

Capítulo 10

Método Monte Carlo

“É fascinante que somente 112.900 km³ de água da atmosfera é que são as forças básicas do ciclo hidrológico. Corresponderia a camada de 25mm por toda a Terra”

David Maidment, 1993

Índice
Capítulo 10- Método Monte Carlo

Seção	Título
10.1	Introdução
10.2	Entrada de dados: série sintética
10.3	Método de Rippl
10.4	Análise dos resultados
10.5	Período de seca
10.6	Probabilidades de séries sintéticas adotadas no Texas e Índia
10.7	Probabilidade ou percentil
10.8	Primeiro problema de aplicação do método Monte Carlo
10.9	Segundo problema de aplicação do método Monte Carlo

Capítulo 10- Método Monte Carlo

10.1 Introdução

Um método muito usado pelos hidrólogistas para o dimensionamento de reservatórios para abastecimento de água potável ou para a produção de energia elétrica é o Monte Carlo.

Como o objetivo é obter o volume do reservatório para abastecimento de água de chuva e dispomos de dados pluviométricos mensais por períodos bastante variados.

Supondo que temos dados mensais pluviométricos de mais de 10 anos e considerando uma demanda (consumo) fixa “**d**”, podemos aplicar o método de Rippl e obter o volume do reservatório necessário.

Quando assim procedemos obtemos o volume do reservatório V_{α} para a uma determinada probabilidade P_{α} . Aleatoriamente podemos por probabilidades diferentes obter um determinado volume do reservatório. Podemos construir um gráfico e depois fazermos o contrário, isto é, dado o volume V_h pelo método de Rippl, achamos a Probabilidade P_{β} conforme se pode ver na Figura (10.1) conforme Barth et al, 1987 p.351.

No *método de simulação Monte Carlo* simplesmente denominado *Método Monte Carlo* são analisadas basicamente três fases: a primeira é determinar a entrada dos dados (input); a segunda é transformar a entrada em saída (usando Rippl, por exemplo) e a terceira é analisar os dados obtidos, isto é o tamanho dos reservatórios.

Baseado no método Monte Carlo podemos estabelecer **dois problemas básicos**:

- a) Dada a série histórica de precipitações mensais, demanda mensal (d), área do telhado (A) e coeficiente de runoff (C), obter o volume V_h do reservatório e sua correspondente probabilidade P_{β} ?

Com a série histórica, isto é, a precipitação mensal de um período acima de 10anos, calcula-se o volume do reservatório V_h usando o método de Rippl, mas não sabemos qual a probabilidade P_{β} daquele evento.

Então aleatoriamente achamos as probabilidades P_1, P_2, P_3, \dots e achamos as séries sintéticas respectivas.

Para cada série sintética aplicamos o método de Rippl e achamos os volumes V_1, V_2, V_3, \dots

Colocando-se em uma tabela ou um gráfico, poderemos achar a **probabilidade P_{β}** correspondente ao **volume V_h** achado pelo método de Rippl aplicado na série histórica conforme Figura (10.1).

a₁) uma variante do problema é se por outros motivos não quisermos adotar o volume V_h achado pelo método de Rippl e sim **outro volume V_{α}** . Usando a tabela ou gráfico achamos a probabilidade correspondente ao volume V_{α} .

a₂) outra variante do problema é ao invés de fixar o volume, **fixarmos uma probabilidade P_{α}** e então usando a tabela ou o gráfico achamos o **volume V_{α}** correspondente a P_{α} .

- b) Não é fornecida a série histórica, mas séries sintéticas correspondentes a varias probabilidades P . São dadas a demanda (d), área do telhado(A) e coeficiente de runoff (C). Determinar o volume V do reservatório?

São fornecidas algumas séries sintéticas vinculadas as probabilidades. Escolhe-se a mais conveniente e acha-se o **volume V** do reservatório.

Restrição: o volume do reservatório de água de chuva deverá no mínimo ser igual ao volume do reservatório para atender quantidade de dias sem chuva. Isto pode variar de 20dias para 30dias, 60dias ou mais.

$$\begin{aligned} V &\geq V_{seca} \\ V_{\alpha} &\geq V_{seca} \end{aligned}$$

Sendo:

$$V_{seca} = (\text{demanda mensal} / 30) \cdot (\text{dias s/ chuva})$$

10.2 Entrada de dados: série sintética

O método Monte Carlo usa geralmente série sintéticas obtidas da *série histórica* de “n” anos. Então poderemos obter *séries sintéticas* das precipitações mensais com 95% de probabilidade, 80% etc.

