,0414
	PD ³	0,680	0,802	0,8018	0,660	0,743	0,7502
	Covar ⁴	9,985	8,043	7,7397	11,549	9,222	9,0798
	Correl ⁵	0,288	0,249	0,2355	0,294	0,243	0,2384
24 h	Var ²	91,068	80,738	80,7869	104,610	94,418	95,0230
	PD ³	0,558	0,683	0,6827	0,519	0,588	0,6000
	Covar ⁴	9,955	9,847	9,0311	13,841	14,119	12,6719
	Correl ⁵	0,109	0,122	0,1103	0,132	0,150	0,1333

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

²Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE R – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 10 minutos para os meses de Novembro e Dezembro.

Intervalos	Estatística	Novembro			Dezembro		
		1	2	3	1	2	3
10 min	Var ²	0,055	0,056	0,0548	0,097	0,100	0,0984
	PD ³	0,935	0,962	0,9673	0,935	0,964	0,9679
	Covar ⁴	0,033	0,034	0,0324	0,064	0,065	0,0639
	Correl ⁵	0,603	0,600	0,5902	0,658	0,653	0,6484
30 min	Var ²	0,338	0,343	0,3316	0,635	0,639	0,6288
	PD ³	0,904	0,916	0,9435	0,905	0,883	0,9429
	Covar ⁴	0,138	0,146	0,1365	0,278	0,302	0,2912
	Correl ⁵	0,408	0,426	0,4108	0,437	0,473	0,4605
1 h	Média ¹	0,165	0,164	0,1631	0,213	0,212	0,2113
	Var ²	0,970	0,978	0,9355	1,807	1,884	1,8436
	PD ³	0,875	0,915	0,9206	0,876	0,910	0,9159
	Covar ⁴	0,360	0,354	0,3203	0,697	0,735	0,6969
	Correl ⁵	0,371	0,362	0,3423	0,386	0,390	0,3748
6 h	Var ²	12,771	12,300	11,3097	24,559	24,545	23,5226
	PD ³	0,739	0,784	0,7917	0,743	0,773	0,7797
	Covar ⁴	3,325	3,171	2,6849	7,240	6,912	5,7865
	Correl ⁵	0,260	0,258	0,2377	0,295	0,282	0,2470
12 h	Var ²	32,943	30,942	27,8990	67,632	62,913	58,8613
	PD ³	0,670	0,660	0,6708	0,667	0,658	0,6666
	Covar ⁴	5,565	6,186	5,1473	13,742	15,490	12,7490
	Correl ⁵	0,169	0,200	0,1849	0,203	0,246	0,2193
24 h	Var ²	69,472	74,256	66,3426	162,689	156,806	143,9667
	PD ³	0,515	0,469	0,4810	0,497	0,481	0,4921
	Covar ⁴	11,909	10,558	8,3347	39,682	32,197	23,9285
	Correl ⁵	0,171	0,142	0,1257	0,244	0,205	0,1671

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

² Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³ PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE S – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 5 minutos para os meses de Janeiro e Fevereiro.

