

## O IMPACTO SÓCIO-AMBIENTAL DAS ENCHENTES NAS ÁREAS URBANAS DOS MUNICÍPIOS LOCALIZADOS ÀS MARGENS DO RIO TAQUARI

**META: Aprimorar o atual método matemático de previsão das cotas de enchentes**

Para o aprimoramento do método de previsão das cotas de enchentes, foram testados novos métodos matemáticos de ajustes de curvas por mínimos quadrados. Utilizando informações hidroclimatológicas, como o nível dos rios e a quantidade de chuvas através de uma série cronológica, coletados e adquiridos em vários órgãos e entidades regionais e estaduais, pretendíamos elaborar modelos matemáticos correlacionando pontos à montante e à jusante do Rio Taquari. As correlações previstas eram:

- Antônio Prado e Posto do Rio das Antas;
- Posto do Rio das Antas e Muçum;
- Muçum e Encantado;
- Encantado e Estrela;
- Estrela e Bom Retiro do Sul;
- Bom Retiro do Sul e Mariante.

Além destes, pretendíamos estudar os tributários do Rio Taquari:

- Santa Lúcia e Encantado;
- Marques de Souza (Rio Forqueta) e Estrela

Através das coletas de dados feitas, obtivemos a seguinte série cronológica:

Enchentes	Rio Taquari-Antas/Cotas Máximas			Dados ANA + correção de 27,77 da régua	Agência Nacional de Aguas
	Taquari	Mariante	Estrela	Encantado	Muçum
<b>18/07/1940</b>	-	-	26,40	-	15,12
<b>06/05/1941</b>	-	-	28,71	-	16,80
<b>18/11/1941</b>	-	-	25,93	-	-
<b>20/05/1942</b>	-	-	23,90	39,77	12,00
<b>03/08/1943</b>	-	-	-	35,07	6,30
<b>25/06/1944</b>	-	-	-	38,24	10,00
<b>31/07/1945</b>	-	-	-	36,45	8,90
<b>27/01/1946</b>	-	-	27,40	45,47	19,36
<b>30/09/1947</b>	-	-	-	35,02	7,52
<b>02/08/1948</b>	-	-	-	38,37	10,72
<b>16/07/1949</b>	-	-	-	36,8	9,30
<b>17/10/1950</b>	-	-	-	44,37	16,10
<b>19/10/1951</b>	-	-	-	36,38	8,72
<b>09/06/1952</b>	-	-	-	34,22	-
<b>16/09/1953</b>	-	-	-	41,26	13,40
<b>23/09/1954</b>	-	-	27,35	46,27	12,70
<b>19/05/1955</b>	-	-	-	38,07	10,47

06/04/1956	-	-	27,75	47,10	19,11
08/09/1957	-	-	-	40,9	-
12/06/1958	-	-	-	40,32	-
22/06/1959	-	-	-	44,34	16,75
01/09/1960	-	-	-	40,75	13,35
29/09/1961	-	-	-	41,41	13,83
20/09/1962	-	-	-	32,23	-
11/10/1963	-	-	-	40,17	12,91
02/09/1964	-	-	-	36,81	9,48
22/08/1965	-	-	25,90	46,23	19,11
05/08/1966	-	-	-	39,68	11,85
20/09/1967	-	-	-	44,17	16,40
07/11/1968	-	-	-	34,53	7,11
09/09/1969	-	-	-	34,71	7,76
08/07/1970	-	-	-	36,34	9,00
30/06/1971	-	-	-	-	10,80
28/08/1972	-	-	-	-	15,29
19/09/1973	-	-	-	-	12,78
10/06/1974	-	-	-	-	8,82
11/09/1975	-	-	-	-	11,66
09/08/1976	-	-	-	-	14,00
18/08/1977	-	-	-	-	15,26
22/07/1978	-	-	-	-	9,35
09/11/1979	-	-	-	-	10,68
23/08/1980	-	-	-	-	14,63
24/09/1981	-	-	-	-	10,10
29/06/1982	-	-	24,96	43,41	15,90
10/07/1983	8,62	-	24,75	41,73	-
07/08/1984	-	-	-	38,73	-
10/05/1985	-	-	-	37,26	10,26
11/10/1986	-	-	-	36,51	9,65
15/05/1987	-	-	-	38,58	-
15/09/1988	8,40	13,98	24,25	44,17	-
25/09/1989	8,98	14,52	25,90	46,36	-
02/06/1990	8,78	14,29	26,64	47,44	-
16/10/1990	8,38	12,38	22,10	40,89	-
27/12/1991	-	-	-	37,97	-
1992	-	-	-	-	-
05/07/1993	-	-	-	40,02	-
02/07/1994	-	-	-	36,85	10,14
21/07/1995	-	-	-	34,77	7,69
01/09/1996	-	-	-	36,04	-
05/08/1997	8,36	-	25,60	45,97	-
1998	-	-	-	-	-
21/07/1999	-	-	-	-	7,46
2000	-	-	-	-	-
22/07/2001	9,21	-	26,30	46,67	-
03/10/2001	9,65	-	26,95	47,77	-
13/06/2002	-	-	22,30	38,07	-
21/02/2003	-	-	21,75	42,77	-
09/07/2003	3,95	11,97	19,65	37,97	-
25/10/2003	1,16	12,77	20,73	39,22	-
15/12/2003	6,31	12,78	20,38	38,81	-
16/07/2004	3,18	8,05	15,17	34,68	7,10

16/09/2004	2,4	6,29	14,09	33,62	-
19/05/2005	5,73	11,15	20,94	40,72	-
15/06/2005	4,28	11,05	17,32	37,74	-
01/09/2005	-	4,88	17,35	37,99	-
17/10/2005	-	-	22,95	43,06	-
29/10/2005	4,28	-	15,77	36,22	-
27/07/2006	5,29	-	19,86	38,73	-
16/05/2007	2,99	-	15,72	33,16	-

