

# Ocorrência de Aguaceiros de Altura Excepcional em Piracicaba

LUIZ CARLOS SCOTON \*

VIVALDO FRANCISCO DA CRUZ \*

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da frequência e da época mais provável de ocorrência de aguaceiros fortes ou de chuvas contínuas numa região é útil para a agricultura e para a engenharia. Assim, para o estabelecimento de planos de conservação de solos, projetos para correção torrencial, construção de redes de esgotos e de pontes, essas informações são de alto valor.

O objetivo deste trabalho é calcular a probabilidade de ocorrência de aguaceiros diários, de altura excepcional, no Município de Piracicaba, Estado de São Paulo. Foram considerados de altura excepcional os aguaceiros de altura igual ou superior a 50 mm, referentes a um período de 24 horas.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

Usaram-se os dados de precipitação pluvial correspondente ao período de 1903 a 1965, obtidos no Posto Meteoro-Agrário da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", situada em Piracicaba, Estado de São Paulo. A partir desses dados construiu-se o Quadro 1.

---

\* Bolsistas da FAPESP junto à Cadeira de Matemática e Estatística da E. S. A. "Luiz de Queiroz"; (Catedrático: prof. dr. Frederico Pimentel Gomes) alunos do 5.º Ano do Curso de Engenharia-Agrônomo. Os autores agradecem à Cadeira de Física e Meteorologia da ESALQ, pela concessão dos dados de precipitação pluvial.

ANOS	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	ANO
1903			2									2	4
1904		2									1	3	6
1905					1						1		2
1906	1	1	1								1		4
1907		2		1					1		1		5
1908	1	1											2
1909		1								2			3
1910	3												3
1911												3	3
1912	1		1		1				1		2	2	8
1913	3					3					1		7
1914	3										1	1	5
1915	2					1					1	1	5
1916					1							1	2
1917	2											1	3
1918	1		1									1	3
1919						1						1	2
1920			1								1		2
1921												1	1
1922	1												1
1923			2		1				1				4
1924		1	1									1	3
1925										1			1
1926				2			1					3	6
1927		1							2				3
1928											1		1
1929	3	1										2	6
1930		4										2	6
1931	2	2											4
1932	1											1	2
1933		1										1	2
1934	1											2	3
1935			1										1
1936		1										1	2
1937				2									2
1938											1	2	3
1939		2	1		1							1	5
1940		1	1										2
1941	2									1	1		4
1942		1									1		2
1943	1		1								1	2	5
1944			1								1	1	3
1945	3	1		1		1					1	1	8
1946	1	1											2
1947	1	2											4
1948													0
1949	1											2	3
1950	1	1											2
1951	1										2		3
1952		1											1
1953	1											1	2
1954		1										1	2
1955			2									1	3
1956													0
1957	2											1	3
1958	1				1	1							3
1959											1		1
1960	2	2										4	8
1961			1	1									2
1962		1	2									1	4
1963												2	2
1964													0
1965	1		1									3	5
Total	43	32	20	7	6	7	1	0	5	4	20	54	199

Quadro 1. Ocorrência mensal e anual de aguaceiros diários de altura  $h \geq 50$  mm, em Piracicaba, no período de 1903 a 1965 (Os números da tabela acima indicam o número de vezes que ocorre o aguaceiro de altura excepcional).

Observa-se que a probabilidade de ocorrência é pequena; pode-se, pois, considerar o número de ocorrências como uma variável casual que segue a distribuição de Poisson.

Para o cálculo das probabilidades utilizou-se a distribuição de Poisson:

$$P(x) = \frac{e^{-m} m^x}{x!}$$

onde  $m$  é a média das frequências observadas nos 63 anos em estudo e  $x$  é o número de ocorrências no período de tempo considerado.

### 3. RESULTADOS

A distribuição mensal e anual dos aguaceiros diários de altura excepcional, correspondente aos anos compreendidos entre 1903 e 1965 inclusive, se encontra no quadro abaixo (Quadro 2).

