

# DETERMINAÇÃO PROBABILÍSTICA DO NÚMERO DIÁRIO DE EVENTOS CHUVOSOS

*Alyne Lucena Cavalcante<sup>1</sup> & Alain Marie Bernard Passerat de Silans<sup>2</sup> Wamberto Raimundo da Silva Júnior<sup>3</sup>*

**RESUMO** – O projeto BEER-UFPB (Bacias experimental e representativa – UFPB) tem por objetivos, entre outros, desenvolver a partir de estudos experimentais em diversas escalas modelos hidrológicos com base física. Muitos dos fenômenos relevantes, como a erosão e o transporte de sedimentos, a infiltração e a evapotranspiração requerem para ser modelados informações sobre eventos chuvosos com tempos de duração bem inferiores ao dia. No entanto os dados geralmente disponíveis nas estações pluviométricas são dados diários. Assim, faz-se necessário investigar a possibilidade de desagregar a informação diária em informações de duração bem menor. Neste trabalho, utilizam-se dados registrados em duas estações pluviométricas automáticas da bacia experimental do riacho Guaraíra para iniciar a formulação de um modelo estocástico de desagregação da chuva diária. Os resultados obtidos mostram que o número de eventos se relaciona com o total diário precipitado, através de funções de distribuição discretas Binomial. No entanto, para os dias com menores valores de chuva não foram encontrados ajustes satisfatórios, necessitando de mais investigações.

**Palavras-chave:** precipitação, desagregação, eventos chuvosos.

**ABSTRACT** – The BEER-UFPB project (Experimental and representative catchments – UFPB) aims the development of hydrological models with physical basis. Some phenomenons needs to be described with a time step less than a day. For instance, erosion and sediments transport, infiltration and evapotranspiration. But, the available data sets are mostly of daily rainfall amounts. Then one needs to search for daily deagregation techniques or models. In this paper, we use data from two automatics rain gauges of the Guaraira experimental basin to begin the formulation of such a stochastic model. Results show dependency of the number of storms with the daily amount and that, generally the number of storms that occur in a day is well gscribed by a binomial distribution function. However, for the smaller daily amounts the fit of any classical discrete distribution was unsuccessful, so more investigations are necessaryes.

Keywords: rain amount, desagregation, storms.

---

1) Mestranda em Recursos Hídricos da UFPB. Rua: Renato de Souza Maciel, 914, Bessa. E-mail: [alyneplucena@yahoo.com.br](mailto:alyneplucena@yahoo.com.br);

2) Professor do DTCC/CT/UFPB. E-mail: [alainsilans@yahoo.com.br](mailto:alainsilans@yahoo.com.br);

3) Mestre em Engenharia Urbana – UFPB. [wambertojunior@yahoo.com.br](mailto:wambertojunior@yahoo.com.br).

# 1 - INTRODUÇÃO

Um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre. A bacia hidrográfica é o objeto de estudo da maioria dos modelos hidrológicos, reunindo as superfícies que captam e despejam água sobre um ou mais canais de escoamento que desembocam numa única saída. A principal entrada de água no sistema é a precipitação.

Um modelo pode ser considerado como uma representação simplificada da realidade, auxiliando no entendimento dos processos que envolvem esta realidade. Os modelos estão sendo cada vez mais utilizados em estudos ambientais, pois ajudam a entender o impacto das mudanças no uso e cobertura da terra e prever alterações futuras nos ecossistemas.

Os trabalhos de pesquisa sobre modelagem hidrológica estão investindo na modelagem conceitual com base física. Vários são os fenômenos que, nestes modelos, devem ser corretamente descritos em passos de tempo inferiores ao dia. Pode-se citar a infiltração, a erosão do solo, a evapotranspiração, a diluição de poluentes, etc... Os modelos em base física requerem então dados numa escala de tempo relativamente fina, sempre inferior ao dia. Para simular estes processos através de modelos matemáticos, a chuva, entre outros parâmetros, tem que ser descrita por eventos chuvosos durante o dia (Afouda *et al.* (2001)). Em outros termos, os processos físicos mencionados serão diferentes caso um determinado total diário precipitado ocorra sob a forma de um único evento ao longo do dia ou sob a forma de, digamos, três eventos chuvosos intensos. No entanto, em particular no Brasil, mas também em todas as regiões do mundo, a densidade de pluviômetros que mede a precipitação diária é muito maior que a densidade de pluviógrafos ou de pluviômetros digitais. Além do mais, se dispõe de séries históricas relativamente longas de dados de precipitação diária, enquanto as séries históricas de dados de pluviógrafos são quase inexistentes. Por estes motivos, desde os anos 80, com os trabalhos pioneiros de Hershorn (1984), Hershorn e Woolhiser (1987), Rodriguez Iturbe *et al.* (1987, 1988) esforços consideráveis têm sido feitos para desenvolver modelos de desagregação da precipitação diária em escala de tempo horária ou mesmo inferior.

Neste trabalho, aproveitamos os registros de precipitação efetuados com um intervalo de 1 minuto, na bacia experimental do riacho Guaraíra (Lira *et al.* (2003)), para analisar o comportamento dos eventos chuvosos. Em seguida foram ajustados os totais precipitados e o número de eventos chuvosos para estes dias (em que ocorreram eventos chuvosos) a uma distribuição estatística como forma de orientar a construção de um modelo estocástico de desagregação de precipitação diária em eventos isolados, sub diários, e verificar a aplicação regional do modelo desenvolvido, quando se dispuser de séries históricas mais longas.

## 2 – CARACTERIZAÇÃO DA BACIA

### 2.1 – Localização da bacia

Desde 2001, o LARHENA/UEPB (Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Paraíba) monitora a bacia experimental do riacho Guaraíra instalada na bacia representativa do Rio Gramame no litoral do estado da Paraíba. A bacia experimental, com 5,84 km<sup>2</sup> de área de drenagem foi equipada com um posto fluviométrico, uma estação climatológica e quatro postos pluviométricos com sondas de umidade do solo (Lira et al. (2003)).

As figuras 1 e 2 mostram, respectivamente, a localização da bacia experimental (bacia do riacho Guaraíra), dentro da bacia representativa do Rio Gramame e a localização das estações de monitoramento.



Figura 1 – Mapa da bacia hidrográfica do Rio Gramame e localização da bacia experimental do riacho Guaraíra (em destaque em vermelho).

