

Modelo Estocástico de Desagregação da Chuva Diária em Eventos Sub-diários para a Região Litorânea do Nordeste

Alyne Lucena Cavalcante & Alain Marie Bernard Passerat de Silans

Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental – LARHENA, Centro de Tecnologia – UFPB João Pessoa.

alyneplucena@yahoo.com.br; alainsilans@yahoo.com.br

Recebido: 27/09/09 - revisado: 05/05/10 - aceito: 18/06/12

RESUMO

Os dados de pluviógrafos permitem o conhecimento da precipitação em pequenas escalas de tempo (minutos, por exemplo). No entanto, há dificuldade em obtê-los, já que a grande maioria das séries históricas de precipitação do Brasil é constituída de informações sobre o total diário. Para obtenção desses dados em escalas inferiores ao dia, a partir de dados diários, utilizam-se técnicas de desagregação da chuva diária.

Nesse trabalho, foi elaborado um modelo de desagregação da chuva diária utilizando dados medidos em uma estação pluviométrica instalada na sub-bacia hidrográfica do riacho Guaraíra, situada na bacia do rio Gramame, no litoral Paraibano. O modelo proposto seguiu os procedimentos do modelo elaborado por Hershenhorn (1984) e Hershenhorn e Woolhiser (1987). O modelo decompõe o total precipitado em um dia em eventos chuvosos de duração sub-diária. A partir dos dados diários registrados nas estações pluviométricas são determinados estocasticamente e sequencialmente o número de eventos chuvosos, a lâmina, a duração e a hora inicial de cada evento chuvoso. Espera-se que os parâmetros do modelo apresentem um caráter regional, já que são determinados pela distribuição estatística da chuva diária. O modelo é validado com os dados de outro pluviômetro digital da mesma bacia.

Palavras – chave: desagregação, modelo estocástico, evento chuvoso.

INTRODUÇÃO

A lâmina de chuva em escala temporal inferior a diária é um parâmetro de projeto importante no dimensionamento de obras hidráulicas e estudos de modelagem hidrológica, principalmente em pequenas bacias, com baixo tempo de concentração. Tais estudos investem na modelagem conceitual com base física e vários são os fenômenos que nesses modelos devem ser corretamente descritos em passos de tempo inferiores ao dia, a exemplo da infiltração, da erosão do solo, da evapotranspiração, do escoamento superficial, da diluição de poluentes, e outros. Os modelos de base física requerem então dados numa escala de tempo relativamente curto, sempre inferior ao dia. Os dados de pluviógrafos permitem o conhecimento de dados de precipitação em escalas de tempo de, por exemplo, cinco minutos.

No entanto, há dificuldade em obtê-los, já que a grande maioria das séries históricas de precipitação da região Nordeste do Brasil são informações sobre o total diário precipitado, medidos três vezes ao dia (09h00min, 15h00min, 21h00min). Isto

ocorre em virtude da falta de estações pluviográficas manuais e/ou automáticas que possibilitam o registro de informações em escala temporal menor que o dia. Nesse caso, podem-se utilizar métodos que desagregam as chuvas diárias em chuvas de durações menores, possibilitando assim, estimar as intensidades correspondentes.

As séries temporais de chuva a partir de simulação estocástica são geralmente obtidas ou por modelos estocásticos de simulação de chuva contínua que são baseados no agrupamento das entidades chuvosas: Bartlett-Lewis e Neyman-Scott (Rodríguez-Iturbe et al., 1987, 1988); ou por modelos de desagregação da chuva diária em eventos chuvosos durante o dia, determinando-se sua lâmina, duração e tempo inicial: Hershenhorn e Woolhiser (1987); ou ainda por modelos baseados na teoria dos fractais de cascata aleatória (Over E Gupta, 1996).

Os modelos de pulso retangular de Newman-Scott (PRNS) e de Bartlett-lewis (PRBL), descritos originalmente por Rodríguez-Iturbe et al. (1987 e 1988), são modelos de distribuição de alturas de chuva em tempo contínuo, que tem sido muito utilizado para aplicações em várias regiões do mundo, com climas e regimes pluviométricos variados. São

utilizados para descrever a chuva em passos de tempo fixos que pode variar de alguns minutos a vários dias.

Os modelos de desagregação da lâmina diária em eventos chuvosos individuais foram previamente estudados por Hershenhorn (1984) e Hershenhorn e Woolhiser (1987). Trata-se de um modelo baseado em um método discreto-contínuo, pois desagrega um processo de precipitação diária discreto em processos contínuos de períodos úmidos e períodos secos dentro do dia. A partir dos dados diários registrados nas estações são determinados estocasticamente o número de eventos chuvosos, a hora inicial, a duração e a lâmina de cada evento chuvoso. É assumido que os parâmetros do modelo apresentam, como sugerem os autores, um caráter regional. Os eventos ocorridos no mesmo dia foram chamados de completos e os iniciados em um dia e terminando no dia seguinte de incompletos, sendo, o modelo, trabalhado de forma diferente para estes dois tipos de eventos chuvosos.

Diversos autores tentaram conciliar os modelos PRNS e PRBL com a desagregação da chuva diária (Cowpertwait et al. (1996), Gyasi-Agyei (2005), Koutsoyannis e Onof (2001), Naghettini e Queiroga (2002)). Obtiveram um sucesso razoável na determinação das curvas IDF, mas os modelos falharam, na sua maioria, na distribuição dos eventos, com suas respectivas lâminas e duração, durante o dia.