Para se obter números aleatórios usam-se: tabela de números aleatórios ou rotinas de computadores ou método aritmético.

A planilha eletrônica Excel da Microsoft usa a função =Aleatório() que produz números aleatórios entre 0 e 100.

Depois com todas as probabilidades obtidas pelas *séries sintéticas* podemos obter um gráfico com abscissa do volume do reservatório e em ordenada as probabilidades.

Em grandes reservatórios de água chega-se por se produzir 1000 série sintéticas, principalmente quando o planejamento é em longo prazo. Para o nosso caso, o planejamento é em curto prazo, ou seja, de 1 ano aproximadamente, podendo ser usado cerca de 10 a 20 valores de probabilidades todas escolhidas aleatoriamente.

10.3 Método de Rippl

Com as séries sintéticas se obtém através de um modelo, ou seja, o método da curva das massas de Rippl o volume da reservatório. A evaporação e demais perdas, interceptação e vazamentos ficam inclusas no coeficiente de runoff adotado geralmente em torno de 0,8 para o caso de captação de águas pluviais.

Segundo McMahon, 1993 *in* Maidment o método de Rippl possui dois atributos importantes:

- a) é simples e muito usado
- b) Como usa uma serie histórica de dados, a sazonalidade e outros fatores são levados em contas.

O método de Rippl tem duas hipóteses básicas McMahon, 1993:

- a) o reservatório está suposto cheio no inicio do período crítico.
- b) Como o método usa série histórica os períodos de seca no futuro não serão piores que os anteriores.

Na prática usamos demanda constante.

10.4 Análise dos resultados

Segundo Salas, 1993 *in* Maidment ao se obter os tamanhos dos reservatórios, deve tomar uma decisão para a escolha usando uma informação adicional. Esta decisão final sempre será do hidrologista onde além das variáveis de probabilidade estarão os problemas de custos, confiabilidade etc.

É bom esclarecer que todos os volume obtidos dos reservatórios é para uma suposta demanda “d”, isto é, o consumo mensal estimado. Mudando-se a demanda, ou seja, o consumo, os cálculos terão que ser refeitos.

Uma outra assunção do método Monte Carlo é que usando a série histórica de onde foram obtidos os dados, que ela será idêntica no futuro.

10.5 Período de seca

A definição de seca é muito relativa. Chama-se *período crítico de seca* aquele cujos dados produzidos pela precipitação mensal são menores que a demanda de água, isto é, a demanda é maior que o suprimento sem consideramos a reservação.

Como foi usada a *série histórica* com precipitações mensais para determinar o volume usando o método de Rippl praticamente o período de seca será considerado.

Quanto mais números de anos da *série histórica* que se tem, melhor será a consideração do período de seca. Não temos o número de anos ideal. Na Índia usa-se no mínimo 15 anos e no Texas 50 anos.