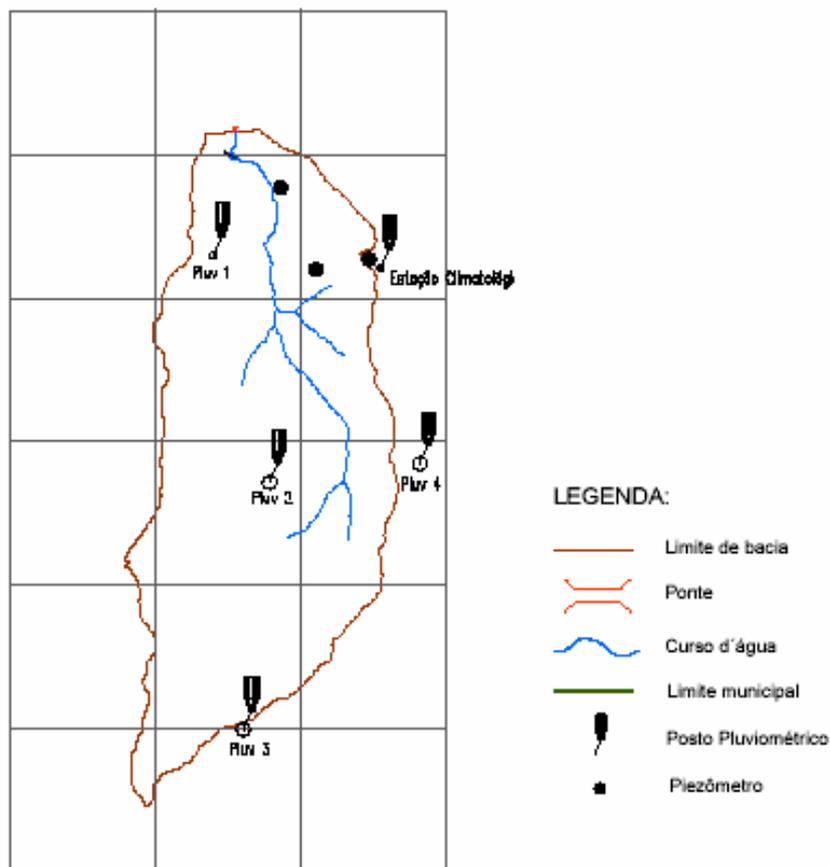


Figura 2 – Localização das estações de monitoramento hidroclimatológico na bacia experimental do riacho Guaraira, Pedras de Fogo, PB.

Na estação climatológica (apresentada na figura 3) e nas quatro estações pluviométricas a precipitação é medida ao ocorrer, automaticamente a cada minuto e a acuidade do sensor de precipitação é de 0,254 mm.



Figura 3 – Estação climatológica da bacia experimental do riacho Guaraíra, Pedras de Fogo. PB.

### 3 – METODOLOGIA

Somente valores diários do total precipitado durante o dia são registrados na maioria das estações das regiões do Brasil. No entanto, como já mencionado anteriormente, vários são os fenômenos que, na modelagem, devem ser corretamente descritos em passos de tempo inferiores ao dia. Pode-se citar a infiltração, a erosão do solo, a evapotranspiração, a diluição de poluentes e outros. A partir desses dados diários tem-se então que gerar estocasticamente os valores dos totais, da duração e da hora inicial de cada evento chuvoso durante o dia. Para isto tem-se aplicado o modelo de desagregação da precipitação proposto por Hershenhorn e Woolhiser (1987).

Hershenhorn (1984) e Hershenhorn e Woolhiser (1987) tem proposto uma metodologia para decompor o total precipitado em um dia em eventos chuvosos durante o dia. A partir dos dados diários registrados nas estações, devem ser gerados estocasticamente os valores dos totais, da duração e da hora inicial de cada evento chuvoso durante o dia. É assumido que os parâmetros do modelo apresentam, como sugerem os autores, um caráter regional.

Admite-se que  $\xi(t)$  denota um processo contínuo de precipitação em um ponto no espaço.  $\xi(t)$  poderá ser igual ou maior que zero e terá valores positivos durante intervalos de tempo aleatório.

A duração do  $n$ ésimo evento chuvoso é  $D_n = T_n^* - T_n$ . Então a precipitação durante o dia,  $\xi(t)$ , será constituída de  $n$  eventos chuvosos de duração  $D_n$  e hora inicial  $T_n$ . Os eventos chuvosos

são considerados completos quando o tempo inicial e o tempo final ocorrem no mesmo dia e incompletos quando começam em um dia e terminam no dia seguinte (figura 4).

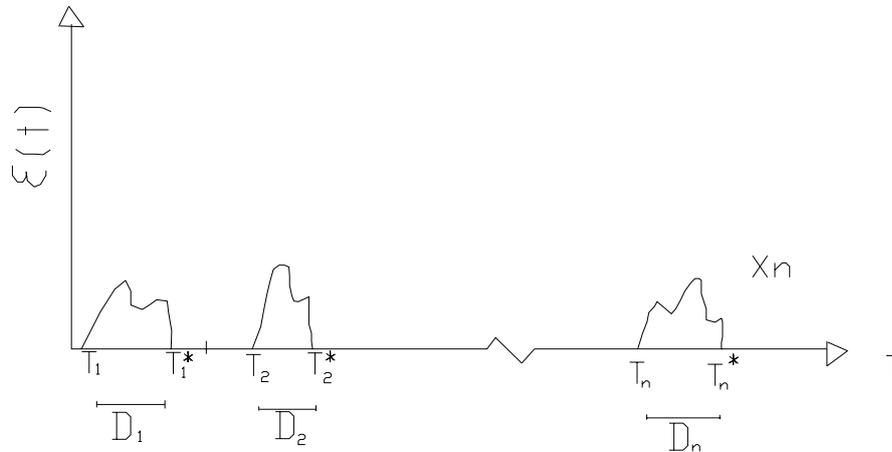


Figura 4 – Exemplo da possível função do processo de intensidade de precipitação.

Sabendo que  $K$  representa o total de eventos no dia, então  $K = N_c + N_p$ , onde  $N_c$  é o número de eventos completos e  $N_p$  o de eventos incompletos.

Sabendo que  $Z_{ij}$  representa o total precipitado em um dia  $j$  do ano  $i$ , tem-se que:

$$Z_{ij} = \int_{24(j-i)}^{24j} \xi(s) ds \quad (1)$$

Então  $Z_{ij}$ , para  $i = 1, 2, 3, \dots$  e  $j = 1, 2, 3, \dots, 365$ , representa a seqüência de entradas de precipitações diárias.

Estão associadas a cada dia chuvoso as variáveis aleatórias  $Z_{ij}$ ,  $N_{cij}$ ,  $N_{pij}$ , a lâmina  $X_k$  e a duração  $D_k$  de cada evento chuvoso completo ou incompleto durante o dia.

Consideramos que um evento chuvoso é definido como um evento onde a precipitação é superior a 1,016mm, apresentando o seu início ou o seu término separado de mais de 30 min do evento anterior ou do evento posterior respectivamente.

No período examinado, poucos eventos incompletos ocorreram e por este motivo foram desprezados nesta análise.

## 4 – RESULTADOS

O presente estudo analisou os eventos chuvosos das estações pluviométricas 01 e 02, instaladas na bacia experimental do riacho Guaraíra, em um período de observação iniciado em fevereiro de 2003 até março de 2007. Neste período de quatro anos, 578 eventos chuvosos foram registrados na estação 01, sendo 544 eventos completos e 697 na estação 02, com de 658 eventos

completos. Sabe-se que um evento completo é o evento começado e terminado no mesmo dia, sendo incompleto se o contrário ocorrer. Salienta-se ainda, que o dia, aqui considerado, para a determinação do número de eventos por dia corresponde ao período das 9 horas do dia **X** às 9 horas do dia **X+1**.

Para a estação 01 o máximo evento completo foi de 103,89mm no dia 22 de fevereiro de 2006, que não foi o de maior duração. A maior duração foi de 475 min para um evento com lâmina igual a 42,16mm. A maior intensidade foi de 2,032mm/min para um evento de 2,032mm com 1 min de duração. A precipitação média foi de 6,52mm e o desvio padrão de 9,13. Para a estação 02 o máximo evento completo foi de 108,20mm no dia 31 de janeiro de 2004 que também foi o evento de maior duração com 430 min. A intensidade máxima foi de 1,32mm/min para um evento de 6,60mm e duração de 5min. A precipitação média nessa estação foi de 6,68mm e o desvio padrão de 9,74.