Enchentes	Cotas Máximas		Rio Carreiro	Rio Guaporé	Rio Forqueta
	Veranópolis	Antonio Prado	Carreiro	Santa Lucia	M. de Souza
18/07/1940	-	-	-	-	-
06/05/1941	-	-	-	-	-
18/11/1941	-	-	-	-	-
20/05/1942	-	-	-	-	-
03/08/1943	-	-	-	-	-
25/06/1944	-	-	-	-	-
31/07/1945	-	-	-	-	-
27/01/1946	-	-	-	-	-
30/09/1947	-	-	-	-	-
02/08/1948	-	-	-	-	-
16/07/1949	-	-	-	-	-
17/10/1950	-	-	-	-	-
19/10/1951	-	-	-	-	-
09/06/1952	-	-	-	-	-
16/09/1953	-	-	-	-	-
23/09/1954	-	-	-	-	-
19/05/1955	-	-	-	-	-
06/04/1956	-	-	-	-	-
08/09/1957	-	-	-	-	-
12/06/1958	-	-	-	-	-
22/06/1959	-	-	-	-	-
01/09/1960	-	-	-	-	-
29/09/1961	-	-	-	-	-
20/09/1962	-	-	-	-	-
11/10/1963	-	-	-	-	-
02/09/1964	-	-	-	-	-
22/08/1965	-	-	-	-	-
05/08/1966	-	-	-	-	-
20/09/1967	-	-	-	-	-
07/11/1968	-	-	-	-	-
09/09/1969	-	-	-	-	-
08/07/1970	-	-	-	-	-
30/06/1971	-	-	-	-	-
28/08/1972	-	-	-	-	-
19/09/1973	-	-	-	-	-
10/06/1974	-	-	-	-	-
11/09/1975	-	-	-	-	-
09/08/1976	-	-	-	-	-

18/08/1977	-	-	-	-	-
22/07/1978	-	-	-	-	-
09/11/1979	-	-	-	-	-
23/08/1980	-	-	-	-	-
24/09/1981	-	-	-	-	-
29/06/1982	-	-	-	-	-
10/07/1983	16,58	-	7,30	7,30	-
07/08/1984	-	-	-	-	-
10/05/1985	-	-	-	-	-
11/10/1986	-	-	-	-	-
15/05/1987	-	-	-	-	-
15/09/1988	14,45	-	6,30	6,30	-
25/09/1989	13,88	-	-	-	-
02/06/1990	17,30	-	-	-	-
16/10/1990	13,83	-	-	-	-
27/12/1991	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-
05/07/1993	-	-	-	-	-
02/07/1994	-	-	-	-	-
21/07/1995	-	-	-	-	-
01/09/1996	-	-	-	-	-
05/08/1997	15,70	-	-	5,70	-
1998	-	-	-	-	-
21/07/1999	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-
22/07/2001	19,00	-	-	-	-
03/10/2001	20,80	-	-	-	-
13/06/2002	-	-	-	-	-
21/02/2003	-	-	-	-	-
09/07/2003	7,81	-	-	-	-
25/10/2003	13,46	-	3,21	-	-
15/12/2003	11,03	-	-	-	-
16/07/2004	8,87	-	-	-	-
16/09/2004	8,16	-	1,57	2,38	-
19/05/2005	13,30	-	-	-	-
15/06/2005	10,40	-	-	-	-
01/09/2005	11,73	-	-	3,46	-
17/10/2005	15,04	-	-	-	4,99
29/10/2005	10,50	-	-	6,21	4,02
27/07/2006	12,57	-	-	7,91	5,42
16/05/2007	8,32	-	3,24	-	1,56

Analisando estas séries cronológicas, obtivemos somente algumas poucas datas com registros comuns a dois postos distintos. Assim sendo, conseguimos estabelecer as correlações entre:

- Encantado e Estrela;
- Muçum e Encantado;
- Veranópolis e Estrela;
- Taquari e Mariante;
- Muçum e Estrela;
- Veranópolis e Encantado.

Os comparativos entre Taquari e Mariante, e entre Muçum e Estrela, apresentaram um coeficiente de correlação de Pearson considerado inadequado (0,6770 e 0,4557, respectivamente). Os demais tiveram um coeficiente de Pearson acima de 0,89.

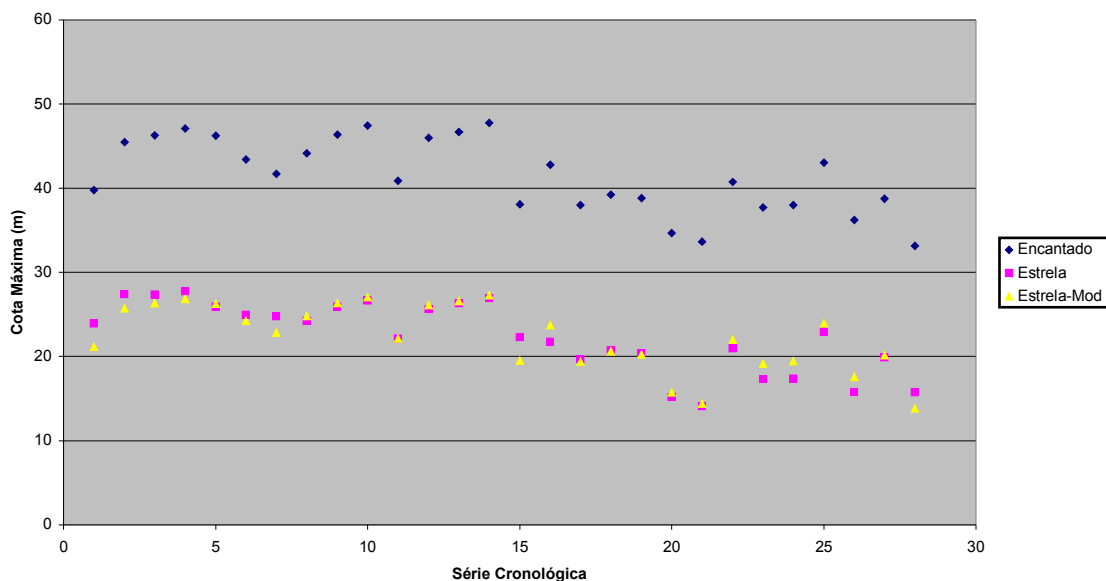
A seguir apresentamos os principais resultados obtidos.