O objetivo deste trabalho é de elaborar e validar um modelo estocástico de desagregação da chuva diária, seguindo-se a abordagem proposta por Hershenhorn e Woolhiser (1987), para as precipitações convectivas que ocorrem na faixa litorânea do Nordeste oriental do Brasil

MATERIAL E MÉTODO

Área de estudo

Os dados utilizados nesse estudo são monitorados na bacia hidrográfica do riacho Guaraíra. Ela está inserida na bacia hidrográfica do rio Gramame (Figura 1). A bacia hidrográfica possui uma área de 5,84 km², localiza-se em uma região do município de Pedras de Fogo, em propriedade da agroindústria Gramame Agro Industrial S.A. (GIAA) entre as latitudes 9.190,80 km e 9.195,25 km e longitudes 274,50 km e 277,00 km (coordenadas UTM). A região litorânea, na qual está inserida, classifica-se, pelo ponto de vista climatológico, como tropical úmida. As chuvas observadas na bacia do rio Gramame,

onde está localizada a bacia hidrográfica do riacho Guaraíra, são geralmente de caráter convectivas.



Figura 1 - Mapa da bacia hidrográfica do rio Gramame e localização da bacia hidrográfica do riacho Guaraíra (destaque em vermelho).

Na bacia hidrográfica do riacho Guaraíra existem cinco estações pluviométricas digitais, instaladas durante o projeto IBESA – Instalação de bacias Experimentais, entre 2001 e 2003. As estações pluviométricas numeradas de 01 a 05 são distribuídas na bacia hidrográfica conforme mostrado na figura 2. A estação 05 corresponde ao pluviômetro digital da estação climatológica. As estações pluviométricas são compostas de um pluviômetro digital de tipo basculante, de uma sonda de umidade do solo de tipo TDR e de um data-logger para armazenamento dos dados. Ao detectar uma chuva, o data-logger armazena os dados a cada minuto. Em período de estiagem, o data-logger armazena as informações fornecidas pelos sensores a cada 15 minutos.

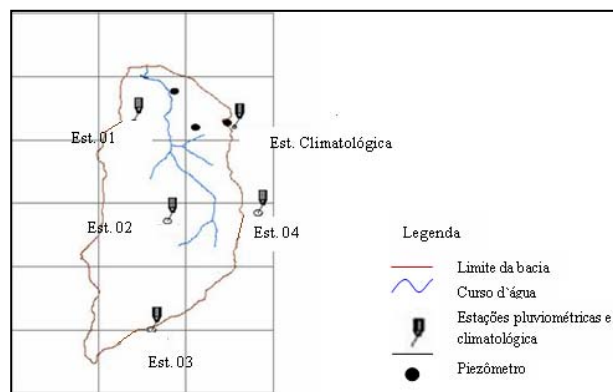


Figura 2 - Situação das estações pluviométricas na bacia hidrográfica do riacho Guaraíra.

Neste estudo, o modelo estocástico de desagregação da chuva diária foi construído com os dados da estação 02, e validado com os dados da estação 01. Ambas as estações apresentaram as séries mais longas de dados, ou seja quatro anos e meio (de Jan 2003 a Abril 2007).

Metodologia

O modelo que foi tomado como base para esse estudo, apresentado por Hershenhorn e Woolhiser (1987), fornece um método para simular o número de eventos por dia, bem como, a lâmina, duração e o tempo de início de cada evento, dada uma sequência de lâminas diárias de precipitação simuladas ou observadas.

A metodologia, proposta por esses autores, para a elaboração do modelo de desagregação é descrita a seguir:

1. Determina-se uma função de distribuição contínua para a lâmina diária precipitada;
2. Com a função ajustada para a lâmina diária, determina-se uma função de distribuição discreta para o número de eventos chuvosos ocorridos no dia;
3. Conhecidas as funções de distribuição conjunta da lâmina diária e do número de eventos ocorridos no dia, determina-se a lâmina do evento chuvoso. Para tanto, razões adimensionais das lâminas dos eventos são consideradas variáveis aleatórias e ajustadas a uma distribuição de probabilidade contínua;
4. Ajusta-se então a duração do evento chuvoso a uma distribuição de probabilidade contínua;
5. E por fim, a última variável do modelo a ser ajustada a uma distribuição é o tempo de início do evento chuvoso.

Após diversos estudos descritos em Cavalcante (2008), o evento chuvoso foi definido como o evento com precipitação mínima de 1,016 mm (4 basculadas do pluviômetro digital), sendo o intervalo de separação entre dois eventos consecutivos de 30 min sem chuva. Os eventos com início e fim no mesmo dia, são chamados de eventos completos (N_{cij}) e aqueles com início em um dia e fim no dia seguinte, são chamados eventos incompletos (N_{pij}). Para que o modelo seja aplicável aos dados diários da rede pública de monitoramento, as vinte quatro horas do dia foram consideradas das 9 horas do dia X às 9 horas do dia seguinte, isso porque, as estações

pluviométricas no Brasil operam com esse intervalo e não o intervalo de 0 hora às 24 horas.

Na determinação dos melhores ajustes para as funções de distribuição, utilizou-se o Software STATÍSTICA da Statsoft. As distribuições contínuas consideradas foram as distribuições Log-Normal, Gama e Exponencial. As distribuições discretas consideradas foram as distribuições de Poisson, Binomial e Geométrica. Testes com a distribuição binomial negativa foram também efetuados, utilizando para isto um programa desenvolvido em planilha Excel. Dois testes de aderência às funções de distribuição, os testes de Kolmogorav-Smirnov e do Chi Quadrado, com nível de significância de 5%, foram utilizados para aceitar ou rejeitar o ajuste. As probabilidades p associadas serviram de critérios para determinar o melhor ajuste.