Em ambas as estações a precipitação média ficou em torno de 6mm e o desvio padrão de 9,0. Esse considerável valor do desvio padrão indica uma variação relevante do total precipitado em cada evento. A maioria dos eventos ocorreu sob a forma de um único evento por dia.

Para determinação dos turnos de ocorrência dos eventos chuvosos, o dia foi considerado das 00horas do dia X às 24 horas do dia X. Determinou-se que um evento ocorreu de madrugada, quando iniciado entre 00h01min e 05h30min; pela manhã quando iniciado entre 05h31min e 11h00min; ao meio dia solar quando iniciado entre 11h01min e 14h00min; à tarde quando iniciado entre 14h01min e 17h30min; e a noite quando iniciado entre 17h31min e 24h00min.

Ambas as estações apresentaram maior incidência de chuva no período da manhã e da madrugada, com percentuais de 32,85% e 29,74% para a estação 01 e de 32,13% e 29,56% para a estação 02, respectivamente. Esses resultados são mostrados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Classificação dos eventos quanto ao horário de início, estação 01.

Horário de início	Nº eventos		Precipitação média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Precipitação máxima (mm)	Precipitação mínimo (mm)
	Nº	(%)*				
madrugada	163	29,74	6,28	6,28	62,48	1,52
manhã	180	32,85	7,61	7,62	103,89	1,52
meio dia	65	11,86	6,58	6,58	39,37	1,52
tarde	54	9,85	5,22	5,22	35,05	1,52
noite	86	15,69	4,48	4,50	21,84	1,52

Tabela 2 – Classificação dos eventos quanto ao horário de início, estação 02.

Horário de início	Nº eventos		Precipitação média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Precipitação máxima (mm)	Precipitação mínima (mm)
	Nº	(%)*				
madrugada	196	29,56	5,78	7,40	70,61	1,52
manhã	213	32,13	7,65	10,86	90,42	1,52
meio dia	69	10,41	7,58	11,33	60,20	1,52
tarde	62	9,35	5,80	5,14	24,64	1,52
noite	123	18,55	5,31	5,26	38,61	1,52

Como já mencionado acima, o dia foi considerado das 9 horas do dia X às 9 horas do dia X+1 para a determinação da ocorrência de eventos chuvosos ou não. Foram então determinados os totais diários (Z) e o número de eventos no dia. Depois, procurou-se ajustar os totais diários (Z) a uma distribuição estatística. Vale ressaltar que foram considerados apenas os totais diários (Z) para os dias em que houveram eventos completos, devido o número de eventos incompletos ter sido desprezível. Os valores dos totais diários (Z) foram corrigidos para  $Z' = Z - 0,254$  com intenção de evitar problemas com valores isolados e muitas vezes não representativos devido ao basculo acidental do sensor.

Para uma melhor visualização dos totais diários são apresentados a seguir o histograma ( figuras 5 e 6) e o resumo estatístico (tabelas 3 e 4) para as estações 01 e 02, respectivamente.

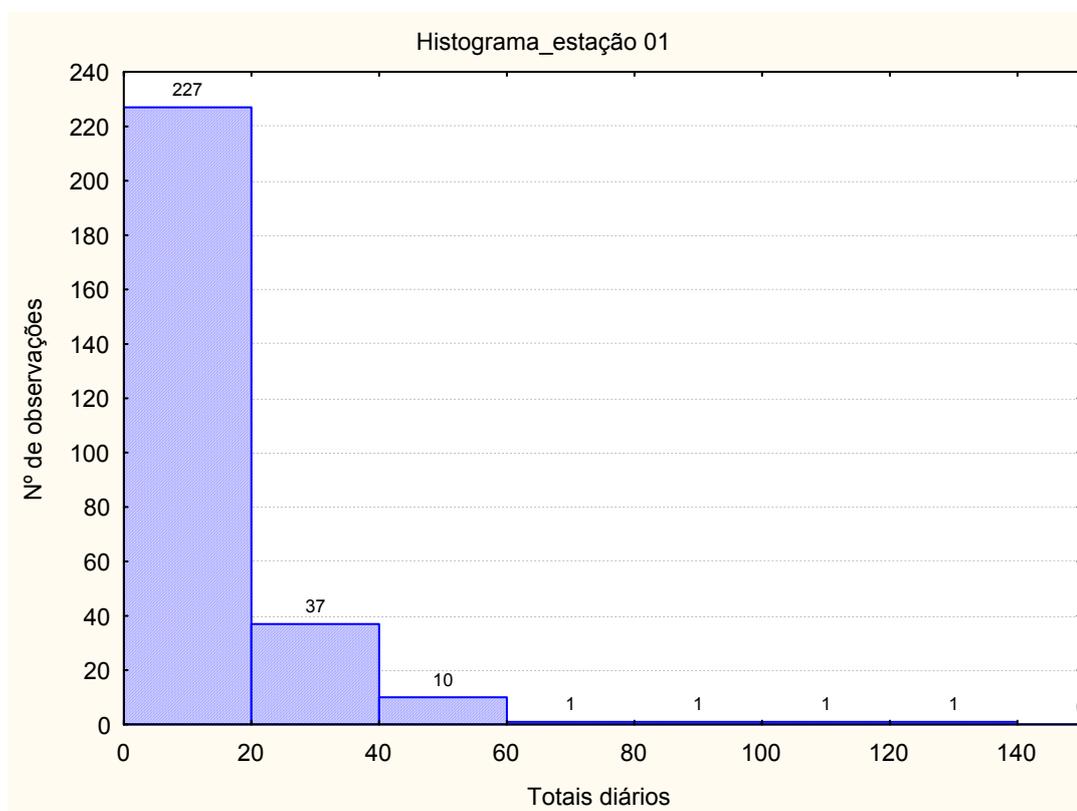


Figura 5 – Histograma dos totais diários corrigidos da estação 01.

Tabela 3 – Resumo estatístico estação 01.

Resumo estatístico	
Média	12,76
Mediana	7,62
Desvio padrão	15,58
Variância da amostra	242,80
Curtose	18,90
Assimetria	3,62
Máximo	131,06

