

CPRM

Serviço Geológico do Brasil

CURVA-CHAVE COM TRÊS TRAMOS CONSECUTIVOS AJUSTADA COM UMA ÚNICA FUNÇÃO OBJETIVO NÃO LINEAR

Francisco Marcuzzo

francisco.marcuzzo@cprm.gov.br



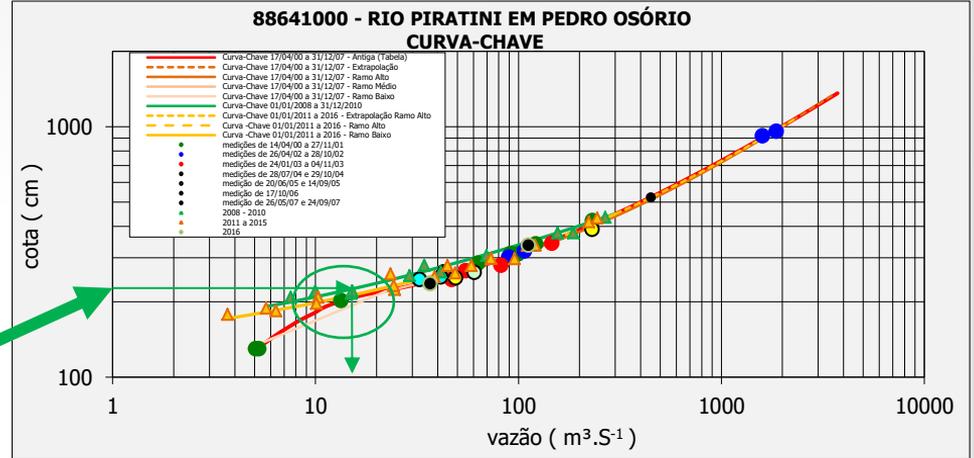
ABRH
Associação Brasileira de
Recursos Hídricos

XXII SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis - SC



Transformação Cota-Vazão

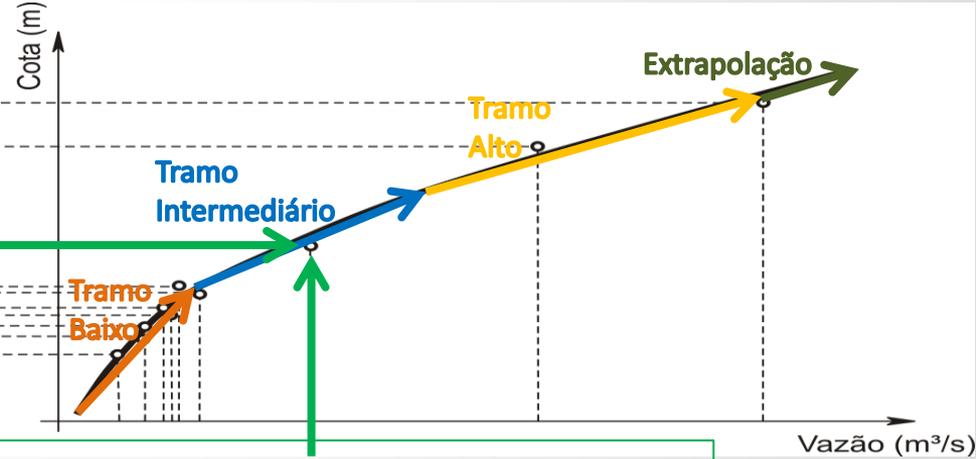
Observação do Nível do Curso D'Água



- **Leitura de cotas as 07 e as 17 horas diariamente.**
- **No escritório a cota é convertida em vazão utilizando a curva chave.**

Traçado da Curva-Chave

Nível do Curso D'Água
(Leitura na Régua)



Vazão Medida
(Efeito Doppler, Molinete, Etc.)

Hidro 1.2 - [Banco de Dados - Bd8_HIDRO_SUREG_PA]

Sistema Editar Exibir Registros Janela Ajuda

Curva de Descarga

Banco de Dados [Bd8_HIDF - Registros Permanentes]

Planos

- Programas de Orç
- Inventário
- Bacias
- Sub-bacias
- Rios
- Estados
- Municípios
- Entidades
- Estações
- Séries
- Cotas Médias
- Cotas 2 Leituras
- Cotas Horárias
- Vazões Horárias
- Vazões Médias
- Chuvvas Diárias
- Chuvvas 2 Leituras
- Chuvvas Horárias
- Clima
- Qualidade da Água
- Resumo de Desc
- Medição de Des
- Medição de Des
- Sedimentos
- Granulometria
- Curva de Descar
- Perfil Transversal

Funções

- Estadísticas
- Cotas Médias
- Vazões Médias
- Chuvvas Diárias
- Curva de Permanênc
- Cotas Médias
- Vazões Médias
- Chuvvas Diárias
- Vazões
- Mínimas
- Clima
- Estações
- Calcular Distribui
- Diagrama de D

Gráficos

- Cotas
- Vazões
- Chuvvas
- Clima
- Qualidade da Água
- Sedimentos
- Granulometria
- Curva de Descarga
- Perfil Transversal
- Chuva & Vazão
- Chuva & Cota

Código: Sub-bacia: Consultar

100 listados (máximo de 100)

