

# **RBE**

**VOL.2/N.2**

**REVISTA BRASILEIRA  
DE ENGENHARIA**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HIDROLOGIA E  
RECURSOS HÍDRICOS  
CADERNO DE RECURSOS HÍDRICOS**



## CHEIA DE 1983 NO RIO IGUAÇU EM SALTO SANTIAGO

por

J.KELMAN<sup>1,2</sup> e J.M.DAMÁZIO<sup>1</sup>

RESUMO -- Este artigo apresenta um estudo procurando caracterizar a raridade da cheia ocorrida no sul do país no ano de 1983 através do emprego de séries sintéticas de vazões diárias geradas pelo modelo DIANA (Kelman et al., 1983) para Salto Santiago no rio Iguaçú.

INTRODUÇÃO

Será que as cheias ocorridas no sul do Brasil durante o ano de 1983 foram efetivamente excepcionais? Todos sabemos do sofrimento que significou esta emergência para a população afetada, mas em termos hidrológicos uma cheia só é considerada excepcional se tiver um alto tempo de retorno. A estimativa do tempo de retorno depende do método empregado e da série de máximos anuais disponíveis. A tabela 1 mostra esta série para o rio Iguaçú em Salto Santiago. Pode-se notar que o máximo de 1983 ( $17333\text{m}^3/\text{s}$ ) é quase o dobro da máxima vazão nos 42 anos anteriores ( $9660\text{m}^3/\text{s}$ ), o que nos leva a indagar se a inclusão desta nova informação não irá alterar substancialmente as cheias de projeto decamilenares, usualmente empregadas para dimensionamento de vertedores.

Estas e outras indagações tem ocorrido aos hidrólogos que já debateram o assunto em algumas oportunidades. Por exemplo, a ELÉTROBRÁS realizou em setembro de 1983 um seminário especificamente dedicado à análise da cheia de 1983 e no V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos (Blumenau, novembro de 1983) foram organizados dois painéis que, apesar de terem sido bastante elucidativos, acabaram por recomendar o prosseguimento das investigações.

Este artigo pretende acrescentar uma contribuição ao debate, buscando explorar a potencialidade do emprego de séries hidrológicas sintéticas para avaliar o tempo de retorno da vazão máxima anual de  $17333\text{m}^3/\text{s}$ , estimada como afluente ao aproveitamento hidrelétrico de Salto Santiago em 09 de julho de 1983. Convém observar que o vertedor tem capacidade máxima de  $24600\text{m}^3/\text{s}$  e foi projetado em 1973 assumindo-se uma onda de cheia com pico igual a  $26000\text{m}^3/\text{s}$ . Isto é, o vertedor de Salto Santiago, juntamente com os das demais barragens da região sul, tiveram capacidade para extravasar a cheia ocorrida em 1983. Caso assim não fosse, algumas barragens poderiam romper, o que significaria uma catástrofe de proporções ainda maiores do que a que efetivamente aconteceu.

<sup>1</sup>Pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, CEPEL, Rio de Janeiro

<sup>2</sup>Professor visitante da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro

Tabela 1. Série de Máximos Anuais em Salto Santiago  
(Fonte: ELETROBRÁS)

ANO	VAZÃO MÁXIMA (m <sup>3</sup> /s)
41/42	3492
42/43	1183
43/44	1812
44/45	2763
45/46	4002
46/47	4739
47/48	4836
48/49	3245
49/50	2889
50/51	5064
51/52	4056
52/53	5906
53/54	5931
54/55	6499
55/56	3472
56/57	5818
57/58	9660
58/59	3670
59/60	1535
60/61	2929
61/62	3423
62/63	3818
63/64	4998
64/65	5629
65/66	5818
66/67	3024
67/68	2267
68/69	3592
69/70	4634
70/71	6089
71/72	2283
72/73	8365
73/74	4828
74/75	2484
75/76	5032
76/77	3745
77/78	5696
78/79	5335
79/80	5229
80/81	5935
81/82	8597
82/83	17333

Obs.: Considerou-se o ano iniciando a 1º de agosto de forma a incluir os dados de 1983, que só estavam disponíveis até julho.