Enchentes		X	Y	Modelagem	Diferença
Data	Pontos	Encantado	Estrela	Estrela	Real-Modelo
20/05/1942	1	39,77	23,90	21,15	2,75
27/01/1946	2	45,47	27,40	25,75	1,65
23/09/1954	3	46,27	27,35	26,31	1,04
06/04/1956	4	47,10	27,75	26,86	0,89
22/08/1965	5	46,23	25,90	26,28	-0,38
29/06/1982	6	43,41	24,96	24,23	0,73
10/07/1983	7	41,73	24,75	22,88	1,87
15/09/1988	8	44,17	24,25	24,81	-0,56
25/09/1989	9	46,36	25,90	26,37	-0,47
02/06/1990	10	47,44	26,64	27,09	-0,45
16/10/1990	11	40,89	22,10	22,16	-0,06
05/08/1997	12	45,97	25,60	26,10	-0,50
22/07/2001	13	46,67	26,30	26,58	-0,28
03/10/2001	14	47,77	26,95	27,30	-0,35
13/06/2002	15	38,07	22,30	19,51	2,79
21/02/2003	16	42,77	21,75	23,73	-1,98
09/07/2003	17	37,97	19,65	19,41	0,24
25/10/2003	18	39,22	20,73	20,64	0,09
15/12/2003	19	38,81	20,38	20,24	0,14
16/07/2004	20	34,68	15,17	15,77	-0,60
16/09/2004	21	33,62	14,09	14,44	-0,35
19/05/2005	22	40,72	20,94	22,01	-1,07
15/06/2005	23	37,74	17,32	19,18	-1,86
01/09/2005	24	37,99	17,35	19,43	-2,08
17/10/2005	25	43,06	22,95	23,96	-1,01
29/10/2005	26	36,22	15,77	17,56	-1,79
27/07/2006	27	38,73	19,86	20,17	-0,31
16/05/2007	28	33,16	15,72	13,84	1,88

PEARSON	0,9460	média	0,00
		desvio-padrão	4,03
Modelo	$y=A/x+B$		
A=	-1459,52		
B=	57,8512		

A partir da curva de ajuste, obtivemos o seguinte gráfico:

Cotas Máximas de Cheias de Encantado e de Estrela, e de Estrela Modelado a Partir de Encantado,  
 $y=-1459,52/x+57,8512$ ,  $R=0,9460$



Em continuidade, obtivemos a correlação entre

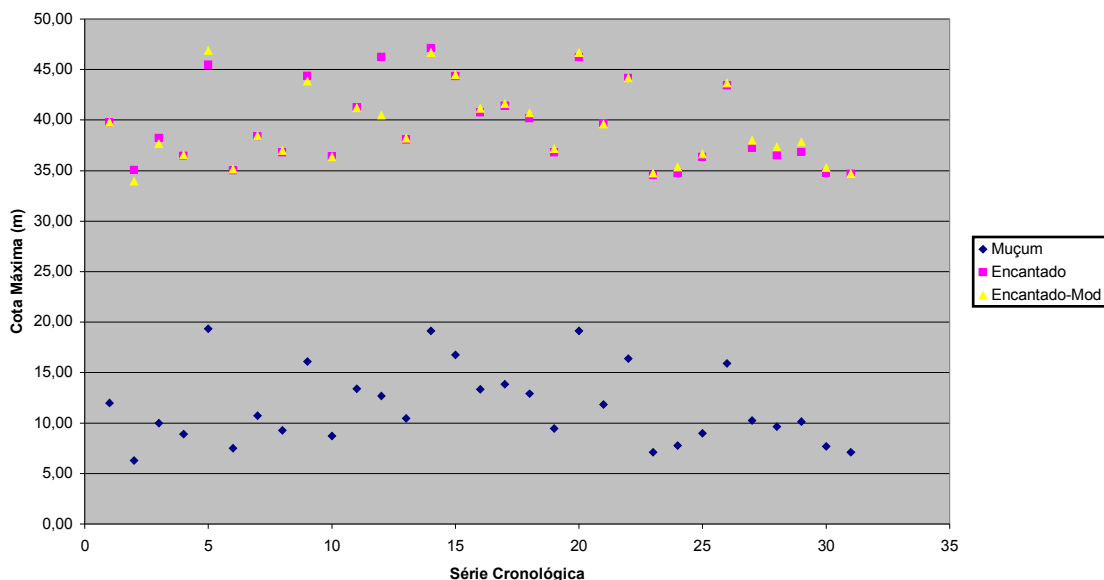
Enchentes	Cotas Máximas	Agencia Nacional de Aguas	ANA+27,77 correção régua	Modelagem	Diferença
		X	Y		Real-Modelo
Data	Postos	Muçum	Encantado	Encantado	Diferença
20/05/1942	1	12,00	39,77	39,78	-0,01
03/08/1943	2	6,30	35,07	33,94	1,13
25/06/1944	3	10,00	38,24	37,70	0,54
31/07/1945	4	8,90	36,45	36,55	-0,10
27/01/1946	5	19,36	45,47	46,90	-1,43
30/09/1947	6	7,52	35,02	35,12	-0,10
02/08/1948	7	10,72	38,37	38,45	-0,08
16/07/1949	8	9,30	36,8	36,96	-0,16
17/10/1950	9	16,10	44,37	43,86	0,51
19/10/1951	10	8,72	36,38	36,36	0,02
16/09/1953	11	13,40	41,26	41,20	0,06
23/09/1954	12	12,70	46,27	40,49	5,78
19/05/1955	13	10,47	38,07	38,19	-0,12
06/04/1956	14	19,11	47,10	46,67	0,43
22/06/1959	15	16,75	44,34	44,48	-0,14
01/09/1960	16	13,35	40,75	41,15	-0,40
29/09/1961	17	13,83	41,41	41,63	-0,22
11/10/1963	18	12,91	40,17	40,71	-0,54
02/09/1964	19	9,48	36,81	37,15	-0,34
22/08/1965	20	19,11	46,23	46,67	-0,44
05/08/1966	21	11,85	39,68	39,62	0,06
20/09/1967	22	16,40	44,17	44,14	0,03
07/11/1968	23	7,11	34,53	34,71	-0,18
09/09/1969	24	7,76	34,71	35,36	-0,65
08/07/1970	25	9,00	36,34	36,65	-0,31