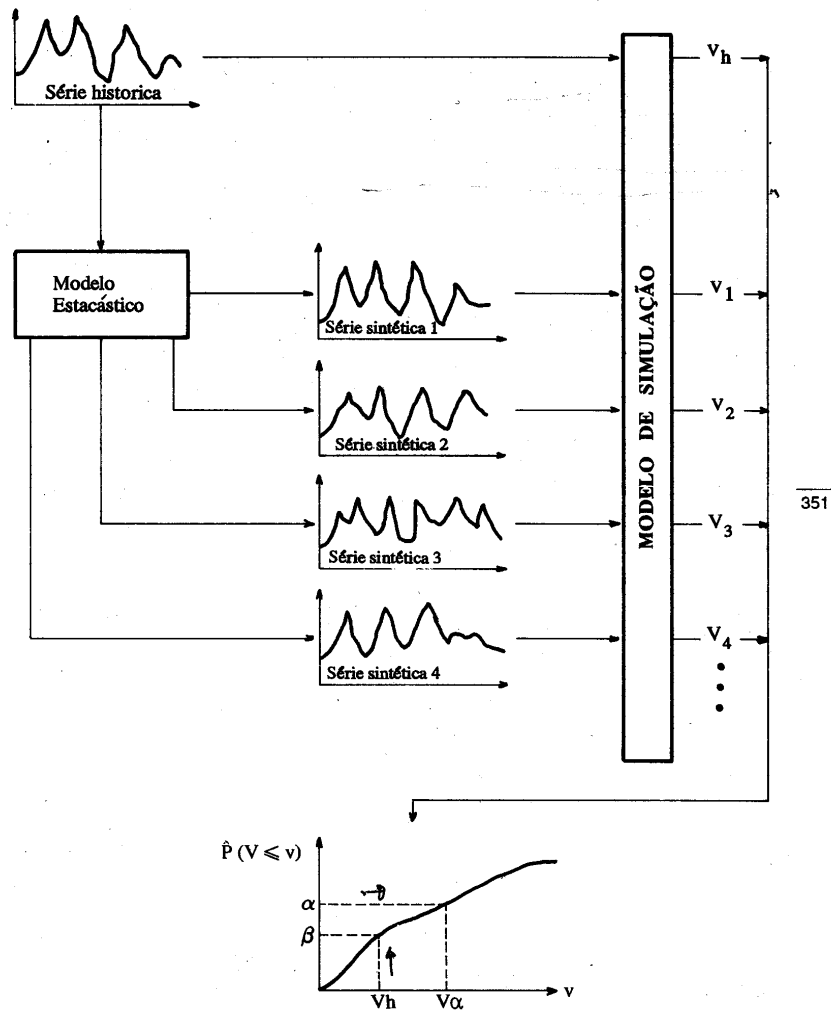


Figura 10.1- Representação esquemática do método Monte Carlo
Fonte: Barth et al, 1987 p.351

10.6 Probabilidades de séries sintéticas sugeridas no Texas e Índia

The Texas Guide to Rainwater Harvesting baseado em dados de 50anos no período de 1940 a 1990 estabeleceu as seguintes precipitações sintéticas mensais:

- 1-Precipitação mínima
- 2-Probabilidade de 90%
- 3-Probabilidade de 75%
- 4-Probabilidade de 50%
- 5-Precipitação média
- 6-Precipitação máxima

O software "Sim Tanka" elaborado na Índia usa 15 anos de dados hidrológicos foi elaborado por Vikram Vyas em 1999 e apresentado em Nova Delhi, Índia em abril de 2001 na Conferência Internacional de Captação de água de Chuva (*RWH Conference*).

Vikram Vyas apresenta no seu software três alternativas, uma extremamente confiável cuja probabilidade é de 95%, outra confiável de 85% e outra tolerável com 75%.

1 Probabilidade de 95% (extremamente confiável)

2 Probabilidade de 85% (confiável)
 3 Probabilidade de 75% (tolerável)

10.7 Probabilidades ou percentil

Vamos mostrar como obter as probabilidades ou percentil de 95% (extremamente confiável), Probabilidade de 85% (confiável) e Probabilidade de 75% (tolerável).

Exemplo 10.1

Aplicação para Mairiporã de como obter as precipitações com probabilidades de 75%, 85% e 95%
 Vamos usar as precipitações mensais do município de Mairiporã localizado no Estado de São Paulo de 1958 a 1992 conforme Tabela (10.1)

Tabela 10.1- Dados pluviométricos mensais em mm de 34 anos de Mairiporã de 1958 a 1992