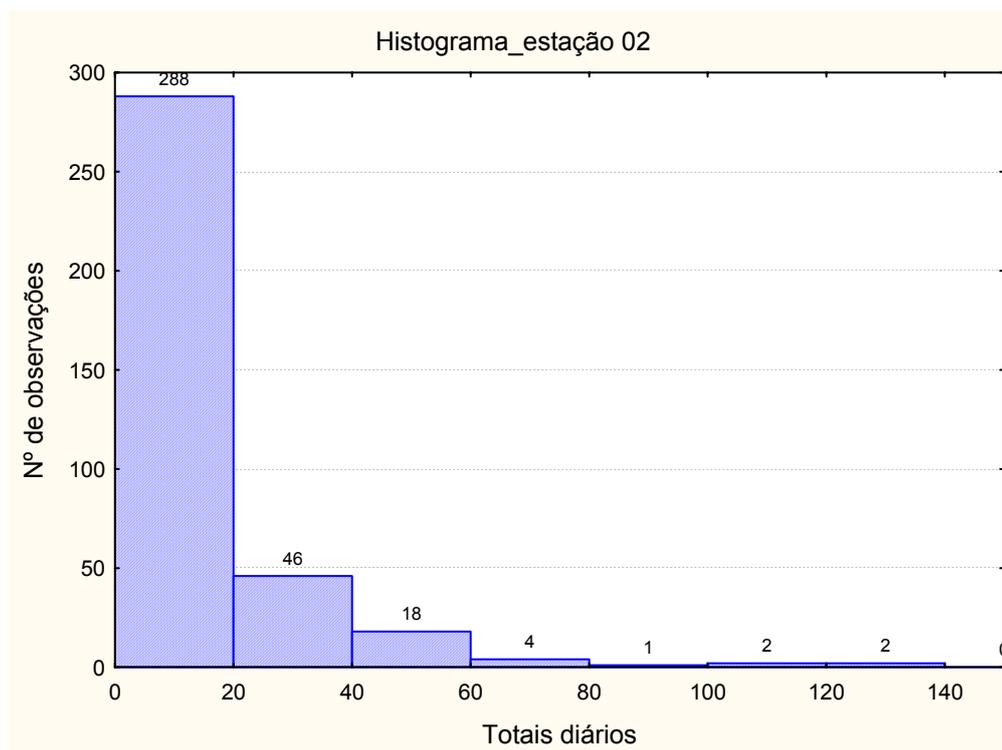


Figura 6 – Histograma dos totais diários corrigidos da estação 02.

Tabela 4 – Resumo estatístico estação 01.

<i>Resumo estatístico</i>	
Média	14,15
Mediana	7,87
Desvio padrão	18,27
Variância da amostra	333,64
Curtose	15,54
Assimetria	3,45
Máximo	136,91
Contagem	361

O melhor ajuste dos totais diários, para as duas estações, foi obtido com a lei de distribuição Lognormal.

As figuras 7 e 8 mostram o ajuste para os dados diários das estações 01 e 02, respectivamente.

A aderência à função de distribuição foi analisada através de teste realizado pelos métodos do Qui quadrado e Kolmogorov-Sminorv. As condições de aceitação do ajuste para ambos os testes foram atendidas. Para o método do qui quadrado ( $X^2$ ),  $X^2_{\text{crítico}} > X^2_{\text{calculado}}$  e para o método de Kolmogorov-Sminorv,  $d_{\text{crítico}} > d_{\text{calculado}}$ , considerando o nível de significância a 5%.

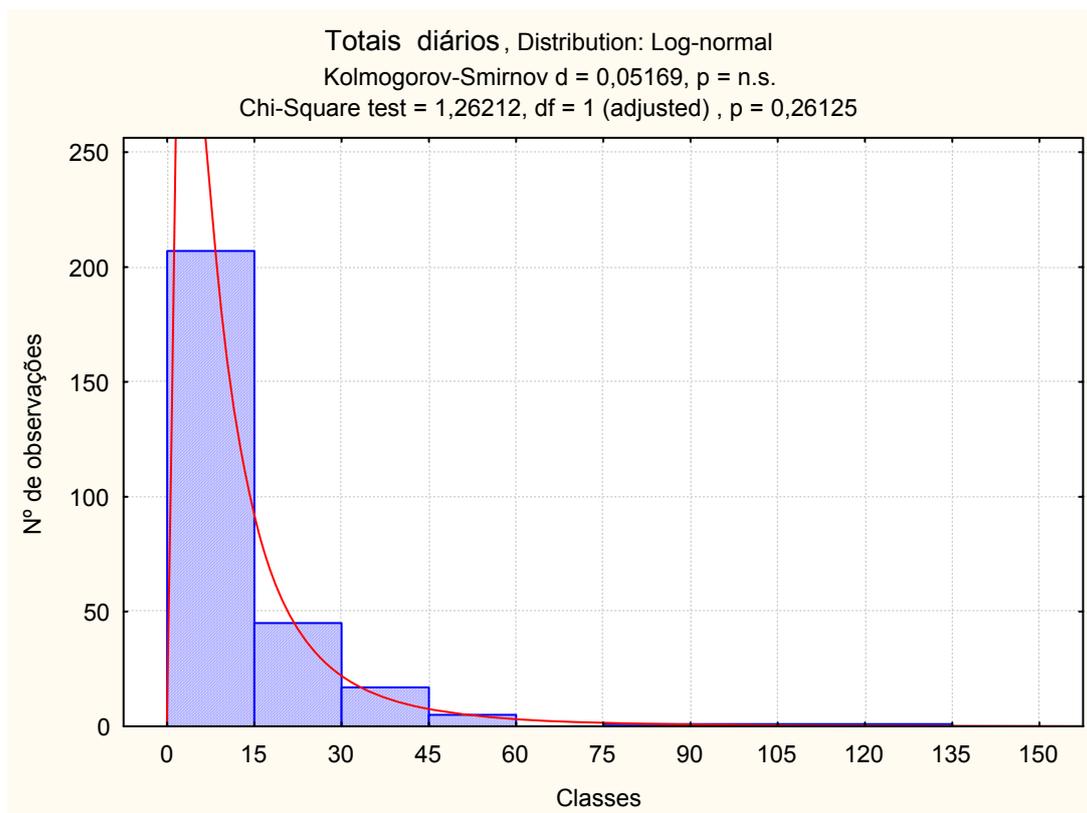


Figura 7 - Distribuição log-normal para os totais diários precipitados da estação 01.