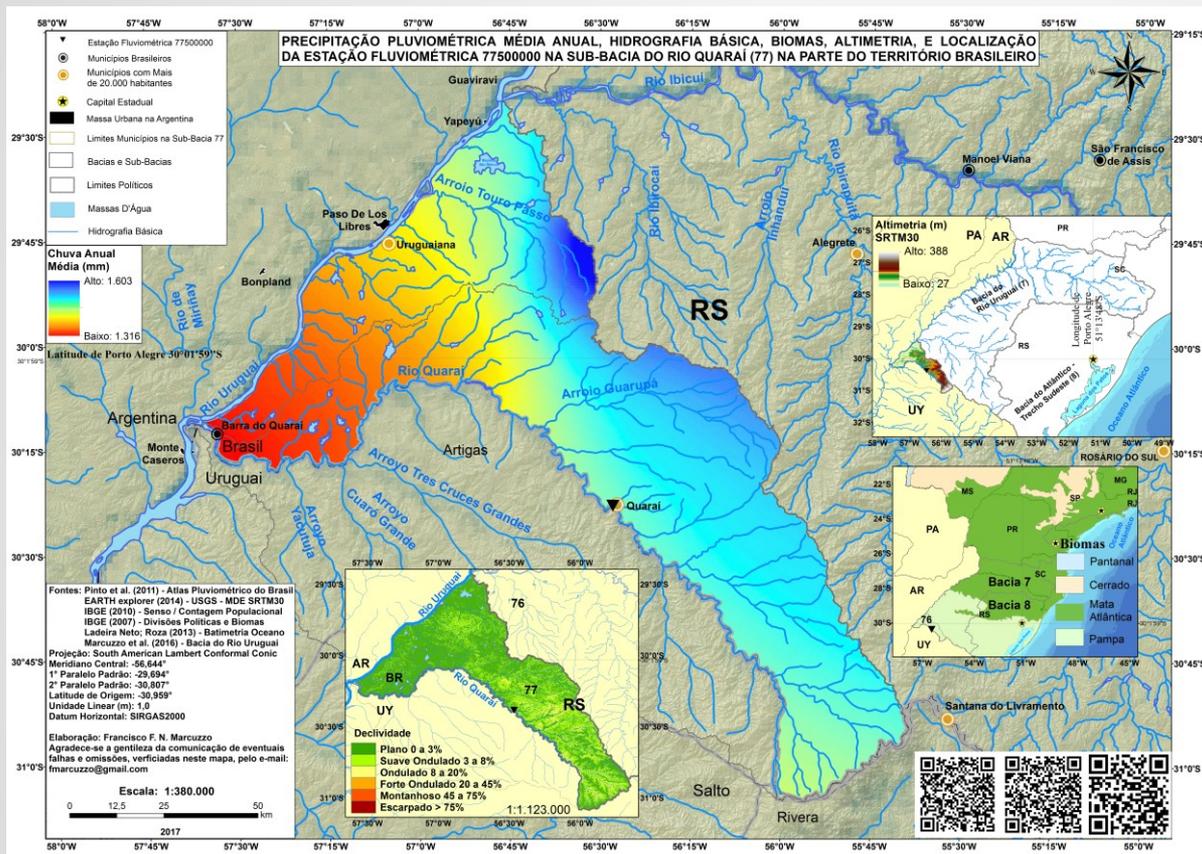
Estação	Nível de consistência	Validade início	Validade fim	Cota máxima (cm)	Cota mínima (cm)	Tipo de curva	Número da curva	Tipo de equação
75186000	Consistido	03/06/2002	31/12/2010	200	40	Tabela	01/01	
85735000	Consistido	01/06/2002	31/12/2010	790	90	Tabela	01/1	
70100000	Consistido	21/04/1976	31/12/2010	530	10	Tabela	01/1	
70200000	Consistido	01/01/1985	29/09/1996	840	30	Tabela	01/1	
70200000	Consistido	30/09/1996	31/12/2010	870	30	Tabela	02/1	
70300000	Consistido	01/01/1982	10/02/1996	840	20	Tabela	01/1	
70300000	Consistido	11/02/1998	31/12/2010	680	20	Tabela	02/1	
70500000	Consistido	01/01/1979	31/12/2010	790	60	Tabela	01/1	
71200000	Consistido	01/01/1996	31/12/2010	1200	70	Tabela	02/1	
71200000	Consistido	01/01/1985	31/12/1995	1200	78	Equação	01/1	Potência
71250000	Consistido	01/01/1996	27/08/1997	870	40	Tabela	02/1	
71250000	Consistido	28/06/1997	31/12/2010	870	40	Tabela	03/1	
71250000	Consistido	01/01/1985	31/12/1995	748	1	Equação	01/1	Potência
71300000	Consistido	01/01/1996	31/12/2010	1330	30	Tabela	01/1	
71350001	Consistido	01/01/1996	12/04/2002	1000	80	Tabela	03/1	
71350001	Consistido	13/04/2002	31/12/2010	1000	80	Tabela	04/1	
71383000	Consistido	01/01/1996	31/12/2010	1000	50	Tabela	01/1	
71498000	Consistido	01/01/1996	31/12/2010	1040	130	Tabela	01/1	
71550000	Consistido	01/01/1996	31/12/2010	620	90	Tabela	01/1	
72430000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	1345	66	Equação	01/1	Potência
72530000	Consistido	21/06/1997	31/12/2010	1300	30	Tabela	02/1	
72680000	Consistido	12/07/1996	31/12/2010	1200	20	Tabela	02/1	
72715000	Consistido	14/12/2003	31/12/2010	450	80	Tabela	01/04	
72810000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	570	56	Equação	01/1	Potência
72849000	Consistido	13/12/1985	31/12/2010	90	30	Tabela	02/1	
72849000	Consistido	13/12/1985	31/12/2010	930	90	Tabela	02/1	
72870000	Consistido	12/02/1996	31/12/2010	220	60	Tabela	02/1	
72870000	Consistido	12/02/1996	31/12/2010	700	220	Tabela	02/1	
73330000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	350	20	Tabela	01/1	
73330000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	800	350	Tabela	01/1	
73350000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	1100	40	Tabela	01/1	
73480000	Consistido	30/04/1994	31/07/2008	1100	130	Tabela	02/1	
73550000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	2100	1050	Tabela	01/1	
73550000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	1050	80	Tabela	01/1	
73600000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	800	30	Tabela	01/1	
73600000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	900	80	Tabela	01/1	
73693000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	960	10	Tabela	01/1	
73693000	Consistido	03/04/2000	31/12/2008	300	50	Tabela	01/1	
73765000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	670	60	Tabela	01/1	
73765000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	60	59	Tabela	01/1	Potência
73770000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	1110	20	Equação	01/1	
73780000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	830	10	Tabela	01/1	
73820000	Consistido	17/07/1994	31/12/2010	750	100	Tabela	02/1	
73900000	Consistido	17/12/2000	31/12/2010	870	40	Tabela	02/1	
73960000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	860	90	Tabela	01/1	
74100000	Consistido	01/01/1996	31/12/2010	1350	50	Tabela	01/1	
74205000	Consistido	10/12/1998	31/12/2010	17	13	Tabela	02/1	
74205000	Consistido	10/12/1998	31/12/2010	810	40	Tabela	02/1	
74205000	Consistido	10/12/1998	31/12/2010	20	17	Tabela	02/1	
74205000	Consistido	10/12/1998	31/12/2010	40	20	Tabela	02/1	
74270000	Consistido	17/04/1998	31/12/2010	1500	50	Tabela	02/1	
74295000	Consistido	21/05/1997	31/12/2010	630	30	Tabela	02/1	
74300000	Consistido	24/05/2000	31/12/2010	60	50	Tabela	01/1	
74300000	Consistido	24/05/2000	31/12/2010	980	60	Tabela	01/1	
74320000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	-10	-13	Tabela	01/1	
74320000	Consistido	01/01/1985	31/12/2010	840	-10	Tabela	01/1	