N.º de Aguaceiros	Frequências observadas nos meses												Nos 63 anos
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maió	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
0	36	40	47	58	57	58	62	63	59	60	45	29	3
1	16	16	12	3	6	4	1	0	3	2	16	20	7
2	6	6	4	2	0	0	0	0	1	1	2	9	17
3	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	15
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Total	43	32	20	7	6	7	1	0	5	4	20	54	199

**Quadro 2.** Distribuição mensal e anual dos aguaceiros de altura ecepcional em Piracicaba, referentes ao período de 1903 a 1965.

#### 3.1. Ocorrência Anual

Nos 63 anos em estudo, ocorreram 199 aguaceiros de altura excepcional. Logo, a média anual é de aproximadamente 3,16. O cálculo das probabilidades foi feito com base em tabelas (PEARSON & HARTLEY, 1956). Os resultados obtidos se encontram no Quadro 3.

Valores da Variável	Frequências		Probabilidade P%
	Observada	Esperada	
0	3	2,676	4,2477
1	7	8,450	13,4125
2	17	13,344	21,1806
3	15	14,052	22,3040
4	7	11,100	17,6193
5	6	7,017	11,1378
6	4	3,697	5,8685
7	1	1,670	2,6510
8	3	0,660	1,0481
9	0	0,232	0,3684
10	0	0,0735	0,1166
11	0	0,0212	0,0336
12	0	0,0055	0,0088
13	0	0,0014	0,0022
14	0	0,00031	0,0005
15	0	0,00006	0,0001

**Quadro 3.** Ocorrência de aguaceiros diários de altura  $h \geq 50$  mm durante 63 anos (1903 a 1965), no Município de Piracicaba.

A verificação da compatibilidade dos dados com a distribuição de Poisson pode ser feita pelo teste de  $\chi^2$ , observando-se as restrições mencionadas por PIMENTEL GOMES (1966).

- Frequência esperada mínima não inferior a 1 (um).
- Frequência esperada menor do que 5 só em poucos casos.

Para satisfazer a primeira restrição, juntaram-se as últimas 9 classes do Quadro 3.

$$\chi^2 = \frac{(3 - 2,676)^2}{2,676} + \frac{(7 - 8,450)^2}{8,450} + \frac{(17 - 13,344)^2}{13,344} + \frac{(15 - 14,052)^2}{14,052} \\ + \frac{(7 - 11,100)^2}{11,100} + \frac{(6 - 7,017)^2}{7,017} + \frac{(4 - 3,697)^2}{3,697} + \frac{(4 - 2,66397)^2}{2,66397}$$

$$\chi^2 = 3,71$$

Para 6 graus de liberdade os limites são os seguintes:

Nível de 1% de probabilidade	16,81
Nível de 5% de probabilidade	12,59
Nível de 20% de probabilidade	8,56

Verifica-se, pois, a validade da hipótese feita (isto é, os dados seguem a distribuição de Poisson).

Os valores do Quadro 3 permitem concluir que a probabilidade de ocorrer um ou mais aguaceiros de altura excepcional durante o ano é igual a 95,75%.

$$P(x \geq 1) = 95,75\%$$

Dos dados do Quadro 3 tira-se, ainda:

$$P(x \leq 6) = 95,77\%$$

### 3.2. Ocorrência no Bimestre Janeiro-Fevereiro

Os dados correspondentes ao mês de janeiro não se ajustaram na distribuição de Poisson, pois o  $\chi^2$  foi igual a 6,69, com 2 graus de liberdade. O mês de fevereiro apresentou dados que se ajustaram muito bem na distribuição de Poisson. Preferiu-se, então, juntar os dados dos dois meses mencionados e ajustá-los na distribuição de Poisson. Nesse período ocorreu 1,19 aguaceiro de altura excepcional por bimestre, em média. A média para o mês de janeiro foi de 0,68 aguaceiro; para o mês de fevereiro, 0,51 aguaceiro de altura excepcional. Os números encontrados acham-se no Quadro 4.