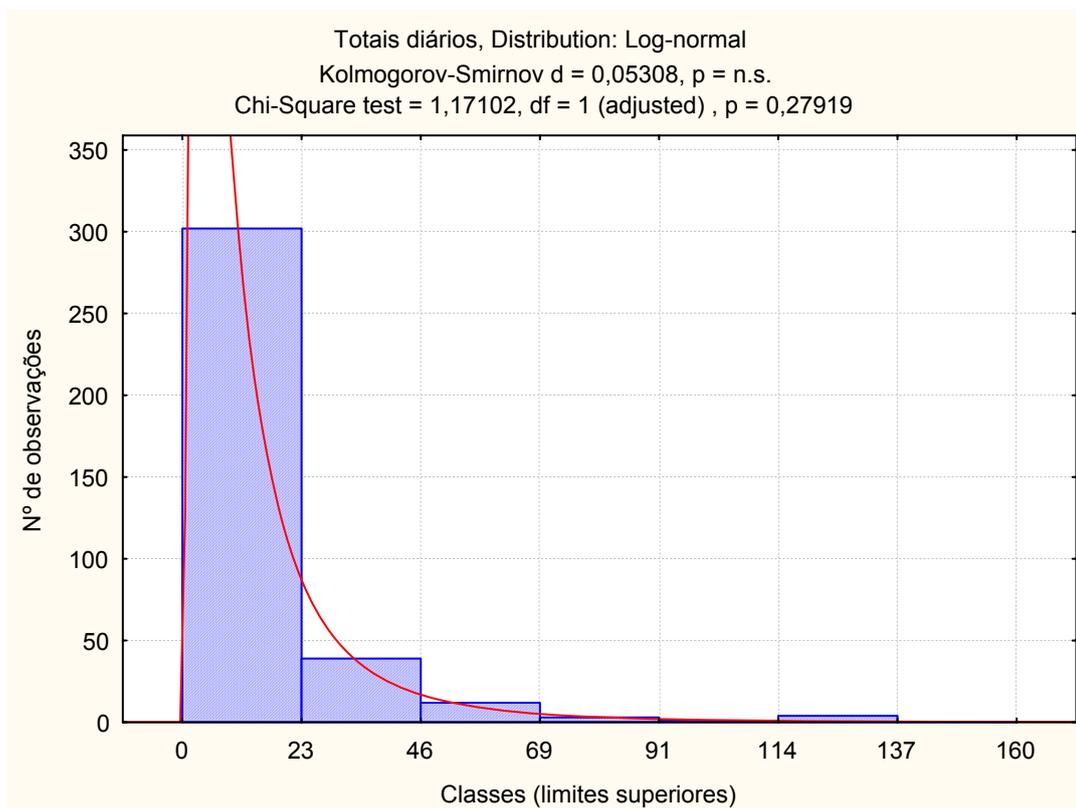


Figura 8 - Distribuição log-normal para os totais diários precipitados da estação 02.

Após determinado o ajuste dos totais diários a uma distribuição, estes foram divididos em classes, as quais representam os seguintes intervalos de probabilidade de ocorrência: classe 1,  $P \leq 20\%$ ; classe 2,  $20\% < P \leq 50\%$ ; classe 3,  $50\% < P \leq 70\%$ ; classe 4,  $70\% < P \leq 90\%$ , e classe 5,  $P > 90\%$ . Assim, em cada classe, tentou-se ajustar os números de eventos dos respectivos totais diários a uma função de distribuição discreta. O ajuste mais razoável foi conseguido com a distribuição binomial. As tabelas a seguir (tabelas 5 e 6) mostram os intervalos das classes, a distribuição que melhor se ajustou ao número de eventos, as condições de cada um dos testes que foram utilizados e o teste pelo qual o ajuste foi aceito (assinalado com um X), para as estações 01 e 02. Os gráficos que ilustram esses ajustes, para as classes 2, 3, 4 e 5, são apresentados nas figuras 9, 10, 11, 12 para a estação 01 e nas figuras 13, 14, 15, 16 para a estação 02.

Tabela 5 – Dados do ajuste do número diário de eventos chuvosos a uma distribuição discreta – estação 01.

Tabela_ estação 01							
Classe	Intervalo	Dist. ajustada	Valores críticos do teste $\alpha = 5\%$			Teste de aderência	
			Grau de liberdade do $(X^2)$	$(X^2)$	Kolm.-Smin.	$(X^2)$	Kolm.-Smin.
-	(Z - totais diários em mm)	-	-	-	-	-	-
1 <sup>a</sup>	$Z \leq 3,48$	-	-	-	-	-	-
2 <sup>a</sup>	$3,48 < Z \leq 7,86$	binomial	2	5,99	0,1521	-	-
3 <sup>a</sup>	$7,86 < Z \leq 13,06$	binomial	1	3,84	0,1904	X	-
4 <sup>a</sup>	$13,06 < Z \leq 27,18$	binomial	1	3,84	0,1851	X	-
5 <sup>a</sup>	$Z \geq 27,18$	binomial	2	5,99	0,2443	X	X

Tabela 6 – Dados do ajuste do número diário de eventos chuvosos a uma distribuição discreta – estação 02.

Tabela_ estação 02							
Classe	Intervalo (Z-totais diários em mm)	Dist. ajustada	Valores críticos do teste $\alpha = 5\%$			Teste de aderência	
			Grau de liberdade ( $X^2$ )	( $X^2$ )	Kolm.-Smin.	( $X^2$ )	Kolm.-Smin.
1 <sup>a</sup>	$Z \leq 3,63$	-	-	-	-	-	-
2 <sup>a</sup>	$3,63 < Z \leq 8,38$	Binomial	2	5,99	0,1309	-	-
3 <sup>a</sup>	$8,38 < Z \leq 14,12$	Binomial	1	3,84	0,1727	X	-
4 <sup>a</sup>	$14,12 < Z \leq 29,96$	Binomial	2	5,99	0,1868	X	-
5 <sup>a</sup>	$Z > 29,96$	Binomial	1	3,84	0,2236	X	-

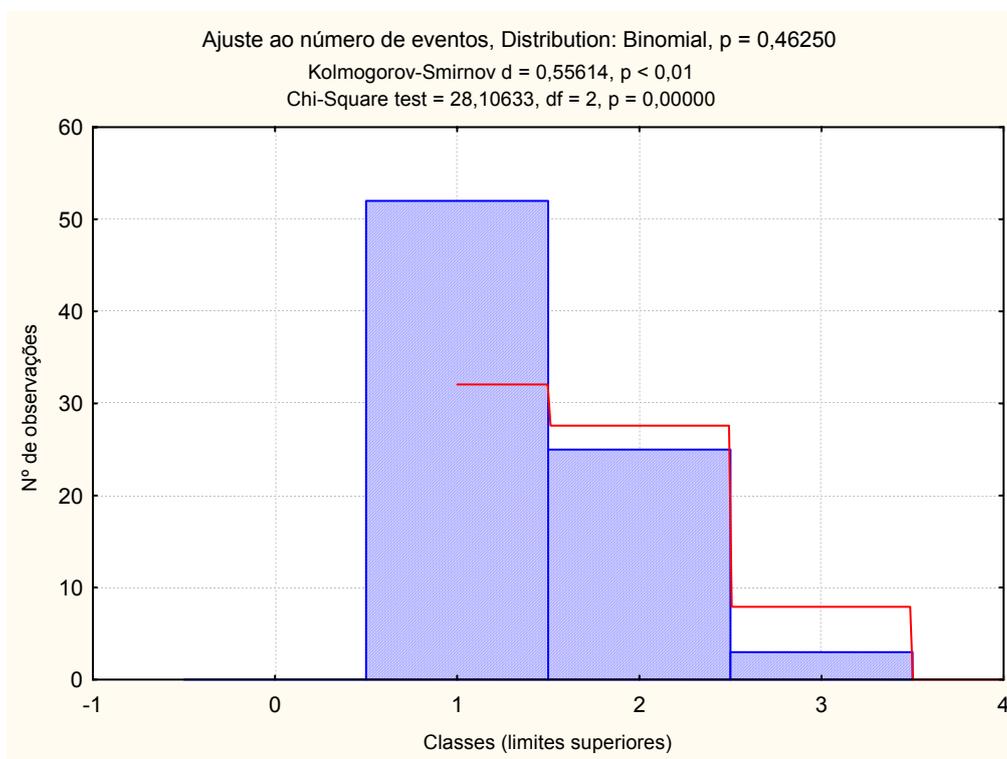


Figura 9 – Ajuste a distribuição binomial do número de eventos – classe 2 – estação 01.