A tabela 2 mostra os momentos da série de máximo anuais, considerando o registro completo, até 1983, e o incompleto, até 1982. A distinção entre estes dois registros foi feita para que se pudessem avaliar o impacto da cheia excepcional de 1983 no ajuste das distribuições de probabilidades.

Tabela 2. Momentos das Séries de Máximos Anuais em Salto Santiago

SÉRIE	MÉDIA (m <sup>3</sup> /s)	DESVIO PADRÃO (m <sup>3</sup> /s)	ASSIMETRIA	CURTÓSE
Incompleta (até 1982)	4510	1846	0,6	3,4
Completa (até 1983)	4815	2674	2,5	12,1

Pode-se notar os acréscimos nos quatro momentos. Por exemplo, a assimetria passou de 0,6, que poderia indicar alguma distribuição simétrica ou de extremos tipo I para 2,5, que favorece uma distribuição de extremos tipo II. Este grande impacto de uma única observação pode ser melhor apreciada pelo exame das figuras 1, 2 e 3, que representam respectivamente os ajustes (pelo método dos momentos) das distribuições normal, gumbel e exponencial, para as séries incompleta e completa. Nota-se uma acentuada divergência entre as duas curvas para as três distribuições examinadas.

O modelo de vazões diárias DIANA (Kelman, Damázio e Costa, 1983) foi calibrado utilizando inicialmente o registro incompleto. A avaliação do ajuste obtido foi feito comparando-se 1000 séries de vazões diárias geradas com o registro histórico incompleto de acordo com a metodologia apresentada por Kelman, Damázio e Costa (1983). O resultado obtido encontra-se na tabela 3. Nota-se que os segmentos sintéticos apresentam propriedades "maiores" do que as correspondentes do registro histórico incompleto, o que usualmente levaria à rejeição do modelo. Entretanto, preservando-se as mesmas séries sintéticas e comparando-as com o registro histórico completo nota-se um ajuste melhor (tabela 4). Ou seja, neste caso o modelo DIANA teria sido recusado em 1982 basicamente porque teve capacidade de "adivinhar" situações como a ocorrida em 1983.

A seguir o modelo DIANA foi ajustado ao registro completo (que inclui a cheia de 1983) e usado para gerar outro conjunto de 1000 séries sintéticas de vazões diárias. A tabela 5 mostra que o ajuste destas séries à série histórica completa também é razoável. Comparando-se as tabelas 4 e 5 pode-se notar que o novo conjunto de séries sintéticas pode ser considerado "mais molhado" do que o conjunto anterior refletindo a inclusão da cheia de 1983 no registro histórico. A figura 4 compara as curvas de frequência dos dois conjuntos de 1000 máximos anuais gerados podendo-se notar o impacto da cheia de 1983.

Tabela 3. Avaliação do Desempenho do Modelo DIANA para Salto Santiago Ajustado à Série Histórica Incompleta

SALTO SANTIAGO  
HISTÓRICO COM 41 ANOS

```

*****
IND1   IND2   IND3   IND4   IND5   IND6   IND7   IND8   IND9   IND10
*****
ESTATIS.SINT:  864.67  896.33  4.90  48.41  5301.56  2792.79  1.56  5.80  20158.00  0.291E+06
ESTATIS.HIST:  851.17  785.39  2.73  15.36  4510.29  1846.44  0.60  3.37  9660.00  0.137E+05

MÍNIMOS:      813.26  726.28  3.36  23.62  4449.76  1938.01  0.59  2.20  10396.00  0.299E+05
MÉDIAS:       865.22  893.72  4.61  41.40  5303.17  2741.81  1.36  4.67  13896.25  0.842E+05
MÁXIMOS:      915.10  1059.06  7.72  105.72  5863.12  3701.30  2.28  9.95  20158.00  0.291E+06
P[SINT>HIST]:  0.7917  0.9167  1.0000  1.0000  0.9583  1.0000  0.9583  0.7917  1.0000  1.0000
*****
NBLOCOS = 24
DHIST = 0.8347990E+01
P[D>DHIST] = 0.08
NOTA = 0.1512184E+01

TESTE QUI-QUADRADO PARA O MÁXIMO ANUAL
0.00 - 2394.00  5.0  2.0
2394.00 - 3605.00  10.0  10.5
3605.00 - 4816.00  7.0  10.8
4816.00 - 6027.00  14.0  6.4
6027.00 - 7238.00  2.0  3.4
7238.00 - 99999.00  3.0  8.0

x² = 0.18693E+02