29/06/1982	26	15,90	43,41	43,66	-0,25
10/05/1985	27	10,26	37,26	37,97	-0,71
11/10/1986	28	9,65	36,51	37,33	-0,82
02/07/1994	29	10,14	36,85	37,85	-1,00
21/07/1995	30	7,69	34,77	35,29	-0,52
16/07/2004	31	7,10	34,68	34,70	-0,02

PEARSON	0,9540	média	0,00
		desvio-padrão	3,88
Modelo	$y=A*x^B/\ln(x)$		
A=	16,8325		
B=	0,712402		

O que originou, a partir da curva de ajuste,

Cotas Máximas de Cheias de Muçum e de Encantado, e de Encantado Modelado a Partir de Muçum:  
 $y=16,8325*x^{0,712402}/\ln(x)$ ,  $R=0,9540$



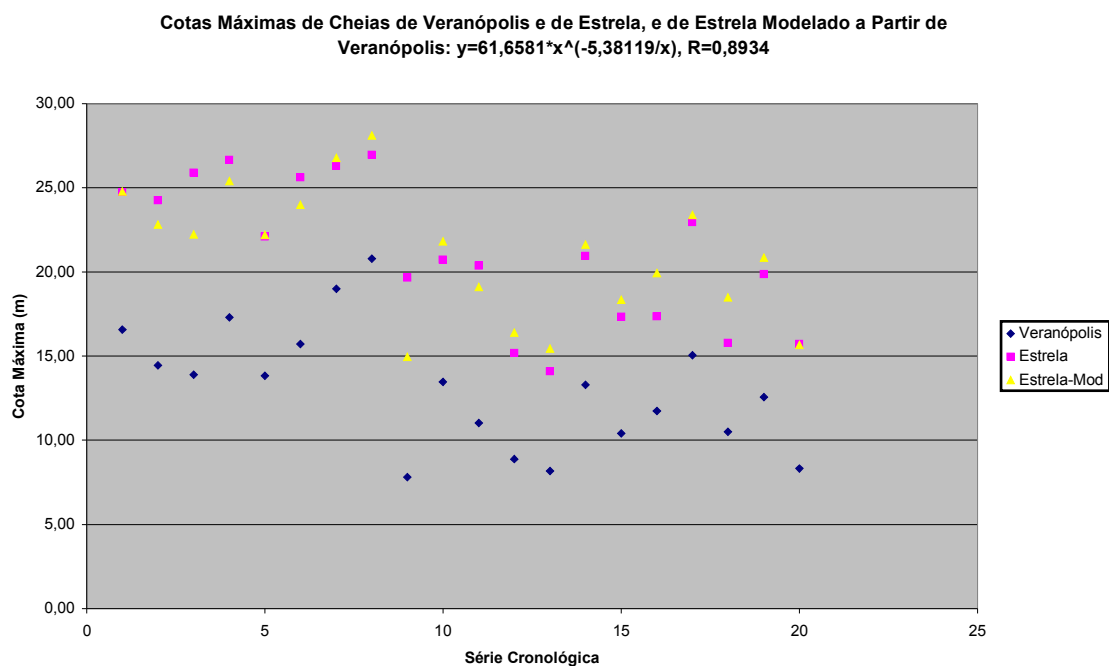
Em prosseguimento, correlacionamos

Enchentes	Cotas Máximas	X	Y	Modelagem	Diferença Real-Modelo
Data	Postos	Veranópolis	Estrela	Estrela	Diferença
10/07/1983	1	16,58	24,75	24,78	-0,03
15/09/1988	2	14,45	24,25	22,81	1,44
25/09/1989	3	13,88	25,90	22,24	3,66
02/06/1990	4	17,30	26,64	25,40	1,24
16/10/1990	5	13,83	22,10	22,19	-0,09
05/08/1997	6	15,70	25,60	23,99	1,61
22/07/2001	7	19,00	26,30	26,78	-0,48
03/10/2001	8	20,80	26,95	28,12	-1,17
09/07/2003	9	7,81	19,65	14,96	4,69

25/10/2003	10	13,46	20,73	21,81	-1,08
15/12/2003	11	11,03	20,38	19,11	1,27
16/07/2004	12	8,87	15,17	16,40	-1,23
16/09/2004	13	8,16	14,09	15,44	-1,35
19/05/2005	14	13,30	20,94	21,64	-0,70
15/06/2005	15	10,40	17,32	18,36	-1,04
01/09/2005	16	11,73	17,35	19,93	-2,58
17/10/2005	17	15,04	22,95	23,38	-0,43
29/10/2005	18	10,50	15,77	18,48	-2,71
27/07/2006	19	12,57	19,86	20,86	-1,00
16/05/2007	20	8,32	15,72	15,66	0,06

PEARSON	0,8934	média	0,00
		desvio-padrão	3,96
Modelo	$y=A*x^{(B/x)}$		
A=	61,6581		
B=	-5,38119		

Mais uma vez, após o ajuste, obtivemos o gráfico correspondente:



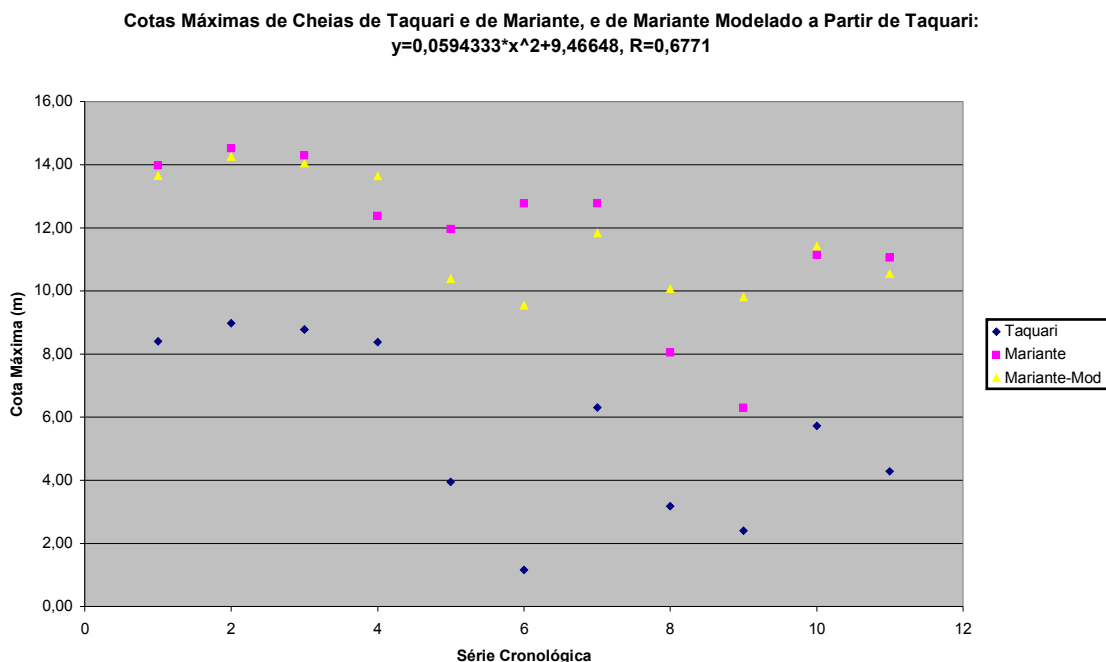
Posteriormente, correlacionamos

Enchentes	Cotas	Rio Taquari-Antas		Modelagem	Diferença
	Máximas	X	Y		Real-Modelo
Data	Pontos	Taquari	Mariante	Mariante	Diferença
15/09/1988	1	8,40	13,98	13,66	0,32
25/09/1989	2	8,98	14,52	14,26	0,26
02/06/1990	3	8,78	14,29	14,05	0,24
16/10/1990	4	8,38	12,38	13,64	-1,26

09/07/2003	5	3,95	11,97	10,39	1,58
25/10/2003	6	1,16	12,77	9,55	3,22
15/12/2003	7	6,31	12,78	11,83	0,95
16/07/2004	8	3,18	8,05	10,07	-2,02
16/09/2004	9	2,40	6,29	9,81	-3,52
19/05/2005	10	5,73	11,15	11,42	-0,27
15/06/2005	11	4,28	11,05	10,56	0,49

PEARSON	0,6771	média	0,00
		desvio-padrão	2,18
Modelo	y=A*x^2+B		
A=	0,0594333		
B=	9,46648		

Desta forma, originamos o gráfico



Note que o gráfico acima já apresenta um coeficiente de correlação R baixo. O mesmo acontece com os dados abaixo:

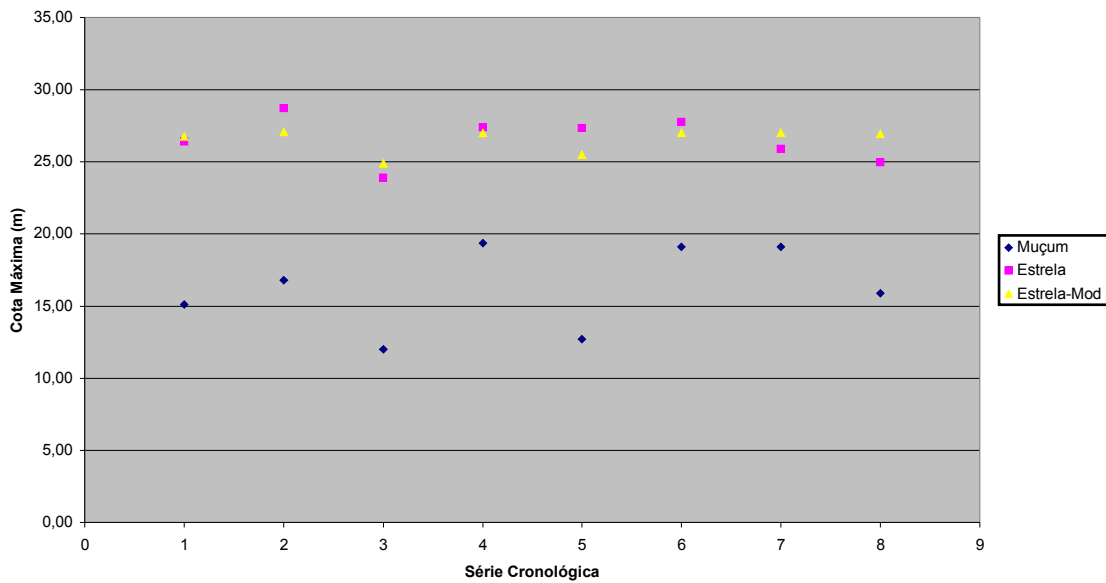
Enchentes	Cotas Máximas	Agencia Nacional de Aguas			Diferença
		X	Y	Modelagem	Real-Modelo
Data	Pontos	Muçum	Estrela	Estrela	Diferença
18/07/1940	1	15,12	26,40	26,77	-0,37
06/05/1941	2	16,80	28,71	27,08	1,63
20/05/1942	3	12,00	23,90	24,90	-1,00
27/01/1946	4	19,36	27,40	27,00	0,40
23/09/1954	5	12,70	27,35	25,51	1,84
06/04/1956	6	19,11	27,75	27,03	0,72
22/08/1965	7	19,11	25,90	27,03	-1,13

29/06/1982	8	15,90	24,96	26,96	-2,00
------------	---	-------	-------	-------	-------

PEARSON	0,4557	média	0,01
		desvio-padrão	1,2230
Modelo	$y=A \cdot e^{(B/x)/x}$		
A=	1301,6		
B=	-17,6611		

Cujo gráfico correlacionado é dado por

**Cotas Máxima de Cheias de Muçum e de Estrela, e de Estrela Modelado a Partir de Muçum:**  
 $y=1301,6 \cdot e^{(-17,661/x)/x}$ ,  $R=0,4557$