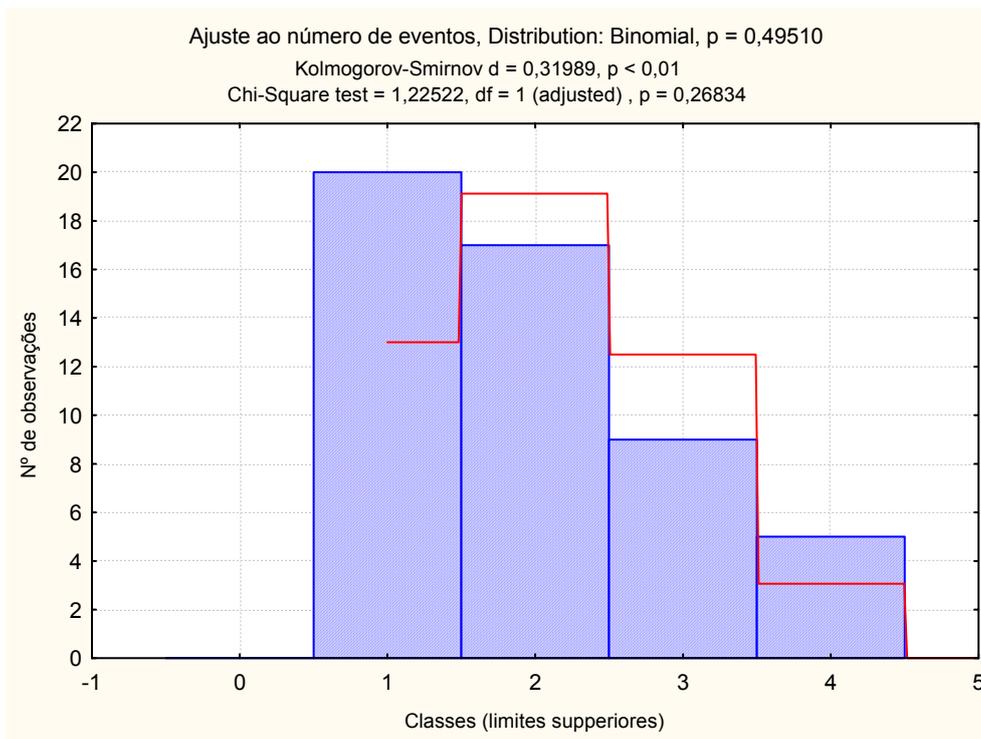


Figura 10– Ajuste a distribuição binomial do número de eventos – classe 3 - estação 01.

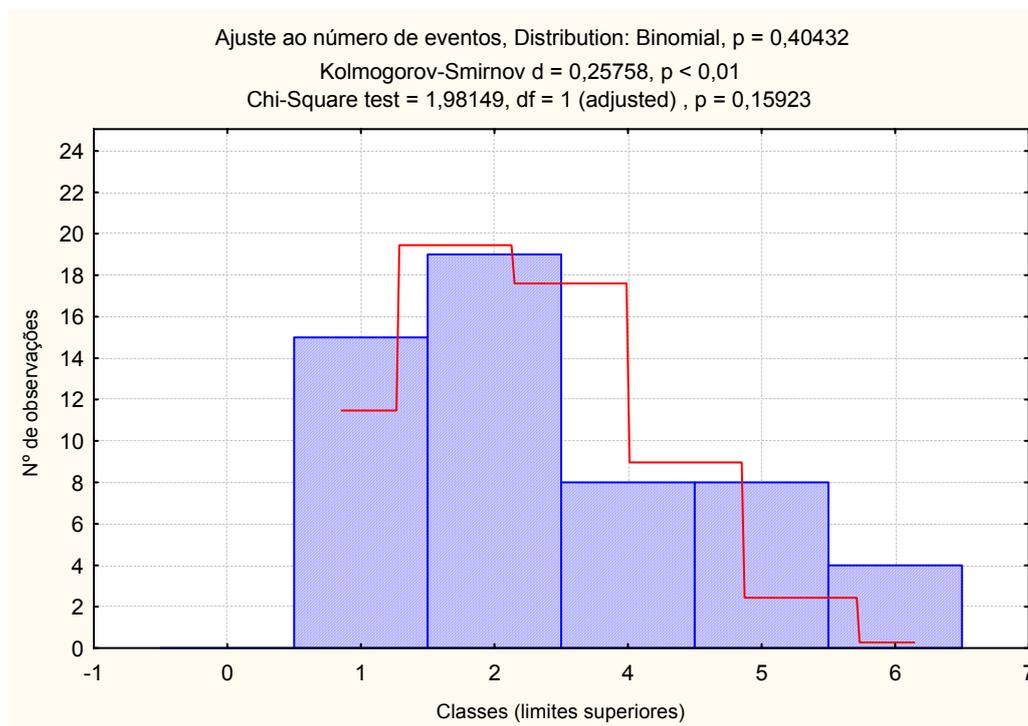


Figura 11– Ajuste a distribuição binomial do número de eventos – classe 4 - estação 01.

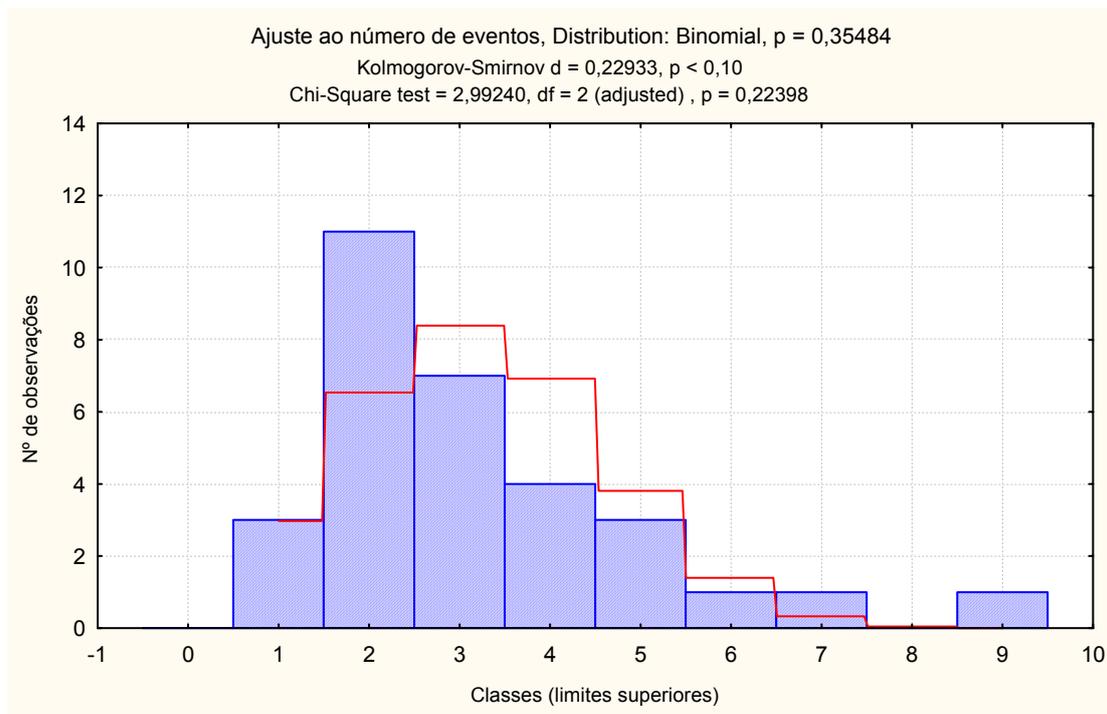


Figura 12 – Ajuste a distribuição binomial do número de eventos – classe 5 - estação 01.