```

IND1	MÉDIA	VAZÃO DIÁRIA
IND2	DESVIO PADRÃO	VAZÃO DIÁRIA
IND3	ASSIMETRIA	VAZÃO DIÁRIA
IND4	CURTOSE	VAZÃO DIÁRIA
IND5	MÉDIA	VAZÃO MÁXIMA ANUAL
IND6	DESVIO PADRÃO	VAZÃO MÁXIMA ANUAL
IND7	ASSIMETRIA	VAZÃO MÁXIMA ANUAL
IND8	CURTOSE	VAZÃO MÁXIMA ANUAL
IND9	RECORD DE VAZÃO DIÁRIA	
IND10	VOLUME DE ESPERA P/GARANTIR	4510.29 M3/S

Tabela 4. Avaliação do Desempenho do Modelo DIANA para Salto Santiago Ajustado à Série Histórica Incompleta. Usou-se para Comparação a Série Completa

SALTO SANTIAGO  
HISTÓRICO COM 42 ANOS

```

*****
IND1   IND2   IND3   IND4   IND5   IND6   IND7   IND8   IND9   IND10
*****
ESTATIS.SINT:  864.67  896.33  4.90  48.41  5301.56  2792.79  1.56  5.80  20158.00  0.280E+06
ESTATIS.HIST:  893.14  908.72  4.19  39.65  4815.60  2673.90  2.47  12.13  17333.00  0.118E+06

MÍNIMOS:      809.29  736.71  3.28  20.20  4461.00  1933.25  0.69  2.50  9478.00  0.219E+05
MÉDIAS:       865.54  893.53  4.57  40.75  5303.89  2719.07  1.36  4.71  13935.39  0.796E+05
MÁXIMOS:      928.29  1069.36  7.48  100.39  6159.71  3668.29  2.34  9.15  20158.00  0.280E+06
P[SINT>HIST]:  0.1304  0.3478  0.4783  0.3913  0.9130  0.4348  0.0000  0.0000  0.0870  0.1304
*****
NBLOCOS = 23
DHIST = C.1673761E+02
P[D>DHIST] = 0.00
NOTA = 0.4889612E+01

TESTE QUI-QUADRADO PARA O MÁXIMO ANUAL
0.00 - 3490.14  13.0  11.8
3490.14 - 5797.29  17.0  17.6
5797.29 - 8104.43  8.0  5.8
8104.43 - 10411.57  3.0  4.0
10411.57 - 12718.71  0.0  1.8
12718.71 - 99999.00  1.0  1.0

x² = 0.30594E+01

```

IND1	MÉDIA	VAZÃO DIÁRIA
IND2	DESVIO PADRÃO	VAZÃO DIÁRIA
IND3	ASSIMETRIA	VAZÃO DIÁRIA
IND4	CURTOSE	VAZÃO DIÁRIA
IND5	MÉDIA	VAZÃO MÁXIMA ANUAL
IND6	DESVIO PADRÃO	VAZÃO MÁXIMA ANUAL
IND7	ASSIMETRIA	VAZÃO MÁXIMA ANUAL
IND8	CURTOSE	VAZÃO MÁXIMA ANUAL
IND9	RECORD DE VAZÃO DIÁRIA	
IND10	VOLUME DE ESPERA PARA GARANTIR	4815.60 M3/S