Intervalos	Estatística	Janeiro			Fevereiro		
		1	2	3	1	2	3
5 min	Var ²	0,038	0,037	0,0366	0,042	0,043	0,0422
	PD ³	0,946	0,973	0,9762	0,943	0,975	0,9747
	Covar ⁴	0,029	0,031	0,0302	0,032	0,034	0,0331
	Correl ⁵	0,765	0,825	0,8241	0,766	0,791	0,7852
10 min	Var ²	0,135	0,136	0,1337	0,149	0,153	0,1506
	PD ³	0,929	0,967	0,9704	0,926	0,968	0,9692
	Covar ⁴	0,087	0,096	0,0938	0,100	0,104	0,1020
	Correl ⁵	0,645	0,703	0,7005	0,675	0,684	0,6761
15 min	Var ²	0,271	0,281	0,2766	0,301	0,313	0,3086
	PD ³	0,917	0,960	0,9648	0,914	0,963	0,9645
	Covar ⁴	0,154	0,172	0,1689	0,184	0,193	0,1868
	Correl ⁵	0,568	0,613	0,6093	0,611	0,617	0,6042
30 min	Var ²	0,850	0,908	0,8921	0,976	1,012	0,9912
	PD ³	0,892	0,783	0,9482	0,888	0,949	0,9530
	Covar ⁴	0,353	0,404	0,3888	0,456	0,508	0,4789
	Correl ⁵	0,415	0,445	0,4338	0,468	0,502	0,4817
1 h	Média ¹	0,250	0,249	0,2447	0,274	0,275	0,2732
	Var ²	2,357	2,625	2,5684	2,864	3,039	2,9408
	PD ³	0,857	0,910	0,9178	0,850	0,930	0,9327
	Covar ⁴	0,738	0,778	0,7111	1,114	1,198	1,0856
	Correl ⁵	0,313	0,296	0,2743	0,389	0,394	0,3676
6 h	Var ²	26,100	26,493	24,8159	36,230	37,155	33,8722
	PD ³	0,696	0,695	0,7134	0,671	0,751	0,7591
	Covar ⁴	4,270	3,505	3,0243	8,539	6,364	4,4901
	Correl ⁵	0,164	0,132	0,1230	0,236	0,171	0,1299
12 h	Var ²	63,420	59,996	55,5548	99,463	87,038	75,9763
	PD ³	0,608	0,546	0,5659	0,575	0,582	0,5924
	Covar ⁴	5,699	7,353	7,0806	8,365	10,070	6,2887
	Correl ⁵	0,090	0,123	0,1265	0,084	0,116	0,0804
24 h	Var ²	132,014	134,699	125,2372	217,679	194,217	164,3667
	PD ³	0,421	0,356	0,3744	0,368	0,349	0,3613
	Covar ⁴	21,392	14,498	11,5193	45,833	14,815	9,5936
	Correl ⁵	0,162	0,108	0,0921	0,211	0,076	0,0567

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

² Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³ PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE T – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 5 minutos para os meses de Março e Abril.

Intervalos	Estatística	Março			Abril		
		1	2	3	1	2	3
5 min	Var ²	0,023	0,022	0,0216	0,014	0,014	0,0138
	PD ³	0,962	0,980	0,9826	0,965	0,980	0,9832
	Covar ⁴	0,017	0,019	0,0183	0,011	0,011	0,0111
	Correl ⁵	0,706	0,849	0,8451	0,766	0,807	0,8001
10 min	Var ²	0,079	0,081	0,0796	0,050	0,051	0,0497
	PD ³	0,950	0,976	0,9789	0,954	0,975	0,9787
	Covar ⁴	0,051	0,060	0,0584	0,033	0,035	0,0339
	Correl ⁵	0,647	0,738	0,7320	0,662	0,690	0,6809
15 min	Var ²	0,164	0,170	0,1663	0,099	0,104	0,1022
	PD ³	0,941	0,972	0,9751	0,947	0,971	0,9745
	Covar ⁴	0,088	0,111	0,1075	0,061	0,063	0,0614
	Correl ⁵	0,539	0,653	0,6448	0,614	0,610	0,5989
30 min	Var ²	0,505	0,564	0,5499	0,333	0,335	0,3272
	PD ³	0,922	0,779	0,9642	0,929	0,925	0,9629
	Covar ⁴	0,219	0,275	0,2625	0,146	0,159	0,1521
	Correl ⁵	0,433	0,488	0,4746	0,439	0,474	0,4618
1 h	Média ¹	0,166	0,165	0,1637	0,130	0,129	0,1268
	Var ²	1,423	1,677	1,6265	0,953	0,988	0,9544
	PD ³	0,896	0,937	0,9430	0,904	0,937	0,9433
	Covar ⁴	0,550	0,549	0,5279	0,355	0,356	0,3417
	Correl ⁵	0,387	0,328	0,3212	0,373	0,361	0,3537
6 h	Var ²	17,647	17,383	17,2700	12,103	11,696	11,1040
	PD ³	0,760	0,754	0,7722	0,783	0,812	0,8215
	Covar ⁴	2,988	1,822	1,8753	2,467	2,342	2,2611
	Correl ⁵	0,169	0,105	0,1061	0,204	0,200	0,1975
12 h	Var ²	43,199	38,409	38,2305	29,737	28,077	26,9283
	PD ³	0,677	0,603	0,6276	0,712	0,699	0,7108
	Covar ⁴	2,580	3,211	3,3129	3,877	4,405	3,7134
	Correl ⁵	0,060	0,084	0,0836	0,130	0,157	0,1374
24 h	Var ²	86,992	83,240	82,7471	65,231	64,965	61,0318
	PD ³	0,494	0,407	0,4324	0,560	0,520	0,5362
	Covar ⁴	11,385	6,220	6,7764	9,029	7,491	6,0752
	Correl ⁵	0,131	0,075	0,0820	0,138	0,115	0,1002

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

²Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE U – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 5 minutos para os meses de Maio e Junho.