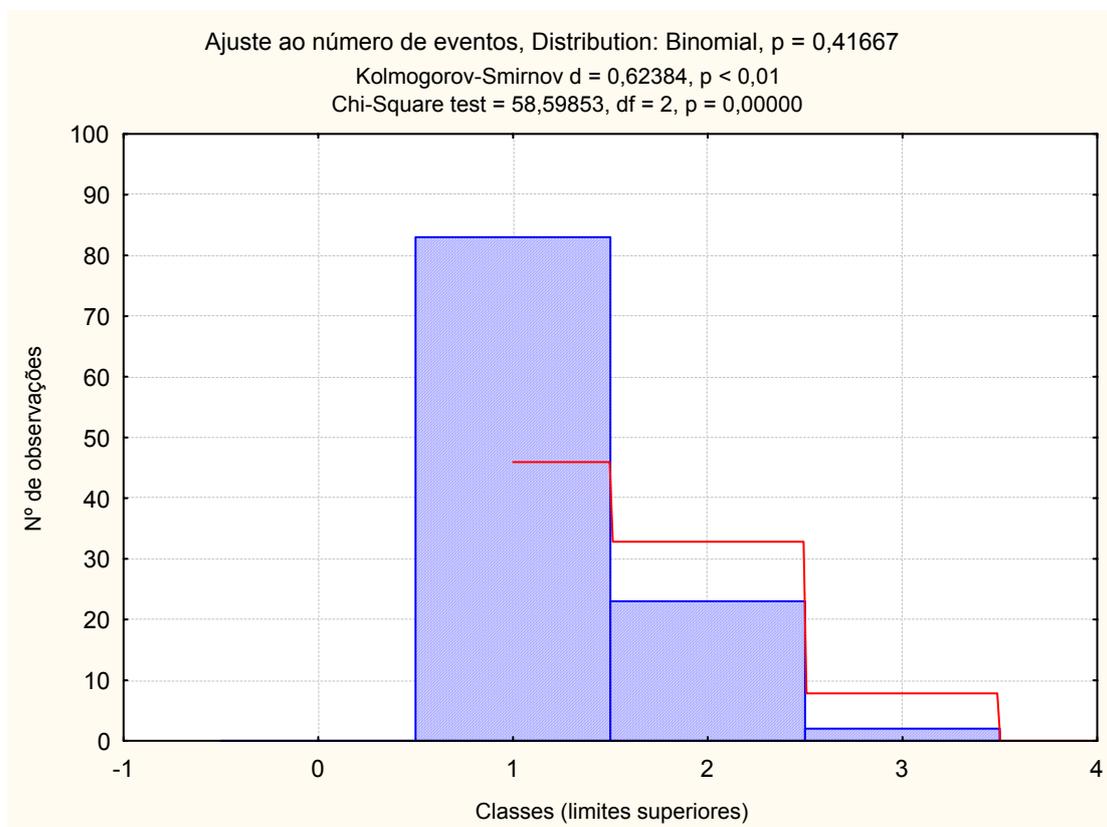


Figura 13 – Ajuste a distribuição binomial do número de eventos – classe 2 – estação 02.

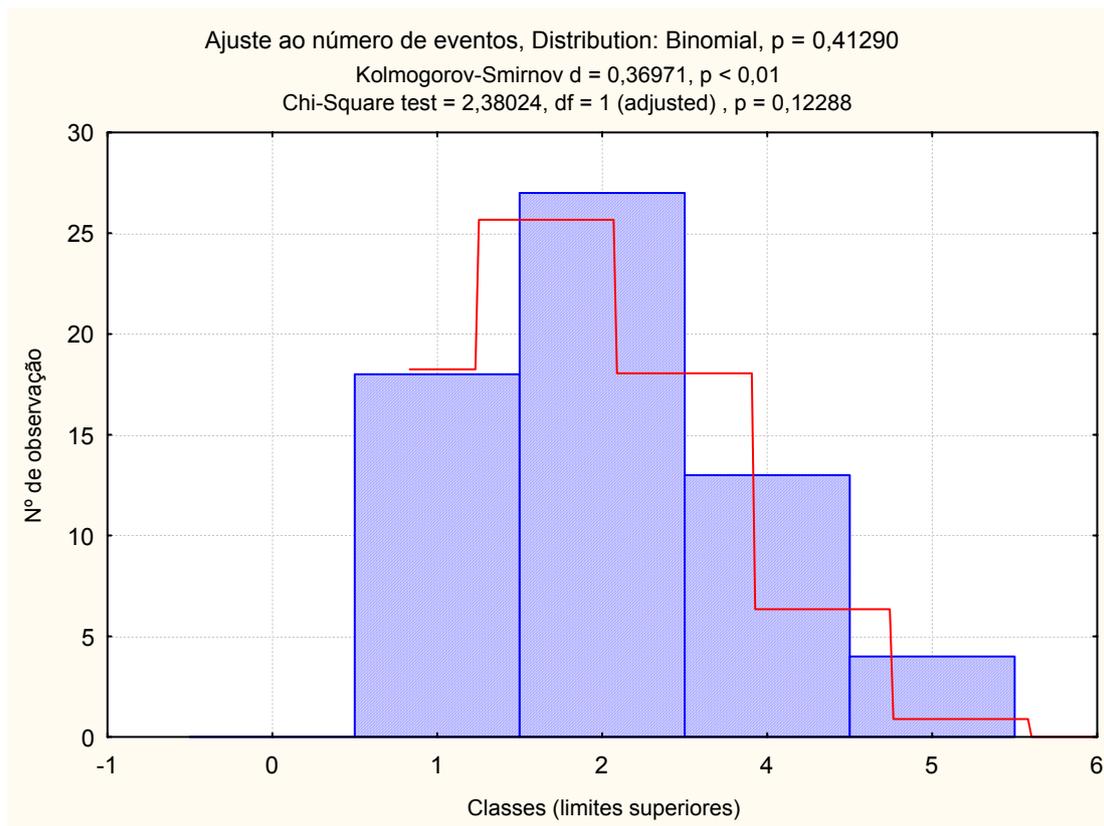


Figura 14 – Ajuste a distribuição binomial do número de eventos – classe 3 - estação 02.