Ano	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	L
Col. 1	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	Col. 7	Col. 8	Col. 9	Col. 10	Col. 11	Col. 12	Col. 13
1958	A1=221,1	154,4	112,3	107,7	159	63	45,2	24,7	117,1	188,9	134,9	242,7
1959	323,8	211,7	217	54,8	24,1	6,9	2,4	70,1	30,9	103,4	170,7	222,2
1960	212,1	423,5	61,7	165,5	100,4	93,3	5,6	49,9	30,3	194,4	249,6	455,9
1961	267,2	233,5	133,1	130,1	31,5	35,2	3,3	32,8	3,1	192,7	244,8	287,9
1962	135,9	258,3	226	42,9	23,3	13,7	47	74,8	55,3	226	84,2	300,9
1963	205,5	259,4	74,7	36,3	3,4	6,6	2,1	9	11,1	129,7	125,5	124,5
1964	132,5	197,4	43,8	100,1	28,7	37,2	72,2	54,6	149,3	121,9	126,6	241,1
1965	347,7	166,9	93,8	89,1	72,1	28,4	54	5,5	123,7	226,1	121,4	279,4
1966	186,9	189,6	258,8	64,8	30,4	6,4	23,4	48,3	103,8	186,6	87,5	402,1
1967	306,8	129,3	194,8	41,5	54,6	80,3	43,1	6,3	119,6	167,4	200,6	219,4
1968	191,2	144	110	45,3	68,8	31,6	18	53,5	31,1	118,3	81,1	283,8
1969	98,5	92,4	98,7	95,7	46,3	38,3	7,9	31,4	69,7	163,1	286,6	82,3
1970	386,5	413,2	228,9	44,9	77,2	66,2	40,9	101,1	115,7	88,3	84,3	149,8
1971	136,1	123,4	221,6	73,7	63,7	120,1	41,1	17,6	100,7	200,9	118,2	162,7
1972	288,4	141,7	79,2	44,2	35,8	8,8	86,1	100,3	77,6	177,5	143,8	91,7
1973	227,5	176,1	150,8	64,3	55,5	37,6	70,6	26,2	52,4	104,3	247,9	254,3
1974	288,7	75,6	220	59,7	10,1	134,8	1,3	19,2	42,9	128,2	119	200,1
1975	153,1	359,6	86,4	33,4	29,8	14,2	67,5	0,2	37,3	176	173,3	256,1
1976	244,9	377,2	72,5	143,2	157,2	72,7	178,3	149,7	183,5	78,9	207,5	147,8
1977	380	131,8	161,2	133,9	29,1	41,1	10,8	7,1	158,7	87,3	194,4	231,9
1978	92,9	132,4	179,1	5,3	92,9	85	103,7	5,8	40,2	93,7	365	185,4
1979	116,6	188,6	37,3	64,3	126,4	7,1	46,2	74,9	108,1	165,9	207,3	127,1
1980	255,7	170,9	67	135,7	18,5	60,2	17,1	46,9	50,5	62,3	193	404,5
1982	247,3	231,2	131,2	77,2	55,7	178	49	44,6	11,9	231,6	150,3	399,9
1983	322,1	172,6	206,2	149,2	199,6	248,2	49,6	16,8	243	143,5	106,7	140,4
1984	226,2	33	59,5	144,5	109,4	0	8,5	124,7	155,5	21,9	113,5	150
1985	138,9	200,3	178,3	64,8	96,5	15,6	3,4	26,7	82	91	134,5	103,4
1986	175,5	225,7	142,6	112,6	123,6	2,7	20,7	112,2	29,4	45,4	122,2	339,5
1987	519,4	211,9	179,2	61,5	233,9	177,1	17,7	17,1	68,3	93,2	67,4	229,7
1988	268,7	188,4	242,4	192	198,1	68,8	2,4	1,1	20,4	179,4	110	274,3
1989	380,1	315,7	220,1	66,9	56,6	43,5	169,1	36,9	92	43,9	131,9	173,1
1990	166,1	143,6	240,9	65,8	81,3	26,5	122,2	72,6	80	139,9	117,1	182,9
1991	316,3	276,4	384,6	122,1	39,5	66,2	23,8	17,1	85,7	188,5	104	209,2
1992	A34=119,7	99,4	305,8	67	87	10,7	33	20	130,6	167	244,6	185,1
Média	238	201	159	85	77	57	44	44	83	139	158	228
Desvio padrão	99	92	82	44	58	58	45	38	55	56	68	94

Usando as precipitações mensais da Tabela (10.1) vamos compor a Tabela (10.2).

Tabela 10.2 Precipitações mensais de Mairiporã com probabilidades de 75%, 85% e 95%

Mês	Prob. 75%	Prob. 85%	Prob. 95%
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4
Jan	156	136	110
Fev	142	129	87
Mar	88	72	54
Abr	56	44	35
Mai	31	28	16
Jun	14	7	5
Jul	9	3	2
Ago	17	7	4
Set	38	30	12
Out	93	87	45
Nov	114	103	83
Dez	153	140	99

Vamos explicar como foi elaborada a Tabela (10.2).

Tabela (10.2) coluna 1:

Na coluna 1 estão os meses de janeiro a dezembro

Tabela (10.2) coluna 2:

Seja uma dada série n dados x_1, x_2, \dots, x_n , ordenados de forma crescente. O percentil de ordem p% é um número x tal que p% dos dados da série serão menores que x e $(100 - p\%)$ serão maiores que x.

Para probabilidade de 75% o percentil será de 0,25

No caso foi usada a planilha Excel da Microsoft:

=PERCENTIL (DADOS ; POSIÇÃO)

Exemplo:

= PERCENTIL (A1:A34 ; 0,25)

=156mm para o mês de janeiro.

Adota-se o mesmo procedimento para os meses de fevereiro a dezembro.