Tabela 5. Avaliação do Desempenho do Modelo DIANA para Salto Santiago Ajustado à Série Histórica Completa

SALTO SANTIAGO  
HISTÓRICO COM 42 ANOS

```

*****
IND1      IND2      IND3      IND4      IND5      IND6      IND7      IND8      IND9      IND10
*****
ESTATIS.SINT: 906.77 1014.61 5.64 63.73 5915.09 3556.67 2.00 8.86 29174.00 0.290E+06
ESTATIS.HIST: 893.14 908.72 4.19 39.65 4815.60 2673.90 2.47 12.13 17333.00 0.118E+06

MÉNIOS: 850.68 822.43 3.60 22.87 4848.52 2323.10 0.54 2.34 10966.00 0.347E+05
MÉDIAS: 905.58 1012.00 5.38 56.61 5938.00 3468.49 1.59 6.18 18098.87 0.109E+06
MÁXIMOS: 971.12 1263.34 8.02 128.05 7133.43 4978.46 3.22 16.63 29174.00 0.290E+06
P[SINT>HIST]: 0.5217 0.8261 0.8261 0.6957 1.0000 0.8261 0.1304 0.0870 0.5217 0.3478
*****

```

```

NBLOCOS = 23
DHIST = 0.976390E+01
P[D>DHIST] = 0.04
NOTA = 0.1828969E+01

```

TESTE QUI-QUADRADO PARA O MÁXIMO ANUAL

```

0.00 - 3490.14 13.0 10.2
3490.14 - 5797.29 17.0 16.1
5797.29 - 8104.43 8.0 7.2
8104.43 - 10411.57 3.0 4.7
10411.57 - 12718.71 0.0 1.6
12718.71 - 99999.00 1.0 2.2

```

$\chi^2 = 0.37479E+01$

```

IND1 MÉDIA
IND2 DESVIO PADRÃO
IND3 ASSIMETRIA
IND4 CURTOSE
IND5 MÉDIA
IND6 DESVIO PADRÃO
IND7 ASSIMETRIA
IND8 CURTOSE
IND9 RECORD DE VAZÃO DIÁRIA
IND10 VOLUME DE ESPERA PARA GARANTIR 4815.60 M3/S
VAZÃO DIÁRIA
VAZÃO DIÁRIA
VAZÃO DIÁRIA
VAZÃO MÁXIMA ANUAL
VAZÃO MÁXIMA ANUAL
VAZÃO MÁXIMA ANUAL

```

A tabela 6 compara as estimativas do tempo de retorno dos máximos anuais de 17333 e 9660m<sup>3</sup>/s em Salto Santiago obtidas com as três distribuições de probabilidades (normal, gumbel e exponencial) e com o modelo DIANA ajustados à série histórica incompleta e completa.

Tabela 6. Estimativas do Tempo de Retorno das Vazões Máximas Anuais de 9660 e 17333m<sup>3</sup>/s em Salto Santiago

MÉTODO	SÉRIE INCOMPLETA		SÉRIE COMPLETA	
	q=9660m <sup>3</sup> /s	q=17333m <sup>3</sup> /s	q=9660m <sup>3</sup> /s	q=17333m <sup>3</sup> /s
NORMAL	340	>100000	27	>100000
GUMBEL	61	11740	18	670
EXPONENCIAL	42	2589	16	277
DIANA	12	≈200	9	≈60

#### CONCLUSÕES

Estima-se o tempo de recorrência do pico da cheia natural ocorrida em Salto Santiago em julho de 1983 de acordo com o modelo DIANA em 60 anos. Este valor contrasta com o resultante da aplicação da distribuição de Gumbel (670 anos) e da distribuição exponencial (277 anos).