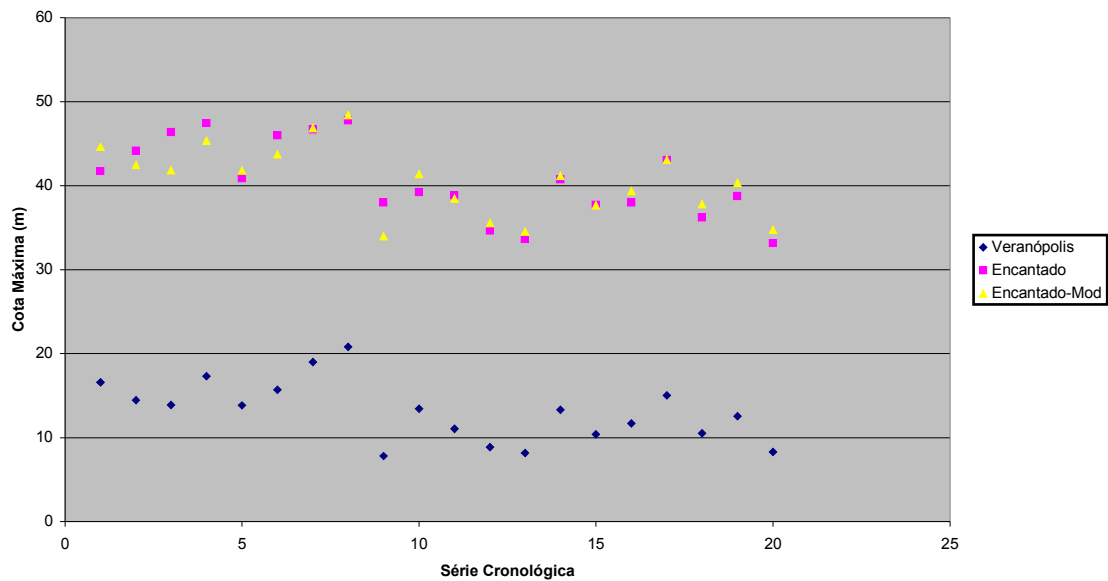
Finalmente, correlacionamos Encantado a partir de Veranópolis:

Enchentes	Cotas Máximas de Cheias		Dados ANA + correção de 27,77 da régua	Modelagem	Diferença
Data					Real-Modelo
	Pontos	Veranópolis	Encantado	Encantado	Diferença
10/07/1983	1	16,58	41,73	44,65	-2,92
15/09/1988	2	14,45	44,17	42,47	1,7
25/09/1989	3	13,88	46,36	41,85	4,51
02/06/1990	4	17,30	47,44	45,34	2,1
16/10/1990	5	13,83	40,89	41,8	-0,91
05/08/1997	6	15,70	45,97	43,77	2,2
22/07/2001	7	19,00	46,67	46,88	-0,21
03/10/2001	8	20,80	47,77	48,4	-0,63
09/07/2003	9	7,81	37,97	33,98	3,99
25/10/2003	10	13,46	39,22	41,38	-2,16
15/12/2003	11	11,03	38,81	38,48	0,33
16/07/2004	12	8,87	34,68	35,56	-0,88
16/09/2004	13	8,16	33,62	34,51	-0,89
19/05/2005	14	13,30	40,72	41,2	-0,48
15/06/2005	15	10,40	37,74	37,66	0,08
01/09/2005	16	11,73	37,99	39,35	-1,36
17/10/2005	17	15,04	43,06	43,1	-0,04
29/10/2005	18	10,50	36,22	37,79	-1,57
27/07/2006	19	12,57	38,73	40,36	-1,63
16/05/2007	20	8,32	33,16	34,75	-1,59

PEARSON	0,9014	Média	-0,02
		Desvio-padrão	4,3320
Modelo	$y=\text{sqr}(A-(x-B)^2)$		
A=	3879,66		
B=	60,0111		

O que originou o gráfico

Gráfico de Cotas Máxima de Cheias de Veranópolis e de Encantado, e de Encantado Modelado a Partir de Veranópolis:  $y = \sqrt{3879,66 - (x - 60,0111)^2}$ ,  $R = 0,9014$

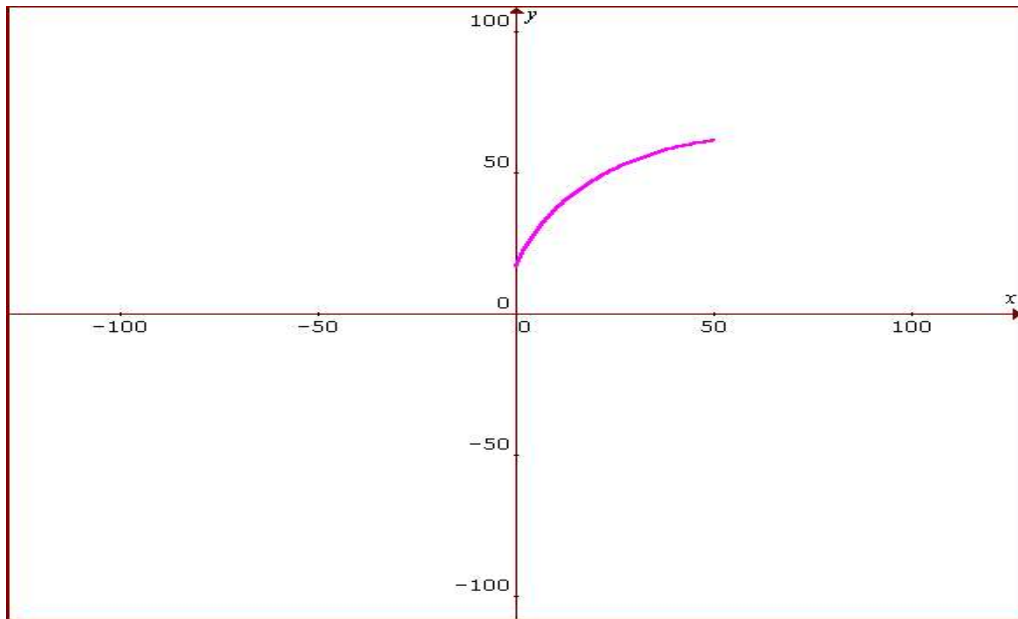


Cabe aqui uma observação final. Para a obtenção dos modelos matemáticos dos ajustes de curvas citados acima, utilizamos o *software* LabFit, o qual simula, a partir de uma lista de 500 funções previamente selecionadas, aquelas que melhor se adequam aos dados originais, baseando-se nos coeficientes R de Pearson e Qui quadrado reduzido. Neste trabalho, utilizamos sempre a melhor função indicada pelo referido *software*.