Restrições:

Objetivo:

Apresentar um método prático de utilização da ferramenta *solver*, disponível em planilhas de gerenciamento de dados, no ajuste da equação potencial de uma mesma curva-chave subdividida em três tramos (três equações unidas por duas relações cota e vazão).

Caracterização geral da região de localização da estação fluviométrica

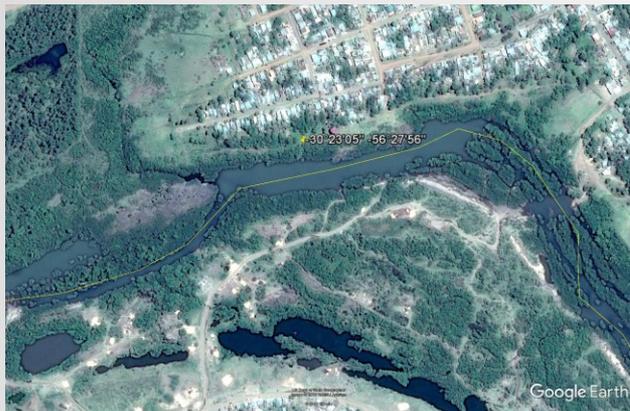


A estação fluviométrica com medição de descarga líquida (FD) utilizada neste estudo (Quaraí – 77500000) esta localizada no município de Quaraí/RS na bacia do Rio Uruguai (Figura), que em sua parte brasileira, é denominada bacia 7.

A bacia do Rio Uruguai (número 7) faz parte da região hidrográfica de número 11, chamada Região Hidrográfica do Uruguai. Os principais rios da sub-bacia 77 são: Uruguai, Quaraí e Arroio Guarupá.

A precipitação pluviométrica média anual na sub-bacia 77 varia de 1.316 a 1.603mm.ano⁻¹, segundo os dados Atlas Pluviométrico do Brasil interpretados para este estudo.

Caracterização geral da região de localização da estação fluviométrica



Hidro 1.2 - [Estação (7750000), QUARAI]

Sistema Editar Exibir Imagens Janela Ajuda

Estação Descrição Histórico Imagens

Identificação
 Código: 0202003 Nome: QUARAI Código adicional: ANA Tipo: Fluviométrica

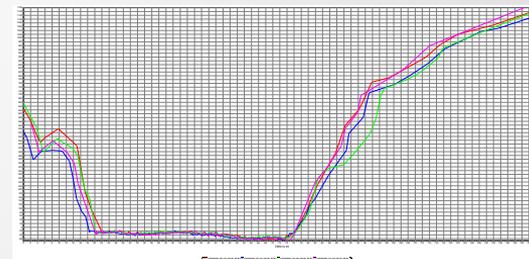
Localização
 Bacia (código/home): 7 RIO URUGUAI
 Sub-bacia (código/home): 77 RIOS URUGUAI QUARAI E OUTROS
 Rio (código/home): 77101000 RIO QUARAI
 Estado (código/home): 24 RIO GRANDE DO SUL
 Município (código/home): 24153000 QUARAI

Coordenadas
 Latitude (±5G MM SS): -30 23 05 Altitude (m): 80,00
 Longitude (±5GG MM SS): -56 27 56 Área de drenagem (km²): 4570,00