Para o ajuste da lâmina diária, foi considerada toda a amostra de dados. Para o ajuste das amostras representando o número de eventos chuvosos ocorridos no dia, suas lâminas, durações e tempos iniciais, foram considerados os dados agrupados por classes de probabilidade de ocorrência da chuva diária, a saber:

- classe 1: $z < z_0$: $\langle P(z < z_0) = 0,20 \rangle$
- classe 2: $z_0 \leq z \leq z_1$: $\langle P(z < z_1) = 0,50 \rangle$
- classe 3: $z_1 \leq z < z_2$: $\langle P(z < z_2) = 0,70 \rangle$
- classe 4: $z \geq z_2$

determinadas a partir da função de distribuição da lâmina diária, onde a variável Z representa o total diário precipitado.

A lâmina do evento chuvoso é calculada a partir das seguintes razões adimensionais, dependendo do número de eventos por dia:

- $N = 1$: $y_1 = Z$;
- $N = 2$: $r_1 = y_1 / Z$;
- $N = 3$: $r_1 = y_1 / Z$; $r_2 = y_2 / (y_2 + y_3)$;
- $N = 4$: $r_1 = y_1 / Z$;
 $r_2 = y_2 / (y_2 + y_3 + y_4)$;
 $r_3 = y_3 / (y_3 + y_4)$;
- $N = 5$: $r_1 = y_1 / Z$;
 $r_2 = y_2 / (y_2 + y_3 + y_4 + y_5)$;
 $r_3 = y_3 / (y_3 + y_4 + y_5)$;
 $r_4 = y_4 / (y_4 + y_5)$

onde r_i é a razão adimensional, N o número de eventos no dia e y_i a lâmina do evento i . Para $N \geq 5$, nenhuma análise estatística foi possível, devido a pouca quantidade de informação.

Cada razão foi ajustada a uma distribuição de probabilidade contínua. Com o valor da razão, calcula-se então a lâmina do evento chuvoso.

Para determinar a duração do evento, tentou-se, sem sucesso, encontrar alguma correlação entre esta variável e a lâmina do evento. Não sendo nenhuma correlação satisfatória, partiu-se para o ajuste dos dados a uma distribuição de probabilidade contínua. Foram consideradas as amostras dos primeiros, segundos, terceiros e quartos eventos chuvosos ocorridos no dia, separadamente, sendo cada amostra dividida pelas quatro classes de probabilidade.

Por fim, para a última variável a ser determinada, o tempo de início do evento chuvoso, foram testadas, no ajuste, as mesmas distribuições contínuas já citadas. A amostra foi dividida de acordo com as classes de probabilidade de ocorrência da chuva diária, assim como foi feito para a duração (por exemplo, a amostra de todos os primeiros, segundos e terceiros eventos chuvosos do dia foi dividida entre as quatro classes de probabilidade e cada uma ajustada separadamente). Os tempos de início do evento chuvoso para o evento com ordem de ocorrência superior à quarta não foram ajustados devido a pouca quantidade de dados. O ajuste do tempo inicial do segundo, do terceiro e do quarto evento foi feito sobre o valor trasladado do tempo inicial, pela seguinte fórmula:

$$T_{inicial}(i) = T_{i,obs}(i) - [T_{inicial}(i-1) + D(i-1) + 30] \quad (1)$$

onde $T_{i,obs}$ é o tempo inicial observado e $D(i-1)$ é a duração do evento $i-1$. As variáveis são expressas em minutos.

O modelo proposto

A estrutura do modelo proposto é a de um modelo seqüencial, ou seja, há necessidade de se seguir seqüencialmente as suas etapas.

A primeira etapa consiste em admitir que para qualquer posto pluviométrico próximo à região de estudo, os dados de precipitação diária seguem uma distribuição Log-Normal. Identificam-se, então os parâmetros da distribuição Log-Normal e estimam-se, com a função de distribuição acumulada, os valores de Z_0 , Z_1 e Z_2 , os quais delimitam as classes de probabilidades de ocorrência da precipitação diária. As classes são então enumeradas por ordem crescente, C variando de 1 a 4 (Cavalcante, 2008):

$$z_0 = \langle z: P_{LogNor}(z < z_0) = 0,20 \rangle, e z < z_0 \Rightarrow C = 1$$

$$z_1 = \langle z: P_{LogNor}(z < z_1) = 0,50 \rangle, e z_0 \leq z < z_1 \Rightarrow C = 2$$

$$z_2 = \langle z: P_{LogNor}(z < z_2) = 0,70 \rangle, e z_1 \leq z < z_2 \Rightarrow C = 3$$

$$z \geq z_2 \Rightarrow C = 4$$

A segunda etapa consiste na determinação estocástica do número de eventos por dia chuvoso. Cavalcante (2008) mostrou que o número de eventos ocorridos num dia segue uma distribuição binomial à deriva negativa, cuja expressão é:

$$f(x) = \binom{x+r-1}{x} p^r q^x \quad (2)$$

com $q = 1-p$. Os parâmetros p e r foram correlacionados ao total da precipitação diária, de forma que:

$$r = 4 \quad (3)$$

e

$$p = -0,0044z + 0,7856$$

x é o número de eventos ocorridos no dia, o qual é gerado aleatoriamente no modelo a partir da distribuição binomial negativa com os parâmetros p e r . Os eventos chuvosos durante o dia são então notados: N_1, N_2, \dots, N_n onde n é o número máximo de eventos completos por dia, fixado em 8.