A inclusão da cheia de 1983 na série de máximos anuais afeta menos os resultados associados ao modelo DIANA, redução de 200 para 60 anos, do que os demais métodos considerados, redução respectivamente de 11740 para 670 anos (Gumbel) e de 2589 para 277 anos (exponencial).

#### REFERÊNCIA

KEIMAN, J.; DAMÁZIO, J.M.; COSTA, J.P.; (1983), "Geração de Séries Sintéticas de Vazões Diárias: Modelo DIANA", Revista Brasileira de Engenharia, ABRH, vol.1/Nº2.

Figura 1. Ajustes da Distribuição Normal às Séries de Vazões Máximas Anuais em Salto Santiago  
 Curva A - Ajustada à Série Completa  
 Curva B - Ajustada à Série Incompleta (sem o dado de 1983)

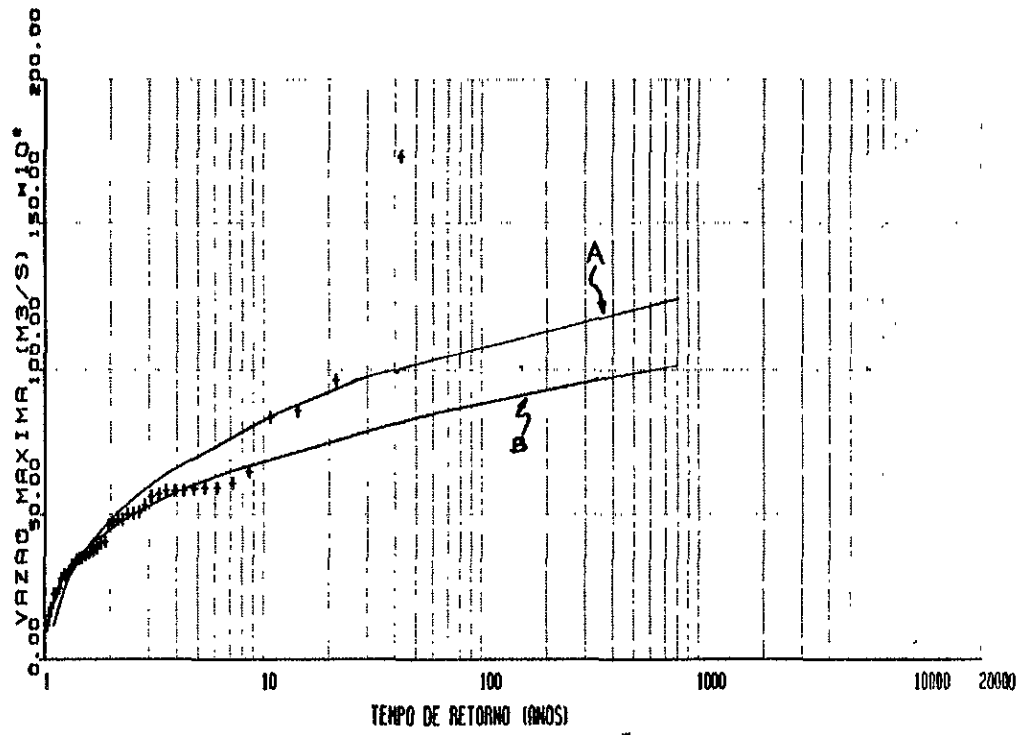


Figura 2. Ajustes da Distribuição de Gumbel à Série de Vazões Máximas Anuais em Salto Santiago  
 Curva A - Ajustada à Série Completa  
 Curva B - Ajustada à Série Incompleta (sem o dado de 1983)