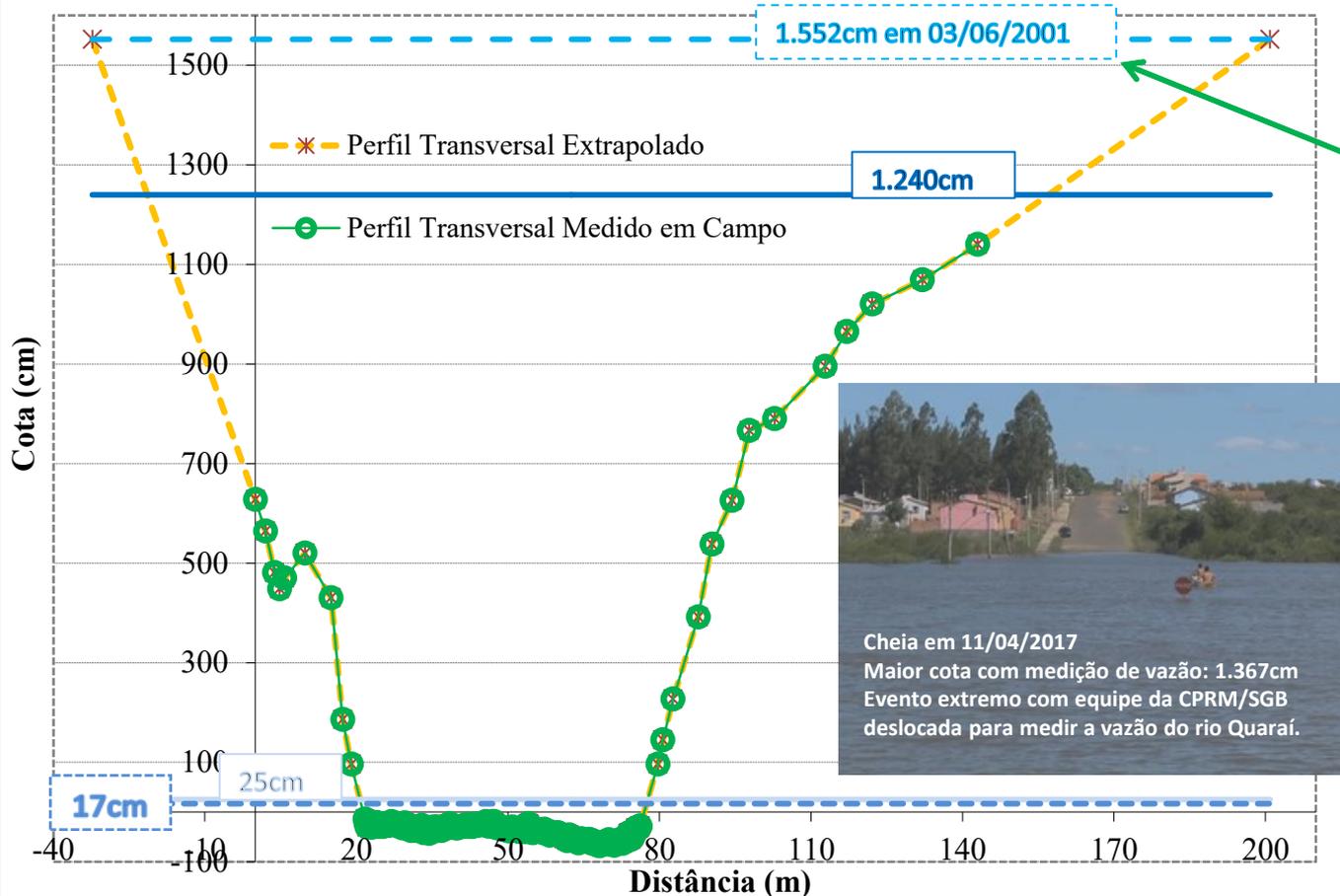
Entidades
 Responsável (código/UF/justiça/água): 00001 27 01 ANA
 Operadora (código/UF/justiça/água): 00082 24 14 CPRM

Qualidade da água (Q)
 Escala (F): 07/1941
 Regime de nível (F): 07/1941
 Descarga líquida (S): 03/1993
 Sedimentos (S): 03/1993
 Qualidade da água (Q): 03/1989
 Fluxômetro (F):
 Regime de chuva (F):
 Evaporimétrica (E):
 Climatológica (C):
 Piezométrica (P):
 Telermétrica (T): 06/2004

Rio: Bacia: Sim Curso d'água: Afluentes Sedimentos: Sim Ativação: Última atualização: 09/06/2016
 Energética: Não Entalógica: Não Qualidade da água: Água doce classe 2
 Navegação: Sim Captação: Uso geral Classe de vazão: Vazão observada



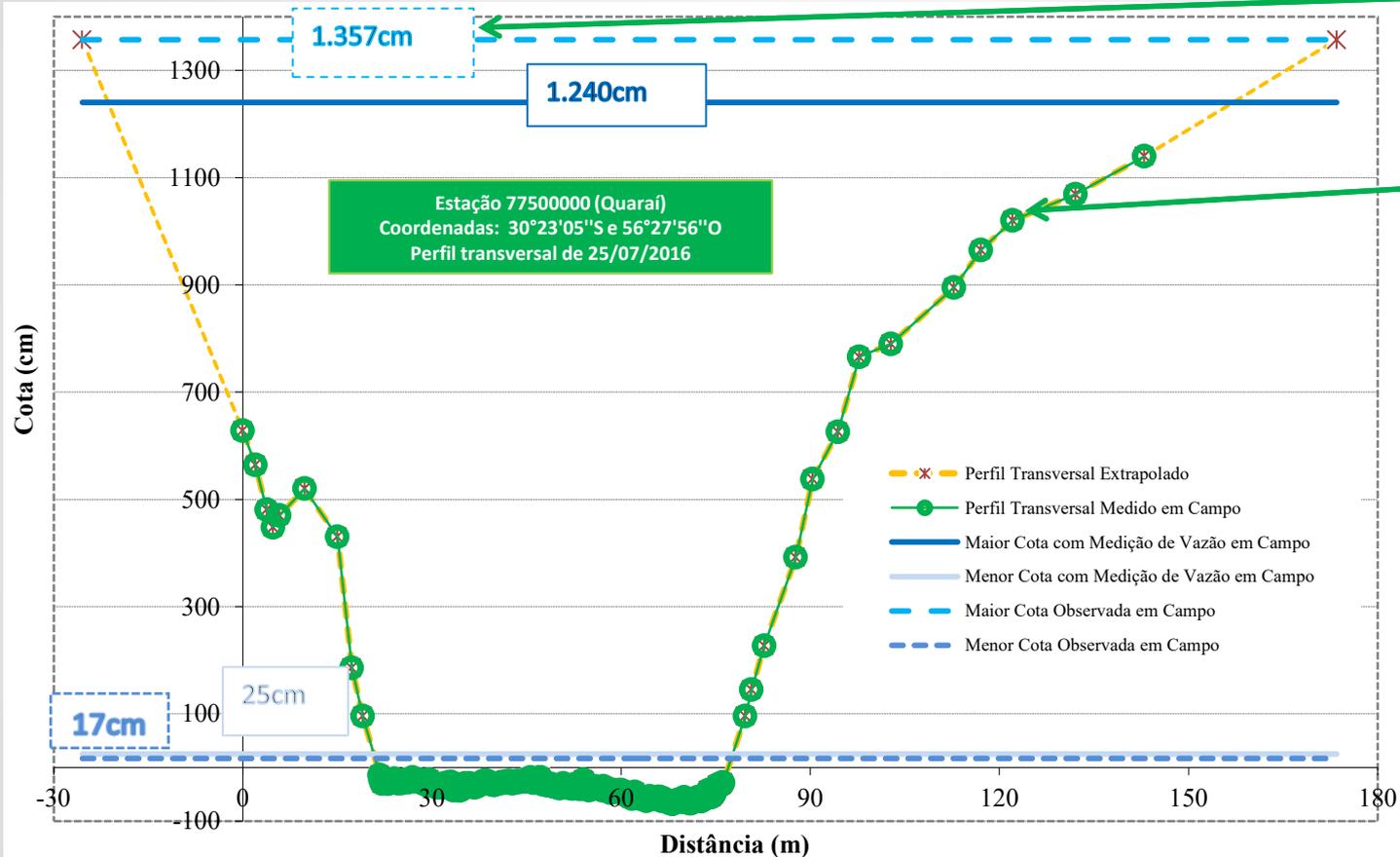
Caracterização da estação fluviométrica FD 77500000