Tabela (10.2) coluna 3:

Para a probabilidade de 85% o percentil será de 0,15

Exemplo:

= PERCENTIL (A1:A34 ; 0,15)

=136mm para o mês de janeiro.

Adota-se o mesmo procedimento para os meses de fevereiro a dezembro

Tabela (10.2) coluna 4:

Para a probabilidade de 95% o percentil será de 0,05

Exemplo:

= PERCENTIL (A1:A34 ; 0,05)

=110mm para o mês de janeiro.

Adota-se o mesmo procedimento para os meses de fevereiro a dezembro

Mais explicações sobre percentil

A função *Percentil* do Excel dá como resultado o valor que divide a série de dados em duas partes, uma menor que o valor da posição e outra maior que o valor da posição.

O argumento posição deve ser um valor entre 0 e 1, correspondendo respectivamente de 0% a 100% dos dados da série.

O resultado da função pode ser uma posição fracionária que o usuário deverá arredondar, em geral, para baixo para posições maiores que 50% e para cima para posições menores que 50%.

No exemplo citado queremos o valor da posição que separa a série de dados que vai de A1:A34 de 0,25 ou seja 25%. Assim o que estiver abaixo do valor achado serão dados menores que 25% e os que estiverem acima serão 75% acima.

Quando o percentil escolhido é de 0,25 isto significa que 75% das precipitações em um ano ultrapassam o valor daquele mês.

Assim para o mês de janeiro com probabilidade de 75% a precipitação mensal será de 156mm.

Exemplo 10.2

Aplicação para a cidade de Guarulhos de como obter as precipitações com probabilidades de 5% a 95%

Para a cidade de Guarulhos localizada na RMSP obtivemos a Tabela (10.3).

Tabela 10.3- Série sintética obtida da série histórica do Posto pluviométrico de Bonsucesso

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		Soma anual
225	245	179	78	60	55	38	39	76	122	135	211	média	1463
52	61	39	9	0	1	0	0	0	9	16	45	mínimo	232
493	574	548	236	292	364	179	183	434	281	381	488	máximo	4453
219	243	164	68	41	37	30	24	49	114	122	198	mediana	1309
88	81	54	12	4	3	1	0	2	26	46	94	95% Prob.	411
109	120	83	27	6	4	2	2	4	39	67	112	90	574
122	135	100	34	15	8	4	2	14	65	72	129	85% Prob.	699
145	161	107	38	17	8	4	4	18	70	87	134	80	792
151	167	113	45	22	11	6	7	22	77	98	145	75% Prob.	865
154	201	119	48	25	16	13	9	30	83	103	161	70	961
169	209	136	52	31	20	14	13	33	89	111	171	65	1046
181	212	150	55	35	21	16	18	40	97	113	180	60	1118
203	233	155	64	40	31	24	20	42	108	118	187	55	1224
219	243	164	68	41	37	30	24	49	114	122	198	50% Prob.	1309
228	245	171	80	44	42	32	32	56	129	128	201	45	1388
241	257	197	83	48	46	37	34	70	139	132	213	40	1497
251	275	206	91	53	51	40	38	89	148	145	228	35	1617
265	298	214	97	78	60	44	46	91	157	161	243	30	1756
302	306	224	103	87	70	47	55	105	171	169	253	25	1891
305	315	235	109	90	89	69	61	110	180	175	261	20	1998
323	345	269	123	100	95	77	82	134	188	190	298	15	2223
366	370	294	140	118	108	80	107	169	200	213	328	10	2492
383	404	314	157	186	137	117	127	199	213	248	410	5	2895

Tabela 10.4-Precipitações da cidade de Guarulhos (1940-1997)

Meses	Extremamente confiável		
	Tolerável	Confiável	Extremamente confiável
	75%	85%	95%
	mm	mm	mm
Jan	151	122	88
Fev	167	135	81
Mar	113	100	54
Abr	45	34	12
Mai	22	15	4
Jun	11	8	3
Jul	6	4	1
Ago	7	2	0
Set	22	14	2
Out	77	65	26
Nov	98	72	46
Dez	145	129	94
Total	864	699	411

6.8 Primeiro problema de aplicação do método Monte Carlo

Supondo que a demanda (consumo) $d=3 \text{ m}^3/\text{mês}$; área do telhado $A=100\text{m}^2$ e coeficiente de runoff $C=0,80$. Na Tabela (10.5) e (10.6) está a série histórica das precipitações mensais do posto Pluviométrico de Bonsucesso em Guarulhos no período de 1940 a 1997.