Na terceira etapa, são determinadas as lâminas de chuva, y_i , por evento, a partir das razões determinadas na metodologia deste trabalho. Dessas deduzem-se facilmente os totais precipitados, y_i , por evento.

No caso de existir apenas um evento chuvoso no dia, o total precipitado no evento é igual ao total precipitado no dia. No caso de ocorrer mais de cinco eventos chuvosos no dia, a pequena amostra dos dados observados não permitiu qualquer estudo estatístico. Assim, no modelo proposto neste trabalho, resolveu-se aplicar as razões definidas para a ocorrência de 5 eventos e repartir o saldo entre os eventos suplementares, por meio de uma distribuição uniforme, como fizeram Hershenhorn e Woolhiser (1987).

Cavalcante (2008) mostrou que as razões r_1, r_2, r_3 , e r_4 seguem uma distribuição gama a dois parâmetros.

$$f(x) = \left[\frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \right] \cdot \left[\frac{x}{\beta} \right]^{\alpha-1} \cdot e^{-x/\beta} \quad (5)$$

As distribuições foram estabelecidas independentemente do número de eventos. Os parâmetros β e α , respectivamente parâmetros de escala e de forma, se correlacionem com a ordem da classe de probabilidade da precipitação diária, C . Assim,

no modelo, valores das razões são gerados aleatoriamente a partir de uma distribuição Gama a dois parâmetros, sendo os parâmetros calculados conforme a Tabela 6:

Tabela 6 – Regressão exponencial para determinação dos parâmetro β e α

	Parâmetros	
	Escala	Forma
r_1	$\beta = 0,0857e^{0,2927C}$	$\alpha = 6,1382e^{-0,4813C}$
r_2	$\beta = 0,0365e^{0,4892C}$	$\alpha = 12,772e^{-0,5677C}$
r_3	$\beta = 0,0006e^{1,4866C}$	$\alpha = 92,872e^{-0,9657C}$
r_4	$\beta = 0,0014e^{4,9883C}$	$\alpha = 14,944e^{-2,0525C}$

Na quarta etapa, determina-se a duração de cada evento chuvoso. As análises estatísticas realizadas na dissertação de Cavalcante (2008), relativas à duração de cada evento chuvoso, indicaram que esta é bem representada por uma distribuição exponencial condicionada ao número do evento:

$$f(x) = \lambda x e^{-\lambda x} \quad (6)$$

onde o parâmetro λ é estimado, para cada evento, em função da sua ordem de ocorrência, N_1, N_2, \dots, N_n , por uma regressão linear com a ordem, C , da classe de probabilidade da precipitação diária.

Dessa forma, o modelo calcula o parâmetro λ , a partir da ordem do evento cuja duração se quer determinar e da classe de probabilidade de ocorrência da chuva diária, conforme indicado na Tabela 7 e gera aleatoriamente a duração do evento a partir de uma distribuição exponencial.

Tabela 7 – Regressão linear para determinação do parâmetro λ

Ordem dos eventos	Lambda (λ)
1º	$\lambda = -0,0024C + 0,0185$
2º	$\lambda = -0,0025C + 0,0199$
3º	$\lambda = -0,0035C + 0,0259$
4º	$\lambda = -0,0036C + 0,0262$

Não foram estabelecidas regras para determinar a duração dos eventos N_5, \dots, N_n , quando ocorrem mais de 4 eventos. Admite-se, então para os

eventos N_5, \dots, N_n , uma duração uniforme de 30 minutos, desde que o tempo inicial desses eventos, gerado aleatoriamente, o permita. Isto é, não conduz a ultrapassar as 24 horas do dia. Caso contrário, duas alternativas são oferecidas: i) Gera-se um novo tempo inicial aleatoriamente até que a duração total dos eventos caiba nas 24 horas do dia; ii) reduz-se do valor necessário a duração desses eventos. É importante observar que, caso se utiliza o modelo para a geração de curvas de Intensidade – Frequência – Duração, as chamadas curvas IDF, deve se verificar se as intensidades máximas anuais utilizadas provêm desses eventos chuvosos, para os quais não foram estabelecidas funções de probabilidade.

Na quinta etapa, determina-se o tempo inicial do evento chuvoso. No modelo, o tempo inicial é determinado para cada evento por uma função de distribuição exponencial condicionada à classe de probabilidade de ocorrência da precipitação diária. No entanto, foi mostrado (Cavalcante, 2008) que o valor do parâmetro λ , da função de distribuição exponencial, varia pouco com a classe de probabilidade quando se observam as três primeiras classes. Calculando-se a média para as três classes, obteve-se uma regressão linear com o número de ordem do evento. No modelo proposto, admite-se, sem, porém demonstrar, que essa regressão linear possa ser aplicada para ordem de eventos superiores a 4 e para a quarta classe de ocorrência de probabilidade. Assim, para gerar o tempo inicial transladado (eq. 1), gera-se aleatoriamente a hora, com a distribuição exponencial, considerando que o parâmetro λ dessa função é dado pela regressão linear:

$$\bullet = -0,0021N_i - 0,0001 \quad (7)$$

No modelo, haja vista estudos feitos sobre a forma do hietograma dos eventos chuvosos por Porto et al. (2008), admite-se que estes são de forma retangular, ou seja, distribui-se o total precipitado durante todo o evento uniformemente durante o tempo de duração do evento.