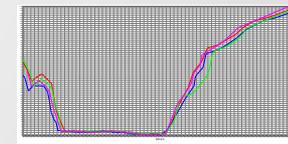
A maior cota observada na série histórica (12/08/1941 a 31/03/2017) foi de 1.552cm, em 03/06/2001 as 7h00, contudo a curva-chave a seguir, da estação fluviométrica Quarai, código: 77500000, serve para as cotas observadas de 01/01/2007 a 31/03/2017 (curva-chave traçada com: tramo baixo com sete medições, intermediário com 21 medições e alto com seis medições), cuja maior cota observada foi de 1.357cm no dia 12/11/2013 as 7h00:

Caracterização da estação fluviométrica FD 77500000

A curva-chave serve para as cotas observadas de 01/01/2007 a 31/03/2017 cuja maior cota observada foi de 1.357cm no dia 12/11/2013 as 7h00:



Margem direita



Os critérios mínimos qualitativos da equação potencial de curva-chave, como as restrições de h_0 menor ou igual a menor cota observada da série histórica, entre outras, seguiram os critérios estabelecidos na [Nota Técnica nº 245/2011/SGH da Agência Nacional de Águas \(ANA, 2011\)](#). Na aplicação utilizou-se a seguinte função objetivo (FO) no ajuste:

$$\text{Min FO} = \sum_{i=1}^m \text{DA}t_j + \dots + \text{DA}t_i$$

Em que: $\text{DA}t_{ji}$ é o somatório do desvio absoluto de cada tramo da curva-chave, seguindo os critérios de restrições dos parâmetros da curva potencial estabelecido por [ANA \(2011\)](#).

$$Q_{\text{Calculada}} = a(h - h_0)^n$$

Outras restrições a serem observadas sobre os parâmetros da equação da vazão calculada:

A) $h_0 \leq$ cota mínima registrada pelo observador.

B) a sem restrições.

C) $n > 1$ ($\geq 1,001$). Os valores do coeficiente n , em sua maioria ficam entre 1 e 2,5; Contudo, em alguns casos, com extravasamento, o n poder ser maior que 5 (página 9 de <http://hydrology-project.gov.in/%5Cdownload%5Cmanuals%5CSurfaceWater%5CWaterLevel%5C29HOWTOESTABLISHSTAGEDISCHARGERATINGCURVE.pdf> e página 31 da Nota Técnica da Sub-Bacia 13 (nº 245/2011/SGH-ANA)).