Tabela (10.5)- Precipitações mensais do posto pluviométrico de Bonsucesso em Guarulhos no período de 1940 a 1997.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma anual
1941	218,8	302	164,4	102,8	55,4	31,9	40,6	22,7	434	25,2	132,3	161,7	1691,8
1942	152	399,7	233,1	12,5	9,5	49,1	163,1	0	30,9	25,9	265,8	299,8	1641,4
1943	250,4	242,5	294,5	40,4	0	10,8	0	57,6	61,4	259,4	79,8	215,3	1512,1
1944	154,4	574	309	51,5	3,3	2,3	0,1	0	2,1	65,6	165,9	44,8	1373,0
1945	264,6	403,6	211,8	87,1	41	88,6	0	0	20,5	9,1	117,7	287,7	1531,7
1946	293,3	143,8	225,3	66,2	16	100,5	77	12,1	12,8	208	146,4	130,2	1431,6
1947	493,3	286,9	294,1	52,8	51,4	36,8	81,9	125,7	169	70,4	171,4	337	2170,7
1948	304,9	256,7	173,7	65,6	34,5	8,3	33,4	48,6	4,2	91,1	122,8	246,4	1390,2
1949	374,1	206,2	115,5	79	19,3	20,9	4,3	0	2	51,1	45,4	188,7	1106,5
1950	349,3	451,8	547,6	60	3,5	8,2	4,2	0	41,3	160,2	140,6	183,2	1949,9
1952	187,3	143,5	109,7	34,8	14,3	1,2	18,6	38,5	0	214,8	110,3	107,3	980,3
1953	77,1	359,1	158,4	92,8	16,6	122,6	0,8	8,3	70	102,9	96,7	102	1207,3
1954	137,9	131,2	112,9	30,6	21	8,2	13,3	42,4	54,2	104,2	187,1	60,5	903,5
1955	213	306,1	378,3	34,8	115,8	46,6	18,2	1,7	31,3	201,3	66,1	405,5	1818,7
1956	90	132	99,3	82,5	40,4	20,6	32,8	129,6	4,2	87,7	118,2	159,4	996,7
1957	355,1	255,1	223,1	123,2	120,5	104,2	47	72,9	66,2	109,1	46,7	212,9	1736,0
1958	239,4	234,3	198,4	94,8	48,3	52,1	56,9	56,9	196,4	133,5	101,4	170,4	1582,8
1959	303,6	104,7	154	100	171,7	63,7	25,6	31,6	113,6	181,2	111,8	196,5	1558,0
1960	219,4	167,4	163,6	152,4	43,7	3	4	53,9	49,2	117,9	135,5	256,2	1366,2
1961	314,8	380	128,4	109	100,3	96,5	1,6	33	29,6	143,8	242	319,8	1898,8
1962	119,4	178,2	151	47,2	38,7	45,3	4,1	18,6	10,2	110,8	191,4	292,2	1207,1
1963	169,9	245	270,5	30,5	24,8	10,8	29,7	60,9	48,4	198,4	131,7	307,7	1528,3
1964	122,1	338,2	51	60,5	3,7	15,9	2,1	9	4,1	139,1	125,5	146,7	1017,9
1965	229,4	229,1	95,9	39,3	87,9	42,1	75,2	34,1	110	153	67,9	169,2	1333,1
1966	172,2	110,1	39,2	48,6	52,8	16,9	69,3	6,9	87,9	127,7	34,9	76,1	842,6
1967	154,5	208,7	297,2	19	4,7	2	29,4	25	47,8	180	109,5	187,9	1265,7
1968	52	272,9	245	12	47,4	76,8	11,8	1,6	87	148,4	203,3	199,7	1357,9
1969	103,6	209,1	107	55,3	26	20	15	17	16	31	16	237	853,0
1970	390,3	80,2	89,1	34	41	45,6	6,2	37,2	28,4	147,8	201,1	137,9	1238,8
1971	83,7	306,8	114,9	81,3	97,5	88,8	31,3	84,6	89,7	88,1	130,3	123,6	1320,6
1972	256,3	245,2	215,8	52,6	36,7	90	38,6	6	54,7	184,7	116	203,6	1500,2