Validação do modelo

Um código informático em Fortran 90 foi escrito para representar o modelo. O código permite que sejam efetuadas N simulações, num processo de Monte-Carlo, para que os resultados da desagregação diária possam ser apresentados com parâmetros estatísticos. O posto pluviométrico 01 da bacia

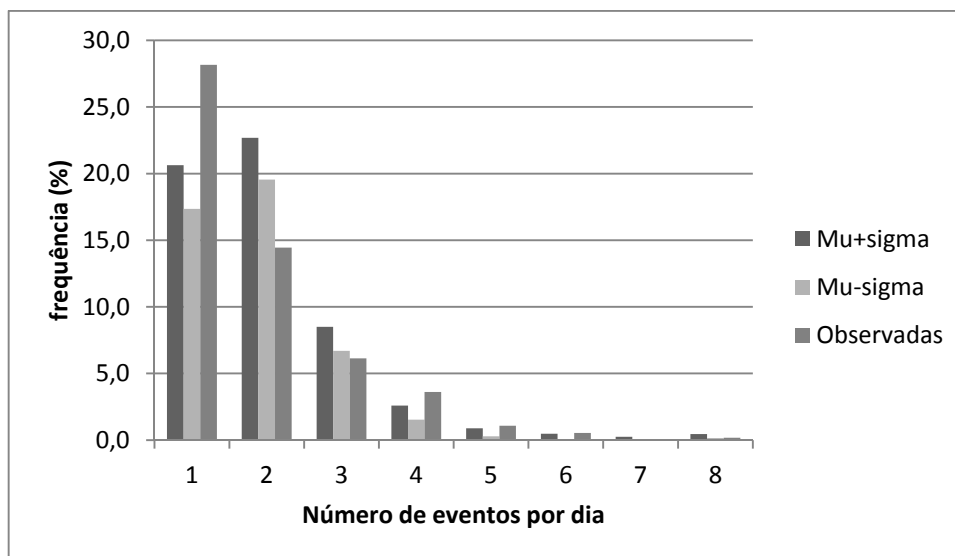


Figura 3 - Frequência de ocorrência de dia com N eventos chuvosos (N variando de 1 a 8)

hidrográfica do riacho Guaraíra (ver Figura 2) é utilizado para a validação no período de observações de Janeiro 2003 a Abril 2007.

Comparam-se com os valores observados na estação pluviométrica 01, a qual não foi utilizada na elaboração do modelo, as seguintes variáveis calculadas pelo modelo:

- O número total de eventos chuvosos gerados no período;
- O número de dias com N_i eventos (N_i varia de 1 até 8);
- A hora de ocorrência dos eventos chuvosos, classificando-os em eventos que ocorrem de madrugada (período entre 00h01min horas e 05h30min horas), de manhã (período entre 05h31min e 11h00min), de meio dia (período entre 11h01min e 14h00min), de tarde (período entre 14h01min e 17h30min) ou de noite (período entre 17h31min e meia noite);
- A duração do evento chuvoso, d , contabilizando os eventos nas seguintes classes: $d \leq 2$ min; $2 < d \leq 10$ min; $10 < d \leq 30$ min; $30 < d \leq 60$ min; $60 < d \leq 120$ min; $120 < d \leq 240$ min, e $d > 240$ min;
- A intensidade dos eventos chuvosos, I , expressa em mm/min, contabilizando os eventos em cada uma das seguintes classes: $I \leq 0,1$; $0,1 < I \leq 0,5$; $0,5 < I \leq 1,0$; $1,0 < I \leq 2,0$; $2,0 < I \leq 5,0$; $5,0 < I \leq 10,0$, e $I > 10$.

APLICAÇÃO E RESULTADOS

Foram realizadas 200 simulações para o período de observação do posto 01, calculando-se os valores médios, o desvio-padrão e os valores mínimo e máximo. Os resultados são apresentados sob a forma gráfica.

Repartição dos eventos chuvosos

Foram registrados na estação 01, 554 eventos chuvosos no período analisado. O modelo simulou uma média de 588 eventos com um mínimo de 551 e um máximo de 629. No gráfico seguinte, mostra-se a repartição observada e simulada (em frequência) do número de eventos por dia. A repartição simulada é descrita pelo intervalo [valor médio – desvio padrão, valor médio + desvio padrão] onde o valor médio é representado por μ e o desvio padrão por σ .

Observa-se, no gráfico da Figura 3 uma ligeira subestimação do número de dias com apenas um evento e uma ligeira sobreestimação do número de dias com dois eventos em relação ao que foi observado.