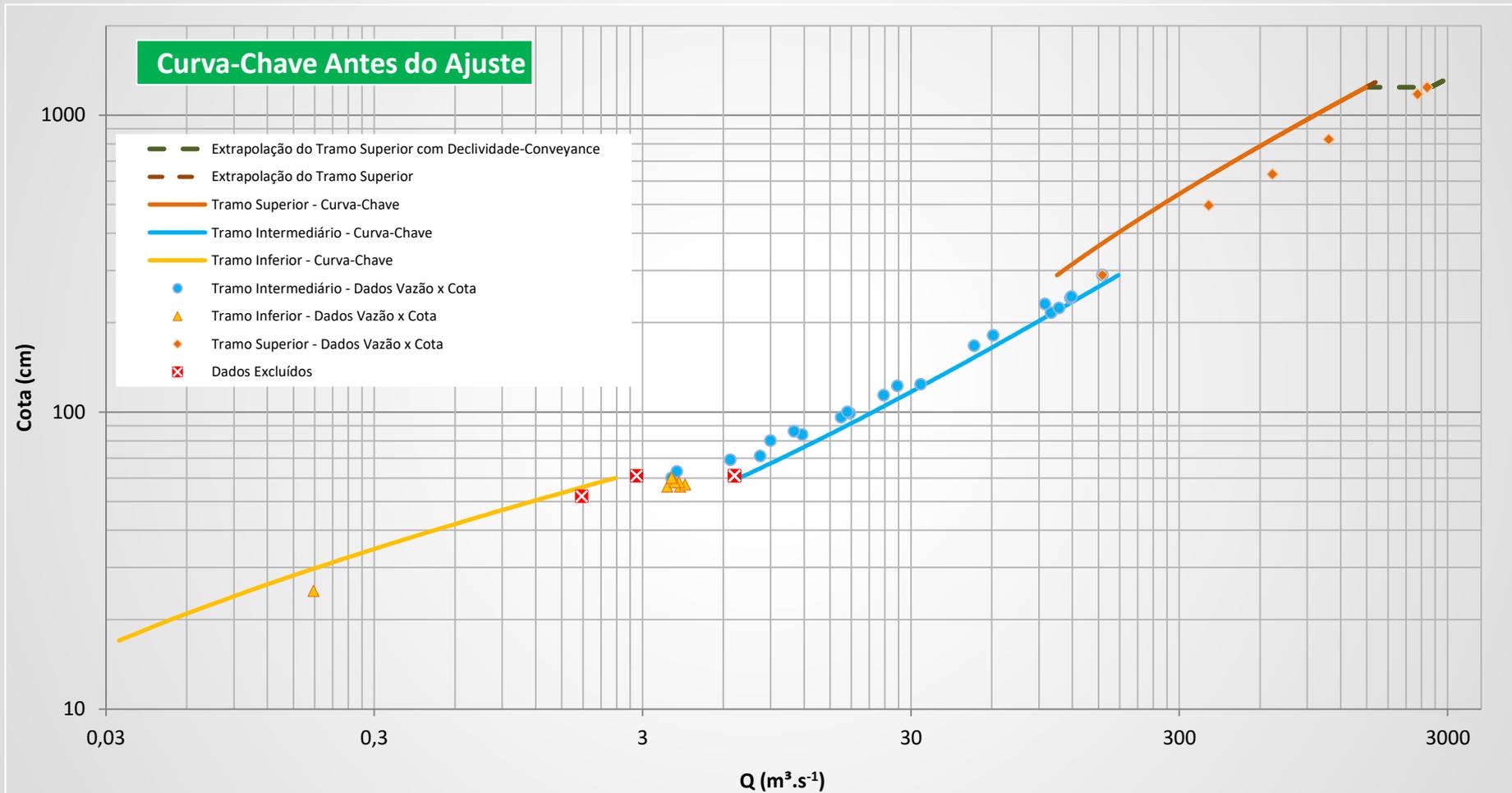
D) h_3 entre h_1 e h_2 . (JACON e CUDO, 1989)

E) Q_3 entre Q_1 e Q_2 . (JACON e CUDO, 1989)

F) Restrições de desvio absoluto máximo para o conjunto de desvio e algum desvio local para ajuste da curva.

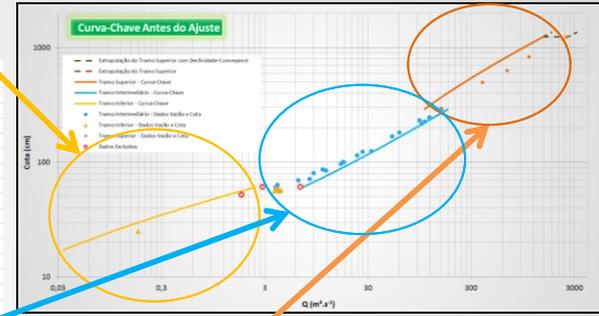
G) O HIDRO só aceita h_0 com dois dígitos depois da vírgula e a e n com três dígitos depois da vírgula.

Antes do Ajuste



Aplicação do método no gerenciador de planilhas

1	Data	Número da medição	Cota (cm)	Vazio (m ³ .s ⁻¹)	Área molhada (m ²)	Largura (m)	Velocidade média (m.s ⁻¹)	Profundidade (m)	Vazão calculada	Erro	Erro absoluto	
2	Tramo Inferior											
3	28/01/2012	64	25	0,178	3,06	23,5	0,13	0,06	0,1	73,83	73,83%	
4	25/10/2010	59	52	1,28	54,2	61,5	0,033	0,88	Excluído			
5	06/12/2007	50	56	3,712	10,2655	29,8	0,362	0,34	1,8	105,7	105,74%	
6	06/12/2007	51	56	4,141	10,68	29,8	0,388	0,36	1,8	129,5	129,52%	
7	01/03/2011	60	57	4,32	10,3	29,1	0,418	0,35	1,9	123,3	123,27%	
8	31/01/2014	71	58	4,1	9,91	29	0,414	0,342	2,1	97,77	97,77%	
9	27/03/2015	74	58	3,958	57,981	61,507	0,068	0,94	2,1	90,92	90,92%	
10	20/05/2009	54	60	3,85	17,8	30	0,355	0,36	2,4	62,24	62,24%	
11	Tramo Intermediário											
13	20/05/2009	54	60	3,85	10,8	30	0,355	0,36	6,9	44,12	44,12%	
14	19/08/2009	55	61	2,85	10,4	30	0,275	0,35	Excluído			
15	31/03/2010	57	61	6,61	13,3	30	0,496	0,44	Excluído			
16	25/07/2012	66	63	4,03	11,2	29,1	0,361	0,38	7,7	47,92	47,92%	
17	01/02/2017	80	69	6,364	66,919	62,999	0,095	1,06	9,6	33,47	33,47%	
18	09/10/2008	53	71	8,22	14	30,4	0,585	0,46	10,2	19,51	19,51%	
19	19/10/2013	70	80	9	14,99	30,6	0,6	0,49	13,4	32,61	32,61%	
20	16/05/2011	61	84	11,8	19,3	31,5	0,611	0,613	14,9	-20,65	20,65%	
21	10/06/2014	72	86	11	72,3	61,6	0,152	1,17	15,7	-29,74	29,74%	
22	25/07/2016	78	96	16,495	77,565	60,513	0,213	1,28	19,8	-16,88	16,88%	
23	10/06/2013	69	99	17,768	81,8	62,27	0,217	1,31	21,2	-16,14	16,14%	
24	23/04/2012	65	100	17,4	82,2	62	0,212	1,33	21,6	-19,61	19,61%	
25	10/11/2016	79	114	23,741	87,04	63,47	0,273	1,37	28,5	-16,64	16,64%	
26	19/10/2011	63	123	26,7	96,5	61,8	0,276	1,36	33,0	-19,17	19,17%	
27	26/06/2008	52	124	32,6	102	62,3	0,321	1,64	33,9	-3,74	3,74%	
28	10/08/2015	75	167	51,586	122,019	63,859	0,423	1,91	61,6	-16,28	16,28%	
29	26/10/2015	76	181	60,823	131,601	64,095	0,462	2,05	72,2	-15,7	15,7%	
30	23/08/2007	49	216	99,9	154	64,7	0,647	2,38	101,9	-1,98	1,98%	
31	23/08/2007	48	224	107	165	69	0,65	2,36	109,3	-2,11	2,11%	
32	12/03/2013	68	231	94,794	173,4	66,47	0,547	2,61	116,0	-18,3	18,27%	
33	31/03/2007	46	242	118	180	70	0,659	2,57	126,8	-6,97	6,97%	
34	31/03/2007	47	245	119	180	70	0,66	2,57	129,9	-8,37	8,37%	
35	04/08/2011	62	289	155	206	68	0,749	3,03	178,0	-12,91	12,91%	
36	Tramo Superior											
38	04/08/2011	62	289	155	206	68	0,749	3,03	105,1	47,43	47,43%	
39	11/10/2014	73	496	385,903	339,465	87,445	1,137	3,88	255,6	50,96	50,96%	
40	11/04/2016	77	632	667,565	712,761	182,99	0,937	3,90	396,7	68,29	68,29%	
41	21/07/2010	58	828	1082	1272	262	0,851	4,85	663,5	63,07	63,07%	
42	25/11/2009	56	1176	2320	2579	614	0,9	4,2	1336,3	73,61	73,61%	
43	10/10/2012	67	1240	2515,066	2415,8	651,5	1,112	3,71	1489,4	68,87	68,87%	