Tabela (10.6)- Precipitações mensais do posto pluviométrico de Bonsucesso em Guarulhos no período de 1940 a 1997.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma anual
1973	228,5	167,1	103,2	111,2	45,8	2,7	45,4	91,3	109,4	211,9	87,5	129	1333,0
1974	243,8	226,2	77,8	103,4	30,5	19,4	77,3	7,9	103,5	109,9	175,1	223	1397,8
1975	116,2	61,1	216,8	22,6	6	110,8	5,3	2,6	32,4	121	112,9	117,4	925,1
1976	123,1	405,7	63,9	207,7	22,5	4,5	77,7	1,5	15,6	197,5	173	336,8	1629,5
1977	379,8	347,5	144,7	134,2	181,9	70,8	179,2	147,4	206,1	83,2	231,3	199,7	2305,8
1978	94,9	160,7	197,3	9,1	23,3	29,9	9,8	4	121,3	67,4	175	241,1	1133,8
1979	152,1	162,3	208,4	51,1	89,3	121,9	75,9	6,8	39,1	132,3	381,1	181	1601,3
1980	199,1	195,2	121,8	150,6	90	7,2	46,5	112,9	138,1	90,9	168,5	245,8	1566,6
1981	172,1	238,5	165,4	70,5	5,1	63,3	16,1	61,3	22,6	72,6	156,6	488,3	1532,4
1982	302,9	81,7	113	99,5	34,5	43,1	38,8	11,6	17,8	189,4	117,3	140,5	1190,1
1983	198	293,6	170,7	236,4	28,3	354,6	44,9	183,2	19,9	280,6	273,9	425,3	2509,4
1984	156,7	243,1	149,7	122,3	292,2	363,5	40,8	19,7	332,8	82,3	98,6	229,5	2131,2
1985	148,1	65,7	40	48	92,9	3	15,8	118	138,1	19,1	86,7	133,4	908,8
1986	150,3	314,9	133,5	91,6	86,5	15,7	4,4	16,7	91,1	35,3	153,9	180,4	1274,3
1987	324,2	356,3	235,1	106	103,4	7,9	36,6	100,4	41	42,6	166,2	439	1958,7
1988	265,6	242,9	189,5	135,9	199,6	181,8	13,5	19	89,9	74,9	121,3	173,9	1707,8
1989	373,2	211,7	270,5	87,9	210,1	57	3,5	3	33,3	169,5	103,7	253,3	1776,7
1990	465,3	260,8	141,9	65,1	40,4	57,2	162,9	29,8	91,2	64,2	70,6	174,5	1623,9
1991	220,1	130,7	329,1	145	78	26,8	101,8	54,6	94,5	83,5	75,8	100,2	1440,1
1992	146,3	304,2	204,7	82,6	32,2	15	30,2	44,3	109,8	167,2	126,6	159,1	1422,2
1994	227,2	276,2	155,1	74,7	81,4	7,7	43,3	21,2	40,4	154,2	221,9	205,8	1509,1
1995	243,9	326,7	106,4	169,5	41,8	69,2	13,6	34,1	196,8	97,4	70,2	133,9	1503,5
1996	305,1	311,5	207	47	53,4	38,3	26,9	1,9	0,8	77,4	112,7	253,2	1435,2
1997	301,1	209,4	262,6	9	16,6	35,4	81,5	17,6	41,6	178,8	100,6	200	1454,2

Com a série histórica das precipitações aplica-se o método de Rippl e obtem-se o volume do reservatório $V_h = 14m^3$.

Usando-se a função =Aleatório() da planilha Excel da Microsoft obtemos a Tabela (10.7) obtendo-se as frequências $(1-P/100)$. Por exemplo, com probabilidade de 28% obtemos $F = 1 - 28/100 = 0,72$.

Tabela (10.7)- Probabilidades obtidas do Excel e frequência

Probabilidade (P)	Frequência (F)
(%)	(F= 1- P/100)
28	0,72
78	0,22
14	0,86
78	0,22
24	0,76
13	0,87
56	0,44
21	0,79
28	0,72
3	0,97
65	0,35
29	0,71
0	1,00
9	0,91
91	0,09
11	0,89
48	0,52
48	0,52
42	0,58

Para cada série sintética obtida da Tabela (10.3) calculamos o volume do reservatório usando o método de Rippl e que estão na Tabela (10.8) e Figura (10.2).