Intervalos	Estatística	Maio			Junho		
		1	2	3	1	2	3
5 min	Var ²	0,008	0,008	0,0079	0,005	0,004	0,0037
	PD ³	0,955	0,970	0,9708	0,962	0,969	0,9691
	Covar ⁴	0,006	0,007	0,0065	0,004	0,004	0,0035
	Correl ⁵	0,822	0,826	0,8213	0,787	0,937	0,9301
10 min	Var ²	0,028	0,029	0,0288	0,017	0,015	0,0144
	PD ³	0,943	0,965	0,9665	0,951	0,965	0,9663
	Covar ⁴	0,021	0,022	0,0216	0,012	0,013	0,0127
	Correl ⁵	0,756	0,753	0,7498	0,717	0,887	0,8797
15 min	Var ²	0,060	0,061	0,0601	0,035	0,032	0,0314
	PD ³	0,936	0,962	0,9637	0,944	0,962	0,9638
	Covar ⁴	0,042	0,043	0,0429	0,024	0,027	0,0263
	Correl ⁵	0,703	0,715	0,7123	0,689	0,847	0,8372
30 min	Var ²	0,207	0,208	0,2058	0,120	0,119	0,1155
	PD ³	0,920	0,955	0,9589	0,929	0,942	0,9573
	Covar ⁴	0,141	0,139	0,1373	0,076	0,090	0,0862
	Correl ⁵	0,683	0,669	0,6662	0,630	0,760	0,7449
1 h	Média ¹	0,140	0,141	0,1400	0,104	0,105	0,1021
	Var ²	0,704	0,693	0,6868	0,390	0,418	0,4037
	PD ³	0,900	0,951	0,9531	0,908	0,941	0,9471
	Covar ⁴	0,442	0,444	0,4389	0,242	0,275	0,2583
	Correl ⁵	0,627	0,642	0,6382	0,620	0,658	0,6371
6 h	Var ²	13,995	14,179	14,0135	7,111	8,094	7,5957
	PD ³	0,814	0,906	0,9080	0,813	0,863	0,8755
	Covar ⁴	6,967	6,740	6,4022	3,655	3,181	2,7939
	Correl ⁵	0,498	0,475	0,4566	0,514	0,393	0,3607
12 h	Var ²	42,996	41,838	40,9142	21,942	22,550	20,8764
	PD ³	0,761	0,855	0,8570	0,760	0,784	0,8011
	Covar ⁴	16,482	15,094	14,0284	7,926	6,822	5,7372
	Correl ⁵	0,383	0,361	0,3402	0,361	0,303	0,2632
24 h	Var ²	128,292	113,865	110,7850	58,109	58,743	53,0617
	PD ³	0,654	0,761	0,7645	0,661	0,646	0,6707
	Covar ⁴	30,648	28,872	24,4945	11,588	13,305	10,1949
	Correl ⁵	0,239	0,254	0,2179	0,199	0,226	0,1800

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

²Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE V – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 5 minutos para os meses de Julho e Agosto.