Tramo Inferior - Soma		683,29	683%
a	10,000000		
h0	-0,15		
n	5,0000		
Maior Desvio Absoluto	129,52%		
Maior Cota Medida em Campo	1240,0		
Menor Cota Medida em Campo	25,0		
Maior Cota Observada	1357,0		
Menor Cota Observada	17,0		
Menor Cota Considerada Nesta Curva	60,0		
Menor Cota Considerada Nesta Curva	17,00	0,17	
Curva de 01/01/1996 até 31/12/2016	H entre yy e yy'		
Q = a * (H - h0) ^ n	H entre 17 e 60		
Q = 10 * (H - -0,15) ^ 5			
Tramo Intermediário - Soma		-402,84	403%
a	29,000000		
h0	0,15		
n	1,8000		
Maior Desvio Absoluto	47,92%		
Maior Cota Medida em Campo	1240,0		
Menor Cota Medida em Campo	25,0		
Maior Cota Observada	1357,0		
Menor Cota Observada	60,0		
Menor Cota Considerada Nesta Curva	289,0		
Menor Cota Considerada Nesta Curva	60,0	0,6001	
Curva de 01/01/1996 até 31/12/2016	H entre yy e yy'		
Q = a * (H - h0) ^ n	H entre 60,01 e 289		
Q = 29 * (H - 0,15) ^ 1,8			
Tramo Superior - Soma		928,29	973%
a	3,500000		
h0	-1,50		
n	2,3000		
Maior Desvio Absoluto	73,61%		
Maior Cota Medida em Campo	1240,0		
Menor Cota Medida em Campo	25,0		
Maior Cota Observada	1357,0		
Menor Cota Observada	21,0		
Menor Cota Considerada Nesta Curva	1240,0		
Menor Cota Considerada Nesta Curva	289,0	2,8901	
Curva de 01/01/1996 até 31/12/2016	H entre yy e yy'		
Q = a * (H - h0) ^ n	H entre 289,01 e 1240		
Q = 3,5 * (H - -1,5) ^ 2,3	18577129 ^ 2,46252152211705		
Maior Desvio	129,52%		
Soma Desvios Total	652,68	1458,35%	

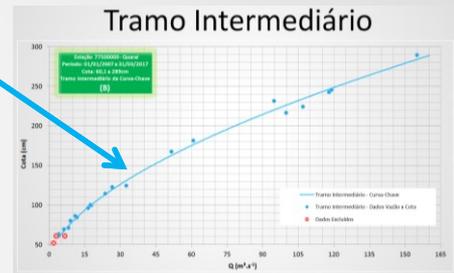
Antes do Ajuste

$$\text{Min FO} = \sum_{i=1}^m \text{DAT}_j + \dots + \text{DAT}_i$$

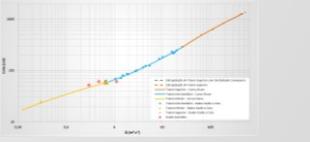
Além das restrições dos parâmetros da curva-chave mostrados na Nota Técnica nº 245/2011/SGH da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011), estabeleceu-se neste ajuste o critério de maior desvio entre vazão calculada e medida em campo menor que 22%, e que a vazão calculada na junção dos três tramos deveria ser igual, de modo a se obter um seguimento único, caracterizando uma única curva-chave (mesmo sendo composta por três tramos com equações com parâmetros diferentes).