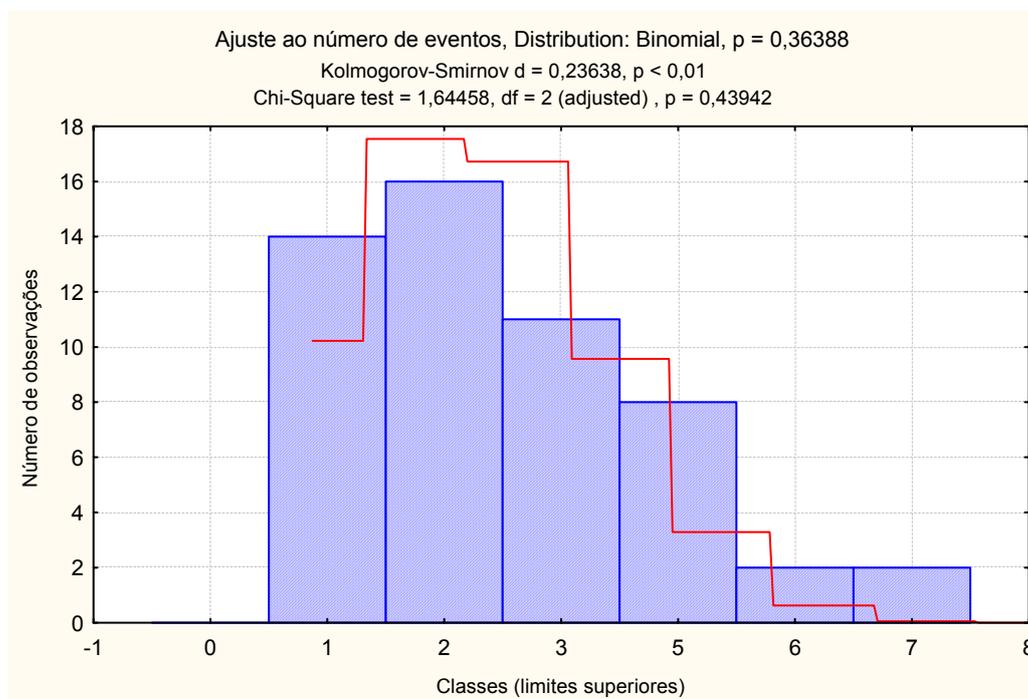


Figura 15 – Ajuste a distribuição binomial do número de eventos – classe 4 - estação 02.

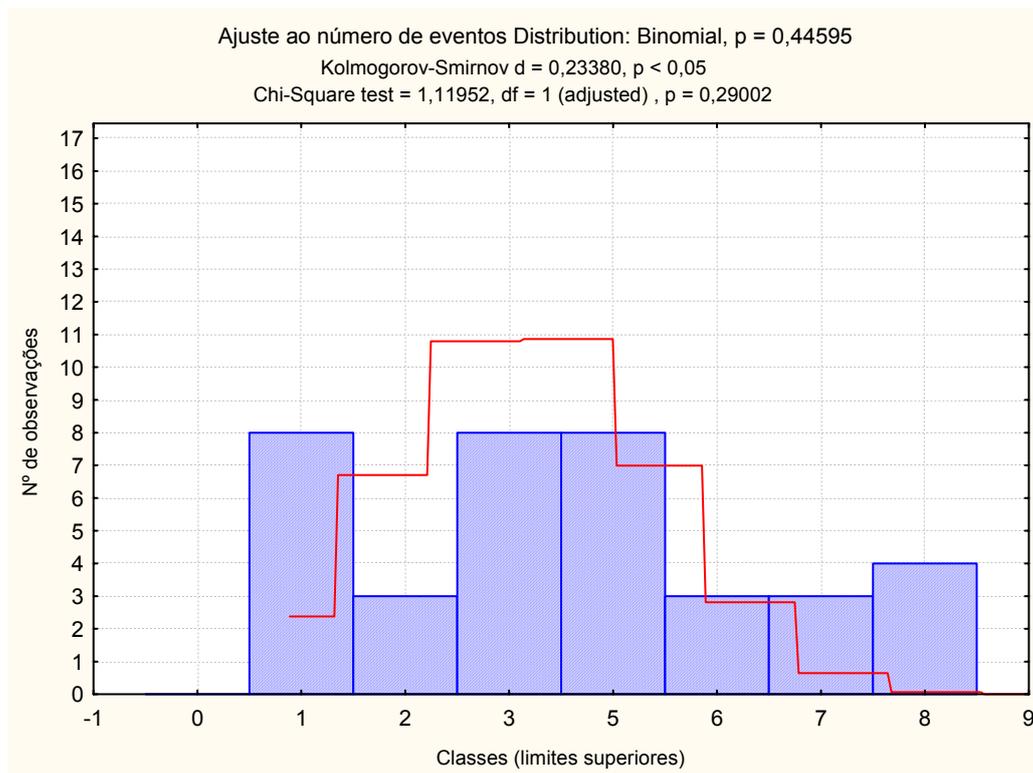


Figura 16 – Ajuste a distribuição binomial do número de eventos – classe 5 - estação 02.

Deve ser percebido que não foi mostrado ajuste para a classe 1 em ambas as estações. Isso se deve ao fato de que a classe 1 ( $P \leq 20\%$ ), para as duas estações, cujos intervalos são  $Z \leq 3,48$  e  $Z \leq 3,63$ , apresentaram apenas 1% e 3% dos dias, com o número de eventos maior que 1. Definiu-se então que para valores de totais diários dentro da classe de probabilidade inferior a 20% ocorre apenas um evento chuvoso.

## 5 – CONCLUSÕES

A maior parte dos eventos chuvosos é representada por eventos de pequena magnitude, sendo a maioria ocorrida durante a madrugada ou pela manhã e ainda, na maioria dos dias chuvosos ocorre apenas um evento.

O ajuste feito para os totais diários precipitados, em ambas as estações estudadas foi considerado um bom ajuste para a distribuição log-normal com base nos testes de Kolmogorov-Smirnov e do  $X^2$ . Para os dias com maiores precipitações, o número de eventos chuvosos ajustou-se corretamente a uma função de distribuição binomial, pelo teste do  $X^2$  e ainda para a classe 5 da estação 01 também pelo teste de Kolmogorov Smirnov. Porém, para as classes que correspondem a menores precipitações diárias, ambos os testes indicaram uma rejeição ao ajuste a uma função de distribuição binomial. Nenhuma outra função de distribuição discreta se ajustou corretamente. Desta forma os autores pensam que a dependência do número de eventos chuvosos com o total

diário precipitado merece maiores investigações, já que a maioria dos eventos chuvosos registrados é de pequeno porte.

## BIBLIOGRAFIA

AFOUDA, A.; BOUCHEZ, J. M.; BRAUD, I.; CAZENAVE, F.; DEPRETRE, C.; DESSAY, N.; DIEDHIOU, A.; GALLE, S.; GOSSET, H.; HAVERKAMP, R.; LAURENT, H.; LE BARBÉ, L.; LEBEL, T.; MESSEGER, C.; ONIBON, H.; REGGIANI, P. (2001). “*Variabilité climatique et variabilité hydrologique en Afrique de l’ouest. Atelier sur le couplage des modèles atmosphériques et hydrologiques*”, Toulouse – França, Dez. 2001, 3 – 5.

HERSHENHORN, J., 1984. *Disaggregation of daily rainfall*. M.S. Thesis, Univ. of Arizona, Tucson, 176p.

HERSHENHORN, J. S.; WOOLHISER, D. A. (1987). “*Disaggregation of daily rainfall*”. *Journal of Hydrology*, 95: 299-322.

LIRA, G. A. R.; PASSERAT DE SILANS, A. M. B.; PEDROSA FILHO, L.; ALMEIDA, C. N.; LEITE, E. P.; SILVA, T. C. da; FILHO, S. V.; MOURA, E. M.; SOUSA, E. E.; SILVA, L. D. (2003). “*Bacia experimental do rio Guaraíra: implantação e primeiros resultados*”. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, 2003.

RODRIGUEZ-ITURBE, I., D.R. COX, V.S. ISHAM, 1987. *Some models of rainfall based on stochastic point processes*. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A: Mathematical and Physical Sciences*, Vol. 410, p. 269-288.

RODRIGUEZ-ITURBE, I., D.R. COX, V.S. ISHAM, 1988. *A point process model for rainfall: further developments*. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A: Mathematical and Physical Sciences*, Vol. 417, p. 283-298.