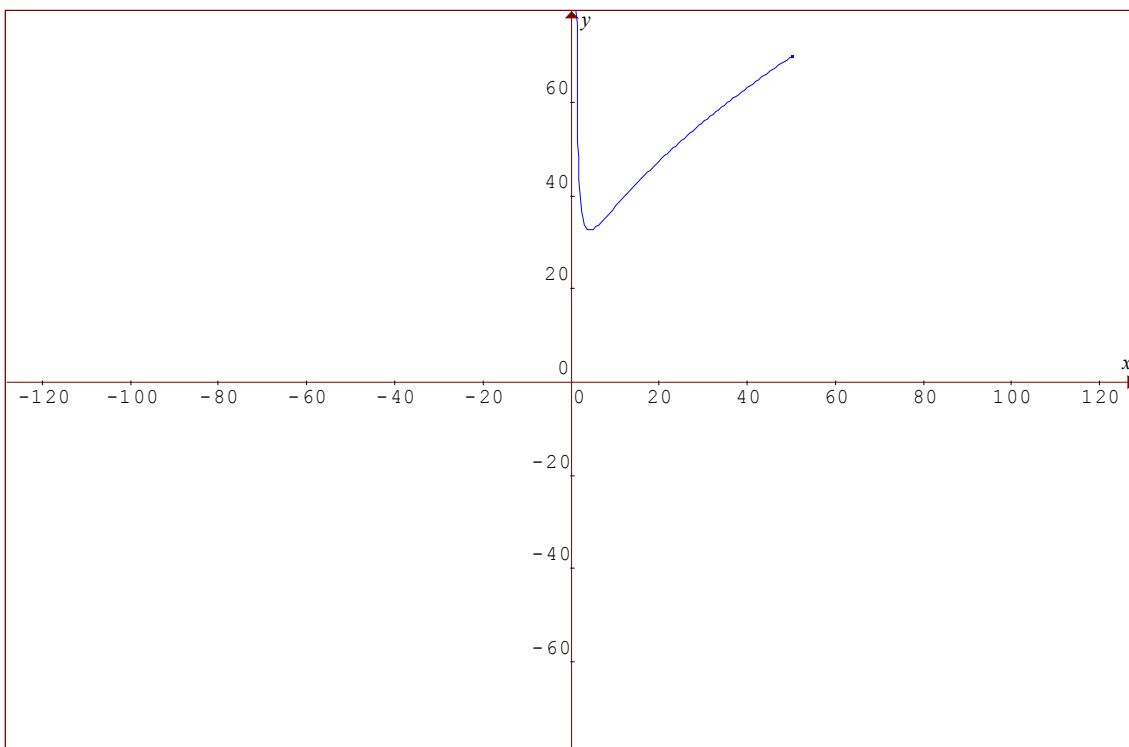
Como conclusão desta etapa de simulação, podemos dizer que agora, para os pares de pontos indicados acima, podemos estabelecer uma estimativa de cota máxima de cheia à jusante, a partir das respectivas cotas de cheias à montante. A cada leitura das cotas à montante, a equação modelada sugere um valor correspondente de cota máxima à jusante. Nosso objetivo é de continuar aprimorando os modelos propostos, analisando agora a interferência das precipitações nos tributários do Rio Taquari.

Encerramos apresentando os gráficos das funções modeladas, segundo as descrições acima. Para tal, utilizamos o *software* Graphmatica. O domínio das funções foi utilizado como sendo o intervalo  $0 < x < 50$ , uma vez que as cotas superiores de cheias verificadas não ultrapassaram estes valores. Observe ainda que, fazendo uso destas funções, é possível, a cada instante de medição de cota verificada à montante, estimar a cota modelada no ponto à jusante. Com isto, pode-se tomar decisões estratégicas de desocupação das áreas urbanas inundáveis com mais antecedência, colaborando com a defesa civil.

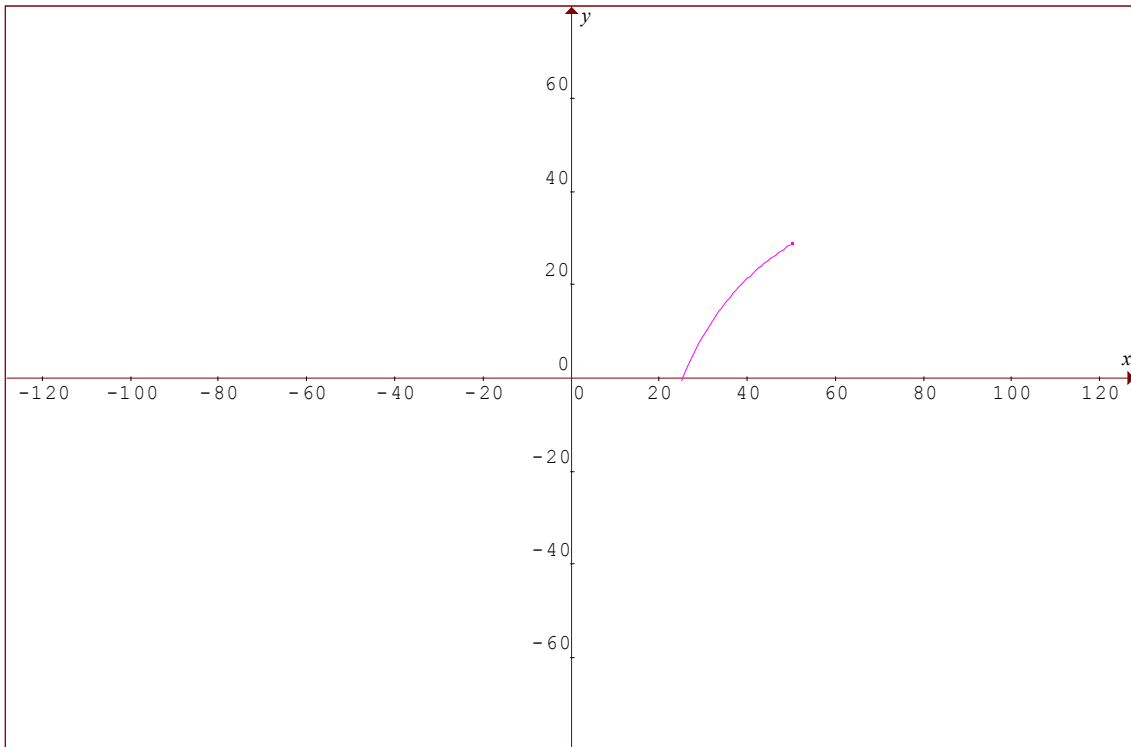
**Modelagem Matemática das Cotas de Cheias de Encantado em Função das de Veranópolis, a Partir da Função  $y = \sqrt{38,7966 - (x - 60,0111)^2}$ , com  $R = 0,9014$**