Tabela 10.8- Resumo da aplicação ao método de Rippl às séries sintéticas

Probabilidade (%)	Reservatório (m³)
0	0
3	0
9	0
11	0
13	0
14	0
21	0
24	0
28	0
28	0
29	0
42	1
48	1
48	1
56	4
65	6
78	10
78	10
91	15

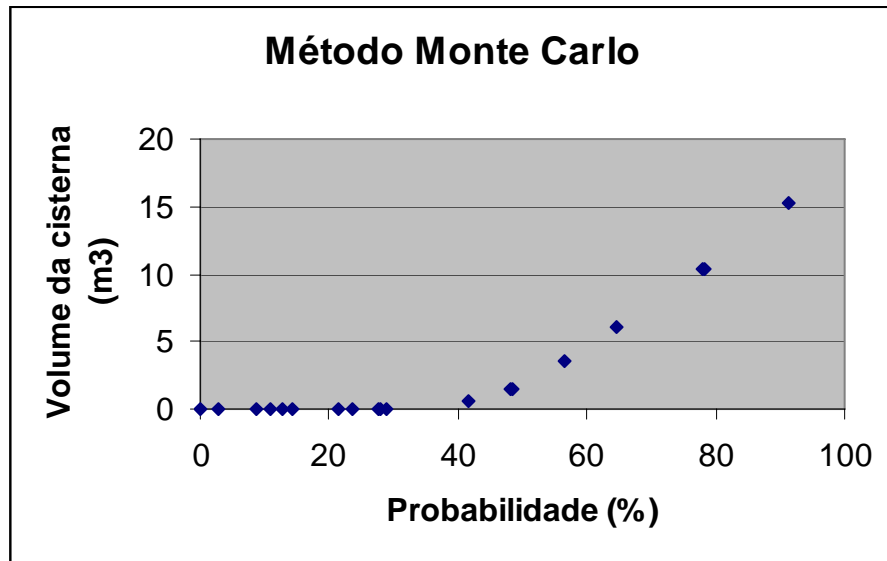


Figura 10.2- Gráfico da probabilidade em função do volume do reservatório para demanda constante de 3m³/mês, área de cobertura de 100m² e coeficiente de runoff C=0,8.

Com o volume do reservatório $V_h=14m^3$ achado pelo método de Rippl entrando na Figura (10.2) ou Tabela (10.8) obtemos a probabilidade de 87%.

6.9 Segundo problema de aplicação do método Monte Carlo

No segundo problema não é fornecida a série histórica e sim algumas séries sintéticas conforme exemplo da Tabela (10.9). Deve-se escolher uma probabilidade adequada e calcular o volume do reservatório V pelo método de Rippl.

Tabela 10.9- Série sintética obtida da serie historia do Posto pluviométrico de Bonsucesso- Guarulhos

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		Soma anual
225	245	179	78	60	55	38	39	76	122	135	211	média	1463
229	110	39	39	538	179	69	7,0	88	128	35	76	Ano 1968 mínimo	891
303	294	171	100	28	355	45	183	20	281	274	425	Ano 1982 máximo	2477
219	243	164	68	41	37	30	24	49	114	122	198	mediana	1309
88	81	54	12	4	3	1	0	2	26	46	94	95% Prob.	411
109	120	83	27	6	4	2	2	4	39	67	112	90	574
122	135	100	34	15	8	4	2	14	65	72	129	85% Prob.	699
145	161	107	38	17	8	4	4	18	70	87	134	80	792
151	167	113	45	22	11	6	7	22	77	98	145	75% Prob.	865
154	201	119	48	25	16	13	9	30	83	103	161	70	961
169	209	136	52	31	20	14	13	33	89	111	171	65	1046
181	212	150	55	35	21	16	18	40	97	113	180	60	1118
203	233	155	64	40	31	24	20	42	108	118	187	55	1224
219	243	164	68	41	37	30	24	49	114	122	198	50% Prob.	1309

228	245	171	80	44	42	32	32	56	129	128	201	45	1388
241	257	197	83	48	46	37	34	70	139	132	213	40	1497
251	275	206	91	53	51	40	38	89	148	145	228	35	1617
265	298	214	97	78	60	44	46	91	157	161	243	30	1756
302	306	224	103	87	70	47	55	105	171	169	253	25	1891
305	315	235	109	90	89	69	61	110	180	175	261	20	1998
323	345	269	123	100	95	77	82	134	188	190	298	15	2223
366	370	294	140	118	108	80	107	169	200	213	328	10	2492
383	404	314	157	186	137	117	127	199	213	248	410	5	2895

O critério para se achar a probabilidade P é muito subjetivo. Podemos observar na Tabela (10.9) que a mediana é igual a probabilidade de 50% e que a média mensal das precipitações corresponde aproximadamente a probabilidade de 40%.