Intervalos	Estatística	Julho			Agosto		
		1	2	3	1	2	3
5 min	Var ²	0,006	0,006	0,0066	0,007	0,007	0,0066
	PD ³	0,950	0,963	0,9643	0,958	0,967	0,9743
	Covar ⁴	0,005	0,005	0,0051	0,005	0,005	0,0049
	Correl ⁵	0,771	0,778	0,7695	0,759	0,761	0,7401
10 min	Var ²	0,022	0,022	0,0232	0,024	0,024	0,0231
	PD ³	0,936	0,958	0,9592	0,946	0,961	0,9680
	Covar ⁴	0,016	0,016	0,0167	0,016	0,017	0,0155
	Correl ⁵	0,720	0,725	0,7193	0,662	0,688	0,6681
15 min	Var ²	0,044	0,045	0,0479	0,049	0,050	0,0469
	PD ³	0,927	0,955	0,9561	0,938	0,957	0,9636
	Covar ⁴	0,031	0,032	0,0335	0,032	0,032	0,0297
	Correl ⁵	0,698	0,703	0,6995	0,647	0,652	0,6309
30 min	Var ²	0,152	0,153	0,1629	0,161	0,164	0,1532
	PD ³	0,909	0,949	0,9504	0,921	0,944	0,9553
	Covar ⁴	0,100	0,104	0,1096	0,098	0,100	0,0900
	Correl ⁵	0,659	0,678	0,6721	0,605	0,606	0,5848
1 h	Média ¹	0,138	0,139	0,1461	0,121	0,120	0,1156
	Var ²	0,504	0,515	0,5456	0,519	0,528	0,4860
	PD ³	0,886	0,941	0,9416	0,902	0,940	0,9447
	Covar ⁴	0,314	0,332	0,3474	0,294	0,302	0,2673
	Correl ⁵	0,623	0,646	0,6357	0,565	0,572	0,5468
6 h	Var ²	10,463	10,201	10,6355	10,086	9,674	8,4463
	PD ³	0,785	0,862	0,8629	0,817	0,864	0,8701
	Covar ⁴	4,410	4,240	4,2250	4,072	4,347	3,3754
	Correl ⁵	0,421	0,416	0,3922	0,404	0,449	0,3933
12 h	Var ²	29,866	28,883	29,8862	28,304	28,040	23,4965
	PD ³	0,729	0,776	0,7780	0,775	0,783	0,7903
	Covar ⁴	9,591	8,882	8,3556	11,020	10,794	7,7967
	Correl ⁵	0,321	0,308	0,2697	0,389	0,385	0,3219
24 h	Var ²	82,051	75,529	76,3488	79,246	77,668	62,4562
	PD ³	0,602	0,629	0,6309	0,679	0,643	0,6532
	Covar ⁴	16,861	16,468	14,5979	26,383	25,169	15,6941
	Correl ⁵	0,206	0,218	0,1758	0,333	0,324	0,2379

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

²Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE W – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 5 minutos para os meses de Setembro e Outubro.

Intervalos (h)	Estatística	Setembro			Outubro		
		1	2	3	1	2	3
5 min	Var ²	0,008	0,007	0,0076	0,012	0,012	0,0120
	PD ³	0,942	0,955	0,9606	0,944	0,960	0,9666
	Covar ⁴	0,006	0,006	0,0058	0,009	0,009	0,0093
	Correl ⁵	0,728	0,769	0,7629	0,759	0,778	0,7735
10 min	Var ²	0,026	0,026	0,0267	0,043	0,043	0,0425
	PD ³	0,925	0,947	0,9528	0,928	0,952	0,9588
	Covar ⁴	0,018	0,018	0,0179	0,029	0,029	0,0284
	Correl ⁵	0,700	0,674	0,6716	0,687	0,671	0,6678
15 min	Var ²	0,054	0,054	0,0544	0,089	0,088	0,0867
	PD ³	0,913	0,943	0,9480	0,918	0,946	0,9530
	Covar ⁴	0,036	0,034	0,0345	0,054	0,054	0,0529
	Correl ⁵	0,663	0,634	0,6328	0,602	0,611	0,6094
30 min	Var ²	0,178	0,176	0,1779	0,287	0,284	0,2793
	PD ³	0,892	0,937	0,9406	0,897	0,930	0,9414
	Covar ⁴	0,112	0,108	0,1096	0,157	0,152	0,1502
	Correl ⁵	0,632	0,616	0,6161	0,549	0,535	0,5370
1 h	Média ¹	0,159	0,160	0,1606	0,178	0,179	0,1763
	Var ²	0,573	0,568	0,5757	0,902	0,872	0,8586
	PD ³	0,865	0,931	0,9331	0,870	0,923	0,9278
	Covar ⁴	0,352	0,358	0,3634	0,440	0,433	0,4292
	Correl ⁵	0,614	0,631	0,6311	0,487	0,497	0,4994
6 h	Var ²	11,396	11,484	11,6514	14,080	14,107	13,8817
	PD ³	0,748	0,869	0,8717	0,737	0,835	0,8407
	Covar ⁴	5,327	4,742	4,7692	5,632	4,913	4,6247
	Correl ⁵	0,467	0,413	0,4090	0,400	0,348	0,3331
12 h	Var ²	34,617	32,453	32,8079	39,310	38,040	36,9982
	PD ³	0,680	0,800	0,8032	0,660	0,742	0,7495
	Covar ⁴	9,985	7,978	8,0452	11,549	9,215	8,6719
	Correl ⁵	0,288	0,246	0,2447	0,294	0,242	0,2330
24 h	Var ²	91,068	80,862	82,1648	104,610	94,509	92,2266
	PD ³	0,558	0,679	0,6825	0,519	0,586	0,5946
	Covar ⁴	9,955	9,870	9,6999	13,841	14,161	13,5510
	Correl ⁵	0,109	0,122	0,1172	0,132	0,150	0,1442