Valores da Variável	Frequências		Probabilidade P%
	Observada	Esperada	
0	22	19,175	30,4363
1	21	22,800	36,1906
2	11	13,565	21,5313
3	4	5,384	8,5454
4	5	1,603	2,5451
5	0	0,382	0,6068
6	0	0,0760	0,1206
7	0	0,0129	0,0205
8	0	0,0019	0,0030
9	0	0,00025	0,0004
10	0	0,00006	0,0001

**Quadro 4.** Ocorrência de aguaceiros de altura  $h \geq 50$  mm no bimestre janeiro-fevereiro entre os anos de 1903 a 1965.

O valor de  $\chi^2$  foi de 5,52, com 3 graus de liberdade. Portanto, o ajustamento está aceitável.

A probabilidade de ocorrer pelo menos um aguaceiro excepcional é de 69,56%.

$$P(x \geq 1) = 69,56\%$$

Do Quadro 4 tira-se, também:

$$P(x \leq 3) = 96,70\%$$

### 3.3. Ocorrência no Mês de Março

A média para o mês de março, referente aos 63 anos em estudo, é 0,32. Os dados desse mês se ajustaram muito bem na distribuição de Poisson, pois achou-se  $\chi^2 = 1,19$ , com 1 grau de liberdade. Os resultados estão no Quadro 5.

Valores da Variável	Frequências		Probabilidade P%
	Observada	Esperada	
0	47	45,783	72,6718
1	12	14,580	23,1422
2	4	2,356	3,7395
3	0	0,258	0,4097
4	0	0,0216	0,0343
5	0	0,00145	0,0023
6	0	0,00013	0,0002

**Quadro 5.** Ocorrência de aguaceiros de altura  $h \geq 50$  mm no mês de março, entre os anos de 1903 a 1965.

A probabilidade de que ocorra pelo menos um aguaceiro de altura excepcional, no mês de março, é de 27,33%.

$$P(x \geq 1) = 27,33\%$$

Da observação dos dados do Quadro 5, tira-se também:

$$P(x \leq 1) = 95,82\%$$

### 3.4. Ocorrência no Bimestre Abril-Maio

Os dados referentes aos 63 bimestres abril-maio se ajustaram muito bem na distribuição de Poisson. O valor de  $\chi^2$  foi 0,77, com 1 grau de liberdade. Os resultados estão no Quadro 6.

Valores da Variável	Frequências		Probabilidade P%
	Observada	Esperada	
0	52	41,089	81,0940
1	9	10,685	16,9596
2	2	1,138	1,8071
3	0	0,0829	0,1316
4	0	0,00466	0,0074
5	0	0,00019	0,0003

**Quadro 6.** Ocorrência de aguaceiros de altura  $h \geq 50$  mm no bimestre abril-maio, entre os anos de 1903 a 1965.

A probabilidade de ocorrência de pelo menos um aguaceiro de altura excepcional é de 18,91%.

$$P(x \geq 1) = 18,91\%$$

Pode-se observar também que

$$P(x \leq 1) = 98,05\%$$

No bimestre abril-maio a média foi de 0,21. No mês de abril, ocorreu a média de 0,11; em maio, a média foi 0,10.

### 3.5. Ocorrência nos Meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro

Nos meses de junho, julho, agosto e setembro é rara a ocorrência de aguaceiros de altura excepcional. No mês de julho, nos 63 anos estudados, ocorreu apenas uma queda de altura excepcional; e no mês de agosto, não houve ocorrência. Preferiu-se então reunir os meses de junho, julho, agosto e setembro num período apenas. O ajustamento dos dados com distribuição de Poisson é aceitável porque  $\chi^2 = 1,33$ , com 1 grau de liberdade. Os dados referentes a esse período se encontram no Quadro 7.

Valores da Variável	Frequências		Probabilidade P%
	Observada	Esperada	
0	53	51,089	81,0940
1	8	10,685	16,9596
2	1	1,138	1,8071
3	1	0,0829	0,1316
4	0	0,00466	0,0074
5	0	0,00019	0,0003

**Quadro 7.** Ocorrência de aguaceiros de altura  $h \geq 50$  mm no quadrimestre junho-julho-agosto-setembro, entre os anos de 1903 e 1965.