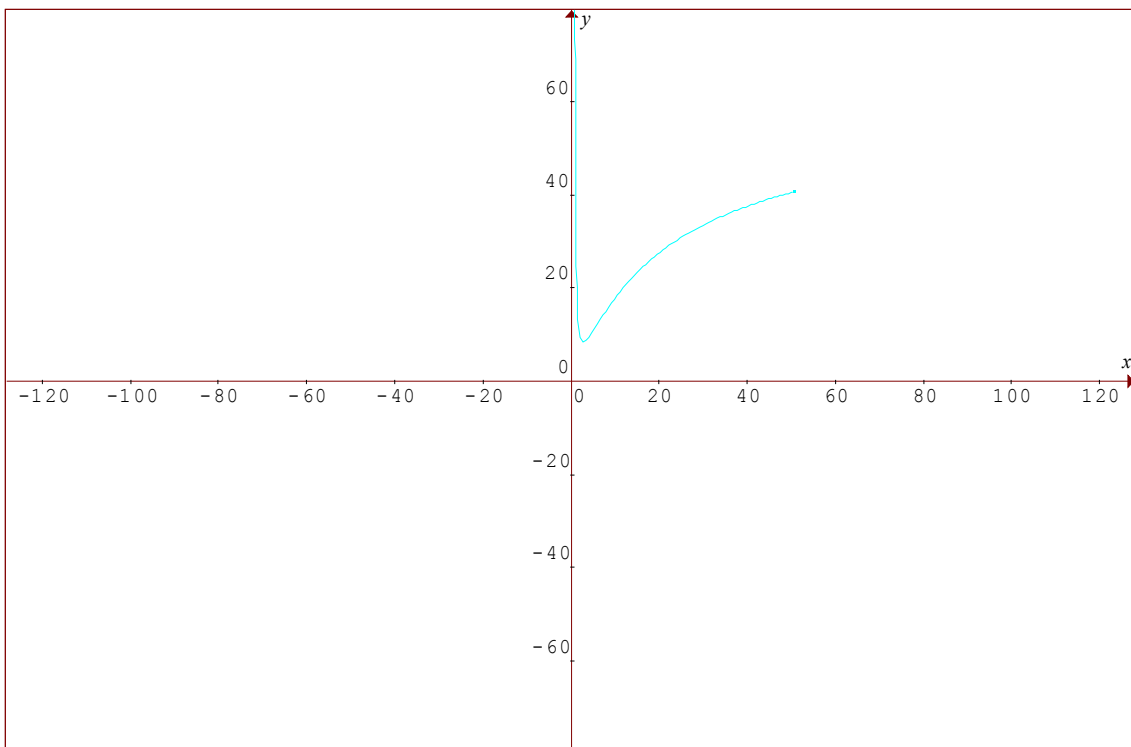
**Modelagem Matemática das Cotas de Cheias de Muçum em Função das de Encantado, a Partir da Função  $y = \frac{16,8325 \cdot x^{0,712402}}{\ln(x)}$ , com  $R=0,9539$**



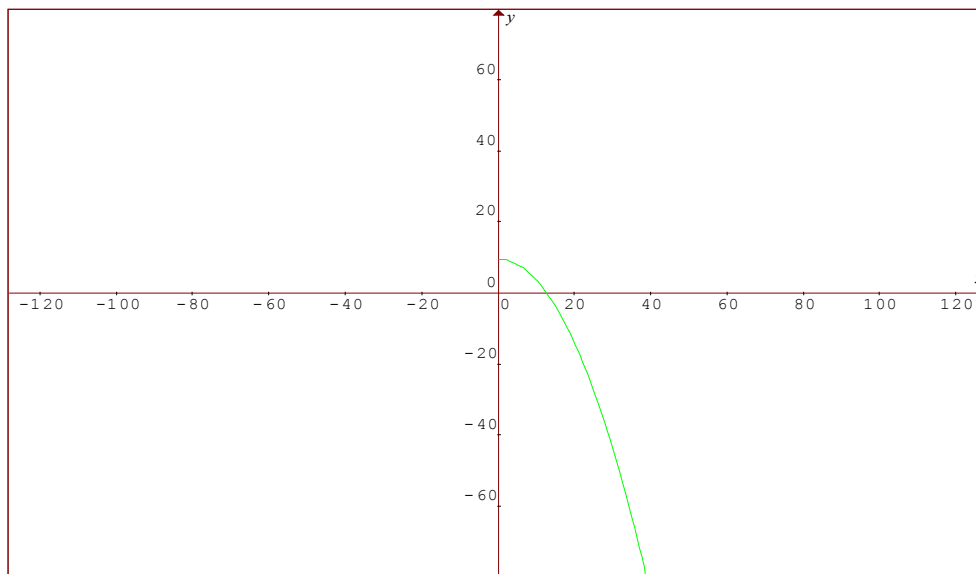
**Modelagem Matemática das Cotas de Cheias de Estrela em Função das de Encantado, a Partir da Função  $y = \frac{-1459,52}{x} + 57,8512$ , com  $R=0,9459$**



**Modelagem Matemática das Cotas de Cheias de Estrela em Função das de Veranópolis, a Partir da Função  $y = 61,6581 \cdot x^{\frac{-5,38119}{x}}$ , com  $R=0,8934$**



**Modelagem Matemática das Cotas de Cheias de Mariante em Função das de Taquari, a Partir da Função  $y = -0,0594333 \cdot x^2 + 9,46648$ , com  $R=0,6770$**



**Modelagem Matemática das Cotas de Cheias de Estrela em Função das de Muçum, a Partir da Função  $y = \frac{1301,60 \cdot e^{\frac{-17,6611}{x}}}{x}$ , com  $R=0,4557$**