Hora de ocorrência dos eventos chuvosos

No gráfico da Figura 4 são representadas as repartições das frequências dos eventos por período no dia. Os valores calculados e observados estão na

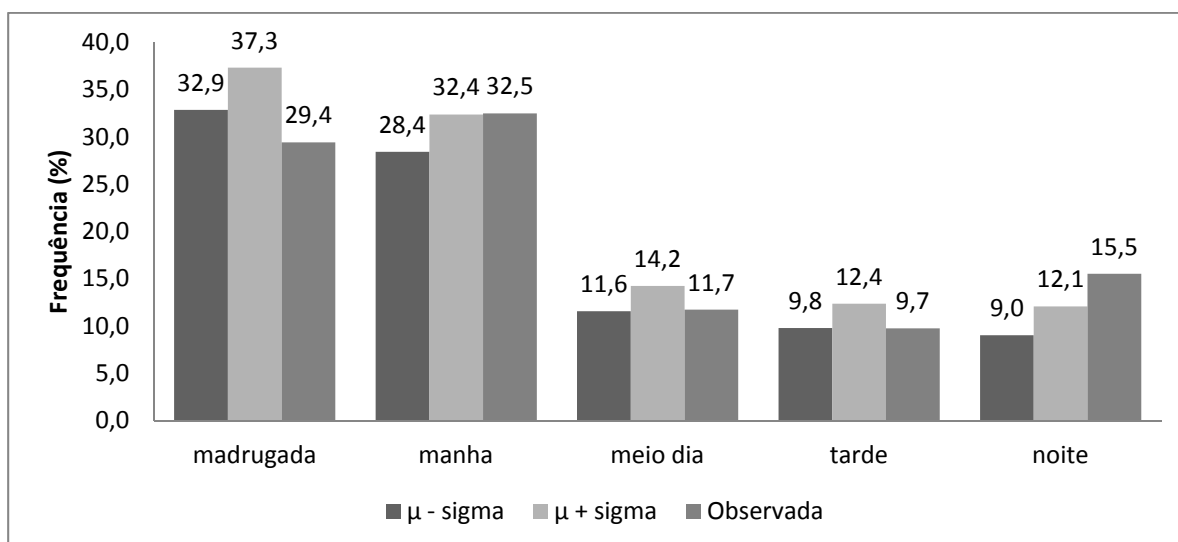


Figura 4 - Frequência de ocorrência de eventos chuvosos em função da hora inicial de cada evento.

figura. Observa-se um desvio maior entre valores observados e valores calculados nos períodos noturnos. Nos demais períodos o valor observado se encontra no intervalo de mais ou menos um desvio padrão em torno da média.

Nota-se também, para todos os períodos, os pequenos valores de desvio-padrão para as 200 simulações efetuadas. Essa robustez aparente do modelo é importante, haja vista o padrão muito característico da ocorrência da chuva no litoral do Nordeste como observado em Porto et al. (2008), devido ao contraste de temperatura entre a terra e o mar no período da madrugada e da manhã.

Duração dos eventos chuvosos

No gráfico da Figura 5, são apresentadas, as durações dos eventos simuladas e observadas. As durações são organizadas por classe. Observa-se que o valor observado por classe, geralmente se encontra dentro ou próximo do intervalo de mais ou menos um desvio-padrão em torno da média. Diferenças mais significativas ocorrem com os eventos com durações inferiores a 2 minutos e maior que 240 minutos, mas o número de eventos observados com durações dessa ordem de grandeza foi muito pequeno. Na elaboração do modelo, notou-se que existe uma correlação fraca ($R=0,22$) entre a duração do evento e a sua lâmina precipitada. Provavelmente, isto se deve a ocorrência da brisa marítima, tornando muito complexa a formação do evento chuvoso. Outros estudos como aqueles publicados por Hershendorfer e Woolhiser (1987) e Gyasi-Agyei (2005), por exemplo, apresentam correlações eleva-

das que permitem estimar a duração do evento por meio de regressões.

Intensidade dos eventos chuvosos

No gráfico da Figura 6, são apresentadas as intensidades dos eventos chuvosos por classes de intensidade. Os valores são apresentados na tabela junto ao gráfico. A comparação entre a distribuição das intensidades simuladas e observadas é apenas razoável. Uma melhor aderência se observa para os eventos de pequena intensidade ($i \leq 0,1 \text{ mm/min}$), os quais representam em torno de 50% dos eventos observados. As simulações mostram alguns raros eventos com intensidade superior a 5 mm/min . Tais intensidades, muito elevadas não foram observadas. Simulações efetuadas calculando a intensidade apenas para os eventos com duração superior a 2 minutos mostraram que as maiores intensidades simuladas não provêm dos eventos com durações tão pequenas. Observando a tabela anexada ao gráfico da Figura 6, constata-se que a frequência de ocorrência dessas intensidades maiores é de apenas 1% em média. Aquino (1972), que elaborou curvas IDF para a cidade de João Pessoa, mesma região desses estudos, calculou intensidades de $3,3 \text{ mm/min}$ para uma duração de 15 minutos com tempo de recorrência de 100 anos. O relativamente curto período de observações na bacia hidrográfica do riacho Guaraíra não permite maiores considerações a respeito das intensidades dos eventos simulados. No entanto, os resultados apresentados neste trabalho apontam para uma superestimação das intensidades.