No quadrimestre em aprêço a probabilidade de ocorrer pelo menos um aguaceiro de altura excepcional é de 18,91%.

$$P(x \geq 1) = 18,91\%$$

Tem-se ainda que:

$$P(x \leq 1) = 98,05\%$$

Observa-se que o número de ocorrências referente ao quadrimestre junho-julho-agosto-setembro é o mesmo do bimestre abril-maio, ou seja, ambos foram iguais a 13. Devido a isso, as probabilidades para os diferentes valores da variável também resultaram iguais para os dois períodos.

No quadrimestre estudado ocorreu uma média de 0,21 aguaceiro. No mês de junho a média foi de 0,11; em julho, 0,016; em agosto, zero; em setembro, 0,08 aguaceiro de altura excepcional.

### 3.6. Ocorrência no Bimestre Outubro-Novembro

Os dados referentes ao bimestre outubro-novembro se ajustaram muito bem na distribuição de Poisson. Encontrou-se  $\chi^2 = 0,06$ , com 1 grau de liberdade. Nos 63 bimestres ocorreram 24 aguaceiros excepcionais.

Valores da Variável	Frequências		Probabilidade P%
	Observada	Esperada	
0	43	43,118	68,4420
1	16	16,314	25,8948
2	4	3,123	4,9568
3	0	0,402	0,6387
4	0	0,0392	0,0622
5	0	0,00309	0,0049
6	0	0,00019	0,0003

**Quadro 8.** Ocorrência de aguaceiros de altura  $h \geq 50$  mm no bimestre outubro-novembro, entre os anos de 1903 e 1965.

A probabilidade de que pelo menos um aguaceiro de altura excepcional ocorra nesse bimestre é de 31,56%.

$$P(x \geq 1) = 31,56\%$$

No Quadro 8 tem-se, também:

$$P(x \leq 2) = 99,29\%$$

No período considerado ocorreu uma média de 0,38 aguaceiro por bimestre. Em outubro ocorreu a média de 0,06, e no mês de novembro, ocorreu a média de 0,32.

### 3.7. Ocorrência no Mês de Dezembro

Nos 63 meses de dezembro, ocorreram 54 aguaceiros de altura excepcional. O ajustamento dos dados na distribuição de Poisson foi bom, pois achou-se  $\chi^2 = 1,21$ , com 3 graus de liberdade. Os números obtidos estão no Quadro 9.

Valores da Variável	Frequências		Probabilidade P%
	Observada	Esperada	
0	29	26,691	42,3673
1	20	22,890	36,3332
2	9	9,848	15,6311
3	4	2,833	4,4976
4	1	0,613	0,9737
5	0	0,107	0,1691
6	0	0,0155	0,0246
7	0	0,00195	0,0031
8	0	0,00019	0,0003

**Quadro 9.** Ocorrência de aguaceiros diários de altura  $h \geq 50$  mm no mês de dezembro, entre os anos de 1903 e 1965.

A probabilidade de que ocorra pelo menos um aguaceiro de altura excepcional no mês de dezembro é de 57,63%.

$$P(x \geq 1) = 57,63\%$$

Pode-se ainda concluir, dos dados do Quadro 9, que a probabilidade do número de aguaceiros estar compreendido entre 0 e 3 é de 98,83%.

$$P(x \leq 3) = 98,83\%$$

Nos 63 anos em estudo, ocorreu uma média de 0,86 aguaceiro de altura excepcional em cada mês de dezembro.

### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o fim de estudar a ocorrência de aguaceiros diários, de altura  $h \geq 50$  mm, tomou-se os dados de precipitação pluvial, referentes aos anos compreendidos entre 1903 e 1965 inclusive, de Piracicaba.

As frequências anuais observadas seguem a distribuição de Poisson, o que permitiu a determinação das probabilidades de ocorrência de aguaceiros de altura excepcional.