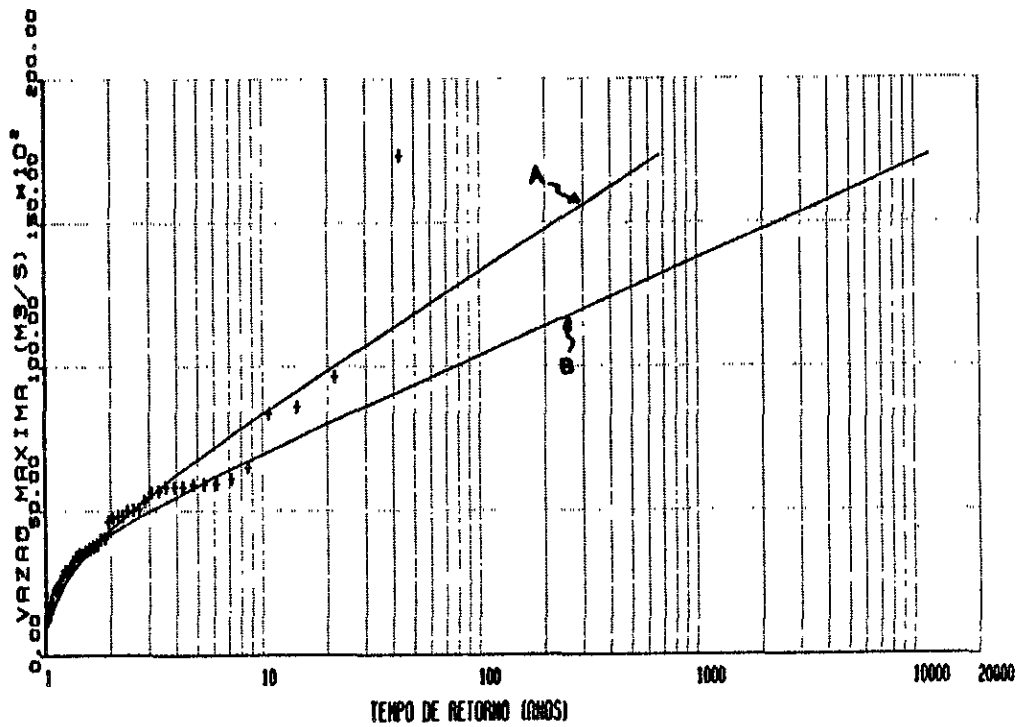


Figura 3. Ajustes da Distribuição Exponencial às Séries de Vazões Máximas Anuais em Salto Santiago  
 Curva A - Ajustada à Série Completa  
 Curva B - Ajustada à Série Incompleta (sem o dado de 1983)