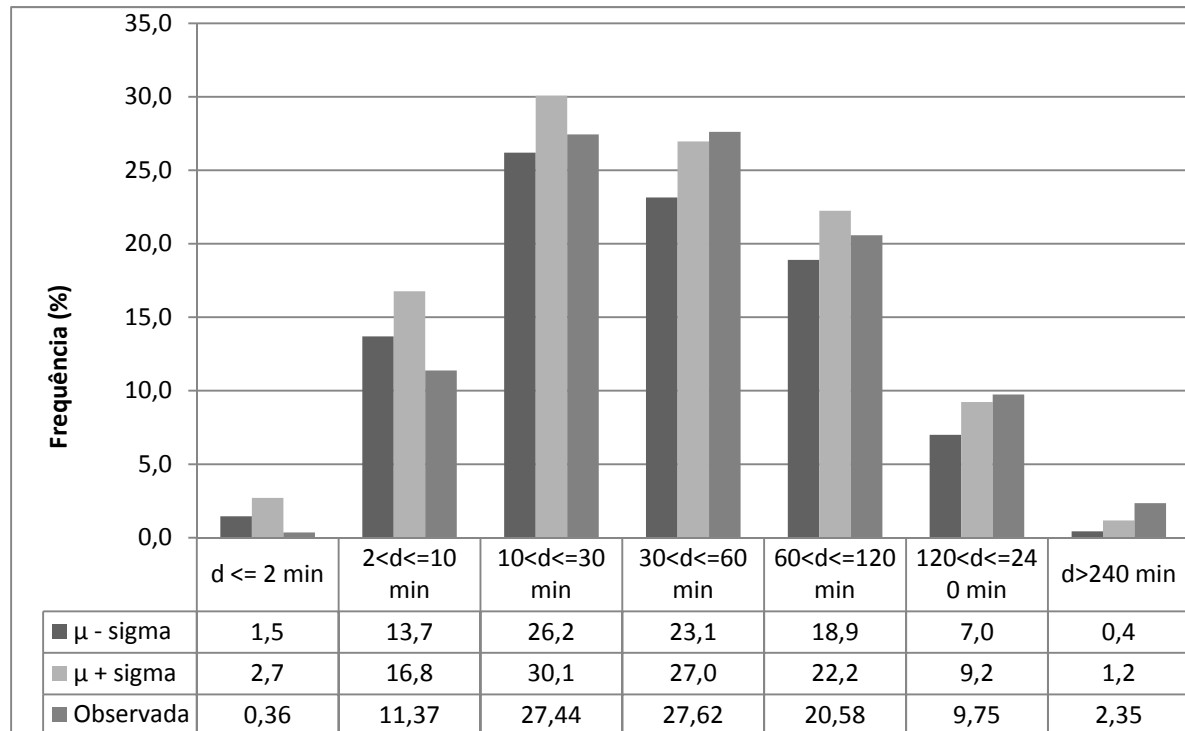


Figura 5 - Frequência dos eventos chuvosos em função da duração do evento

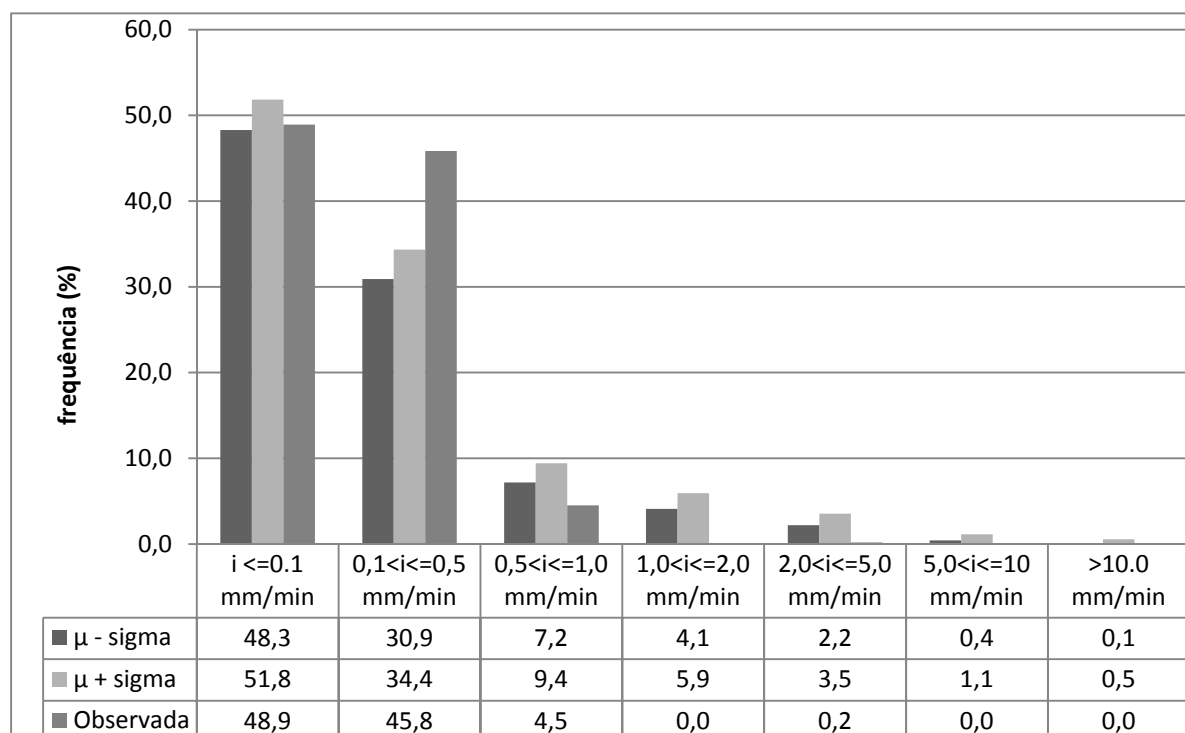


Figura 6 - Frequência de ocorrência de eventos chuvosos por classes de intensidade (mm/min)

CONCLUSÕES

Nesse trabalho, utilizando-se dados de chuva registrados a cada minuto em um posto pluviométrico da bacia hidrográfica do riacho Guaraíra na região litorânea do Nordeste Paraibano, desenvolveu-se um modelo estocástico sequencial para desagregação das chuvas diárias. O modelo foi validado em outro posto pluviométrico digital da mesma bacia hidrográfica.