Os dados referentes ao bimestre janeiro-fevereiro, ao mês de março, ao bimestre abril-maio, ao bimestre outubro-novembro e ao mês de dezembro também se adaptam bem na distribuição de Poisson.

Por ser rara a ocorrência de aguaceiros de altura  $h \geq 50$  mm nos meses de junho, julho, agosto e setembro, reuniu-se os dados referentes a esses 4 meses num só período; o ajuste com a distribuição de Poisson é aceitável, o que permitiu o cálculo das probabilidades de ocorrência.

Foram obtidas as seguintes conclusões:

a) As probabilidades de ocorrência de pelo menos um aguaceiro diário de altura  $h \geq 50$  mm são as indicadas no próximo quadro:

PERÍODO	Média do Período	Probabilidade $P(x \geq 1)$
Janeiro-fevereiro	1,19	69,56%
Março	0,32	27,33%
Abril-maio	0,21	18,91%
Junho-julho-agosto-setembro	0,21	18,91%
Outubro-novembro	0,38	31,56%
Dezembro	0,86	57,63%
Ano	3,16	95,75%

**Quadro 10.** Probabilidades de ocorrência de pelo menos um aguaceiro de altura  $h \geq 50$  mm, em Piracicaba.

b) Nos períodos do ano considerados foram obtidas as seguintes probabilidades, todas elas superiores ao nível de 95%:

Janeiro-fevereiro	$P(x \leq 3) = 96,70\%$
Março	$P(x \leq 1) = 95,82\%$
Abril-maio	$P(x \leq 1) = 98,05\%$
Junho-julho-agosto-setembro	$P(x \leq 1) = 98,05\%$
Outubro-novembro	$P(x \leq 2) = 99,29\%$
Dezembro	$P(x \leq 3) = 98,83\%$
Ano	$P(x \leq 6) = 95,77\%$

## 5. SUMMARY

In order to study the occurrence of heavy downpours of a height greater than 50 mm, the data of rain precipitation in Piracicaba from 1903 through 1965, were taken.

The annual frequencies observed follow the Poisson distribution, thus allowing the determination of the probability of occurrence of heavy downpours in Piracicaba.

The data concerning the January-February period, the month of March, the April-May period, the October-November period and the month of December also follow the Poisson distribution.

Since heavy downpours are not likely to occur in the drier months of the year (June, July, August and September), these were taken together in a four month period; data thus obtained follow reasonably the Poisson distribution.

The statistical processing of the data show that:

a) The probabilities of at least one heavy downpour of height greater than 50 mm are given in the following table:

PERIOD	Average of the Period	Probability $P(x \geq 1)$
January-February	1,19	69,56%
March	0,32	27,33%
April-May	0,21	18,91%
June-July-August-September	0,21	18,91%
October-November	0,38	31,56%
December	0,86	57,63%
Year	3,16	95,75%

b) The following probabilities, all of them greater than 95%, can be obtained from the previous considerations:

January-February	$P(x \leq 3) = 96,70\%$
March	$P(x \leq 1) = 95,82\%$
April-May	$P(x \leq 1) = 98,05\%$
June-July-August-September	$P(x \leq 1) = 98,05\%$
October-November	$P(x \leq 2) = 99,29\%$
December	$P(x \leq 3) = 98,83\%$
Year	$P(x \leq 6) = 95,77\%$

## 6. BIBLIOGRAFIA

- AZEVEDO, A. Lobo — 1954 — Probabilidades de Ocorrência de Aguaceiros de Altura Excepcional em Luanda — *Agronomia Angolana* 9:157-161.
- PEARSON, E. S. & H. O. Hartley — 1956 — *Biometrika Tables for Statisticians* — Vol. I — Cambridge University Press.
- PIMENTEL GOMES, F. — 1966 — Curso de Estatística Experimental — 3.<sup>a</sup> ed. — E. S. A. "Luiz de Queiroz" — Piracicaba — 404 pp. + 15 tabelas.