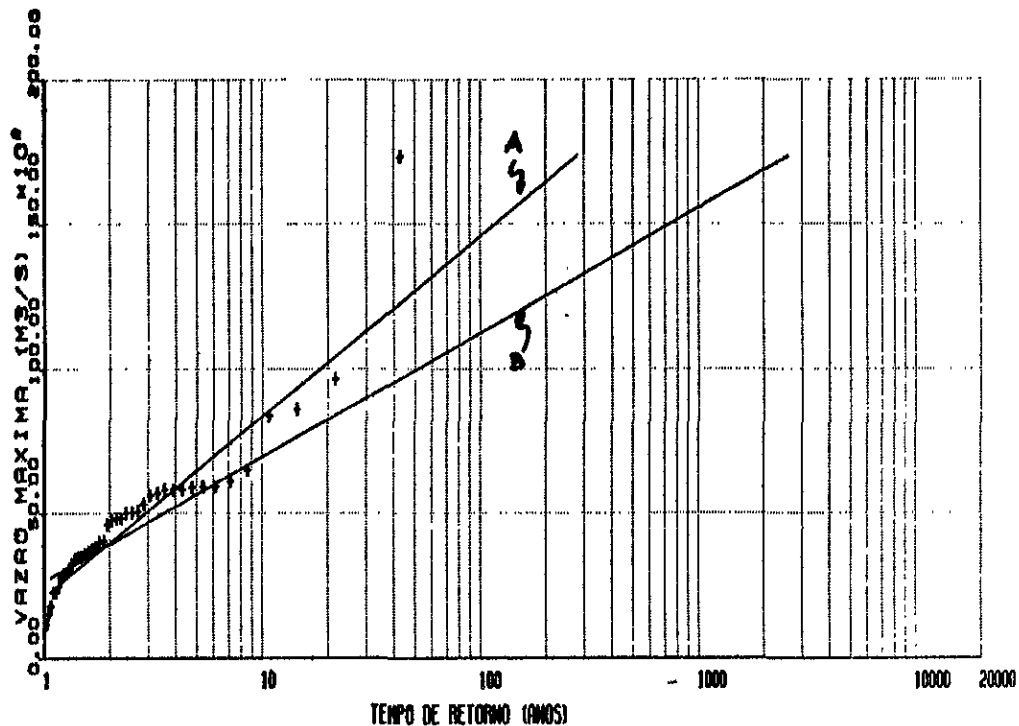
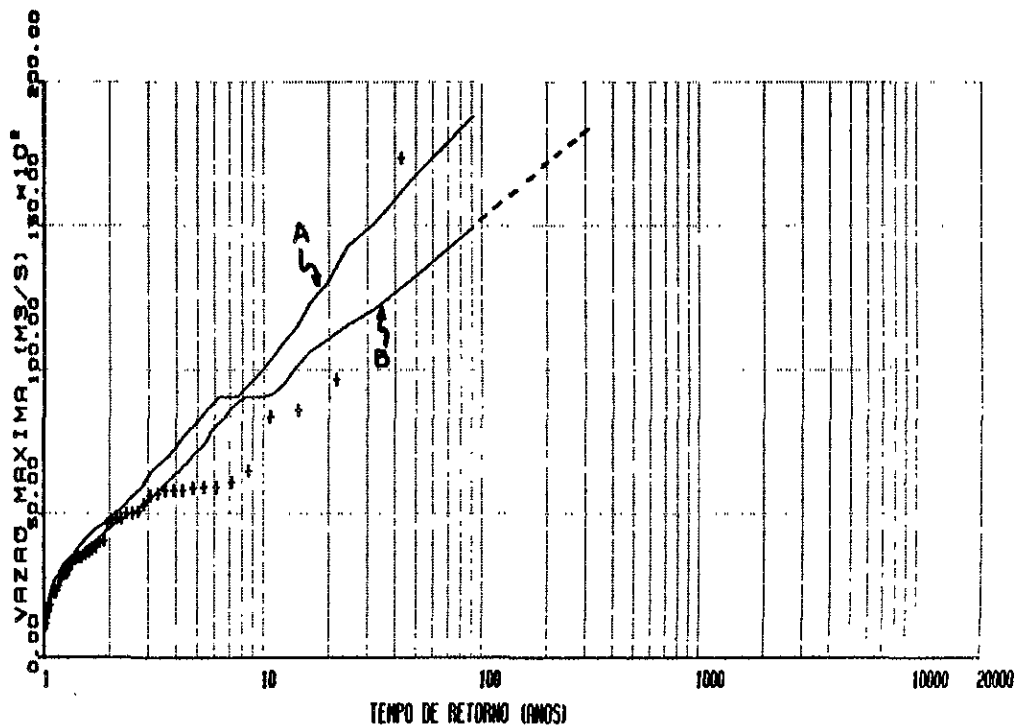


Figura 4. Ajustes das Séries de Máximos Anuais Geradas pelo Modelo DIANA à Série de Máximos Anuais em Salto Santiago  
 Curva A - Modelo Ajustado à Série Completa  
 Curva B - Modelo Ajustado à Série Incompleta (sem o dado de 1983)



THE FLOOD OF 1983 AT SALTO SANTIAGO ON IGUAÇU RIVER

by

J.KELMAN and J.M.DAMAZIO

ABSTRACT -- This paper presents an estimation of the return period of the flood occurred in 1983 on Brazilian South Region using synthetic daily flows generated by DIANA model (Kelman et al., 1983) for Salto Santiago gauging station on Iguaçú River.