1. O modelo simula sequencialmente, o número de eventos por dia, a lâmina de cada evento, a duração do evento e o tempo inicial de cada evento;
2. Os parâmetros do modelo proposto são determinados a partir da distribuição estatística das chuvas diárias, admitindo-se uma distribuição Log-Normal;
3. A validação do modelo mostrou que o mesmo é capaz de representar corretamente: o número de eventos simulados, a repartição do número de dias chuvosos com 1, 2, até 8 eventos; a duração dos eventos chuvosos e a hora inicial dos eventos chuvosos.
4. No caso das intensidades dos eventos chuvosos, a maioria foi bem representada, no entanto o modelo gerou, em um por cento dos eventos simulados, intensidades muito altas que, obviamente não foram observadas.
5. Considerando que, os parâmetros do modelo são totalmente determinados a partir da distribuição estatística da chuva diária, recomenda-se testar a sua aplicação na região litorânea do Nordeste Oriental brasileiro, na faixa que é influenciada pela brisa marítima.

Recomenda-se por fim, que o modelo seja testado, desta vez com amostra de dados de pelo menos 30 anos de chuva diária para comparar os seus resultados com as curvas IDF já determinadas na região, a fim de testar a sua habilidade em determinar a distribuição dos eventos extremos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ que financiou os estudos, e à FINEP/CTHIDRO que financiou a bacia hidrográfica instrumentação da bacia.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, J. S., *Estudo de Chuvas Intensas da Grande João Pessoa*. 1972. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica de Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1972.
- CAVALCANTE, A. L. *Desagregação da chuva diária em escala de tempo sub-diária*. 2008. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia urbana) - Escola Politécnica de Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2008.
- COWPERTWAIT, P. S. P. Further developments of the Newman-Scott clustered point process for modelling of rainfall. *Water Resour. Res.*, v. 27, n. 7, p. 1431-1438, 1991.
- GYASI-AGYEI, Y. Stochastic disaggregation of daily rainfall into one-hour time scale. *Journal of Hydrology*, v. 309, p. 178-190, 2005.
- HERSHENHORN, J. S. *Disaggregation of daily rainfall*. 1984. 146f. (Masters thesis) - University of Arizona, Tucson, Arizona, 1984.
- HERSHENHORN, J.; WOOLHISER, D. A. Disaggregation of daily rainfall, *J. Hydrol. Sciences J*, v. 35, n. 3, p. 305-322. 1987.
- KOUTSOYANNIS, D.; ONOF, C. Rainfall disaggregation using adjusting procedures on a Poisson cluster model. *Journal of Hydrology*, v. 246, p. 109-122, 2001.
- NAGHETTINI, M. C.; QUEIROGA, Y. G. A. Aplicação do modelo Bartlett-Lewis modificado na desagregação de alturas diárias de precipitação em intervalos horários para a bacia do Rio Grande em Camargos. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, VI, 2002, Maceió-AL. *Anais do VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*. Maceio-AL : ABRH. 2002.
- OVER, T. E. T.; GUPTA, V. K. A space-time theory of mesoscale rainfall using random cascades. *Journal of geophysical Research*, v. 101, (D21), p. 26319-26331. 1996
- PORTO, R. Q.; SILANS, A. M. B. P.; CAVALCANTE, A. L.; ALMEIDA, C. N.. *Classificação de eventos chuvosos em hietogramas sintéticos: um estudo de caso na bacia experimental do riacho Guaraíra - Projeto Beer*. Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2008.
- PORTO, R. Q.; SILANS, A. M. B. P.; ALMEIDA, C. N.; CAVALCANTE, A. L. *Caracterização Preliminar da precipitação pluviométrica em bacia experimental do litoral Paraibano*.

Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2008.

RODRIGUEZ-ITURBE, I.; COX, D. R.; ISHAM, V. Some models for rainfall based on stochastic point processes. *Proceedings of the Royal Society*. London, A 410, 1987. p. 283-298.

RODRIGUEZ-ITURBE, I.; COX, D. R.; ISHAM, V. A point success model for rainfall: further developments. *Proceedings of the Royal Society*. London A 417, 1988. p. 269-288

Stochastic Model of Daily Rainfall Disaggregation in Sub-Daily Events For the Coastal Region of the Northeast

ABSTRACT

Data from rain gage recorders are used as input for hydrological models. They allow a description based on small time scales. However, they are difficult to obtain because most historical precipitation in series in the Northeast region of Brazil are from daily rainfall gages. Therefore techniques for the disaggregation of daily amounts of rainfall are used to obtain sub-daily rainfall data.

In this study, we made a model for the disaggregation of daily rainfall amounts using the data series of a digital rain gage installed in the experimental basin of Guaraíra stream. This small basin is situated in the representative basin of the Gramame River, in the coastal region of Paraíba state. The proposed model follows the procedures elaborated by Hershenhorn (1984) and Hershenhorn and Woolhiser (1987). It decomposes the amount of water precipitated by rainfall events during one day. From the daily data recorded at the station, the number of rainfall events, amount, duration and initial time of each event are determined randomly and sequentially. It is assumed that the model parameters are regional because they are calculated from the statistical distribution of daily rainfall amounts. The proposed model is validated with the data series of another digital rain gage in the experimental basin.

Key-words: *Stochastic model, rainfall disaggregation.*