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

²Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

APÊNDICE X – Valores históricos observados (1), estimados pelos modelos (2) e obtidos das séries geradas (3) de chuvas em intervalos de 5 minutos para os meses de Novembro e Dezembro.

Intervalos	Estatística	Novembro			Dezembro		
		1	2	3	1	2	3
5 min	Var ²	0,016	0,017	0,0168	0,028	0,028	0,0280
	PD ³	0,950	0,971	0,9752	0,951	0,972	0,9764
	Covar ⁴	0,011	0,014	0,0135	0,021	0,022	0,0212
	Correl ⁵	0,684	0,804	0,8010	0,745	0,764	0,7551
10 min	Var ²	0,055	0,062	0,0604	0,097	0,100	0,0986
	PD ³	0,935	0,963	0,9688	0,935	0,964	0,9687
	Covar ⁴	0,033	0,042	0,0408	0,064	0,065	0,0628
	Correl ⁵	0,603	0,678	0,6746	0,658	0,648	0,6353
15 min	Var ²	0,111	0,127	0,1239	0,199	0,203	0,1989
	PD ³	0,925	0,957	0,9628	0,925	0,956	0,9617
	Covar ⁴	0,057	0,075	0,0727	0,113	0,117	0,1120
	Correl ⁵	0,515	0,591	0,5851	0,568	0,578	0,5617
30 min	Var ²	0,338	0,405	0,3939	0,635	0,640	0,6233
	PD ³	0,904	0,868	0,9465	0,905	0,885	0,9439
	Covar ⁴	0,138	0,179	0,1726	0,278	0,301	0,2782
	Correl ⁵	0,408	0,443	0,4365	0,437	0,470	0,4434
1 h	Média ¹	0,165	0,175	0,1733	0,213	0,212	0,2085
	Var ²	0,970	1,168	1,1370	1,807	1,882	1,8048
	PD ³	0,875	0,911	0,9205	0,876	0,910	0,9175
	Covar ⁴	0,360	0,389	0,3768	0,697	0,732	0,6528
	Correl ⁵	0,371	0,333	0,3297	0,386	0,389	0,3573
6 h	Var ²	12,771	13,806	13,5473	24,559	24,518	22,1744
	PD ³	0,739	0,794	0,8019	0,743	0,773	0,7824
	Covar ⁴	3,325	3,825	3,7068	7,240	6,925	5,4144
	Correl ⁵	0,260	0,277	0,2747	0,295	0,282	0,2418
12 h	Var ²	32,943	35,261	34,4009	67,632	62,884	55,0132
	PD ³	0,670	0,710	0,7188	0,667	0,658	0,6707
	Covar ⁴	5,565	9,131	8,9795	13,742	15,512	11,4403
	Correl ⁵	0,169	0,259	0,2609	0,203	0,247	0,2097
24 h	Var ²	69,472	88,783	87,4245	162,689	156,792	130,7568
	PD ³	0,515	0,574	0,5853	0,497	0,480	0,4934
	Covar ⁴	11,909	18,187	16,9917	39,682	32,227	23,1581
	Correl ⁵	0,171	0,205	0,1935	0,244	0,206	0,1752

¹Média – precipitação média no intervalo de 1 horas (mm)

²Var – variância da precipitação no intervalo (mm²)

³PD – Probabilidade do intervalo ser seco;

⁴Covar – Autocovariância com retardo de 1 (mm²)

⁵Correl – Coeficiente de autocorrelação com retardo 1

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)