Aplicação do método no gerenciador de planilhas

1	Data	Número da medição	Cota (cm)	Vazão (m ³ .s ⁻¹)	Área molhada (m ²)	Largura (m)	Velocidade média (m.s ⁻¹)	Profundidade (m)	Vazão calculada	Erro	Erro absoluto	Tramo Inferior - Soma	24,12	86%
2	Tramo Inferior													
3	28/01/2012	64	25	0,178	3,06	23,5	0,13	0,06				a	18,936312	
4	25/10/2010	59	52	1,78	54,2	61,5	0,033	0,88	Excluído	0,2	-18,10	h0	-0,13	
5	06/12/2007	50	56	3,712	10,2655	29,8	0,362	0,34		3,4	8,73	n	4,6170	
6	06/12/2007	51	56	4,141	10,68	29,8	0,388	0,36		3,4	-21,29	Maiores Desvio Absoluto	21,29%	
7	01/03/2011	60	57	4,32	10,3	29,1	0,418	0,35		3,6	18,40	cm		
8	31/01/2014	71	58	4,1	9,91	29	0,414	0,342		3,9	5,25	Maiores Cota Medida em Campo	1240,0	
9	27/03/2015	74	58	3,958	57,981	61,507	0,068	0,94		3,9	1,61	Menor Cota Medida em Campo	25,0	
10	20/05/2009	54	60	3,85	10,8	30	0,355	0,36		4,4	-13,06	Maiores Cota Observada	1357,0	
11	Tramo Intermediário													
12	13/05/2009	54	60	3,85	10,8	30	0,355	0,36		4,4	-12,84	Menor Cota Observada	17,0	
14	19/08/2009	55	61	2,85	10,4	30	0,275	0,35	Excluído			Menor Cota Considerada Nesta Curva	60,0	
15	31/03/2010	57	61	6,61	13,3	30	0,496	0,44	Excluído			Menor Cota Considerada Nesta Curva	17,00	0,17
16	25/07/2012	66	63	4,03	11,2	29,1	0,361	0,38		5,1	-21,67	Curva de 01/01/1996 até 31/12/2016	H entre yy e yy	
17	01/02/2017	80	69	6,364	66,919	62,999	0,095	1,06		6,7	-5,53	Q = a * (H - h0) ⁿ	H entre 17 e 60	
18	09/10/2008	53	71	8,22	14	30,4	0,585	0,46		7,3	12,51	Q = 18,936312 * (H - (-0,13)) ^{4,616989}		
19	19/10/2013	70	80	9	14,99	30,6	0,6	0,49		10,1	-10,94	Tramo Intermediário - Soma	-31,22	149%
20	16/05/2011	61	84	11,8	19,3	31,5	0,611	0,613		11,5	2,89	a	30,748035	
21	10/06/2014	72	86	11	72,3	61,6	0,152	1,17		12,2	-9,67	h0	0,28	
22	25/07/2016	78	96	16,495	77,565	60,513	0,213	1,28		16,0	3,20	n	1,7190	
23	10/06/2013	69	99	17,768	81,8	62,27	0,217	1,31		17,2	3,25	Maiores Desvio Absoluto	21,67%	
24	23/04/2012	65	100	17,4	82,2	62	0,212	1,33		17,6	-1,28	Menor Cota Medida em Campo	1240,0	
25	10/11/2016	79	114	23,741	87,04	63,47	0,273	1,37		23,9	-0,62	Menor Cota Medida em Campo	25,0	
26	19/10/2011	63	123	26,7	96,5	61,8	0,276	1,56		28,1	-4,89	Menor Cota Observada	60,0	
27	26/06/2008	52	124	32,6	102	62,3	0,321	1,64		28,8	13,03	Menor Cota Observada	1357,0	
28	10/08/2015	75	167	51,586	122,019	63,859	0,423	1,91		54,4	-5,15	Menor Cota Considerada Nesta Curva	289,0	
29	26/10/2015	76	181	60,823	131,601	64,093	0,462	2,05		64,1	-5,14	Menor Cota Considerada Nesta Curva	60,0	0,6001
30	23/08/2007	49	216	99,9	154	64,7	0,647	2,38		91,3	9,42	Curva de 01/01/1996 até 31/12/2016	H entre yy e yy	
31	23/08/2007	48	224	107	165	69	0,65	2,36		98,1	9,11	Q = a * (H - h0) ⁿ	H entre 60,01 e 289	
32	12/03/2013	68	231	94,794	173,4	66,47	0,547	2,61		104,2	-8,99	Q = 30,7480352547357 * (H - 0,276564054509547) ^{4,71900897287691}		
33	23/08/2007	46	242	118	180	70	0,659	2,57		114,0	3,49	Tramo Superior - Soma	-8,60	17%
34	31/03/2007	47	245	119	180	70	0,66	2,57		116,8	1,90	a	3,874440	
35	04/08/2011	62	289	155	206	68	0,749	3,03		160,3	-3,32	h0	-1,64	
36	Tramo Superior													
37	04/08/2011	62	289	155	206	68	0,749	3,03	160,3	-3,32	-3,32%	n	2,4625	
38	11/10/2014	73	496	385,903	339,465	87,445	1,137	3,88		404,7	-4,65	Maiores Desvio Absoluto	4,65%	
39	11/04/2016	77	632	667,565	712,761	182,99	0,937	3,90		641,8	4,02	cm		
41	21/07/2010	58	828	1082	1272	262	0,851	4,85		1103,2	-1,92	Maiores Cota Medida em Campo	1240,0	
42	25/11/2009	56	1176	2320	2579	614	0,9	4,2		2312,7	0,32	Menor Cota Medida em Campo	25,0	
43	10/10/2012	67	1240	2515,066	2415,8	651,5	1,112	3,71		2594,1	-3,05	Maiores Cota Observada	1357,0	
44	Tramo Superior - Soma													
45														
46														
47														
48														
49														
50														
51														
52														
53														
												Maiores Desvio	21,67%	
												Soma Desvios Total	-15,71	252,56%



Curva-Chave Logaritmicizada

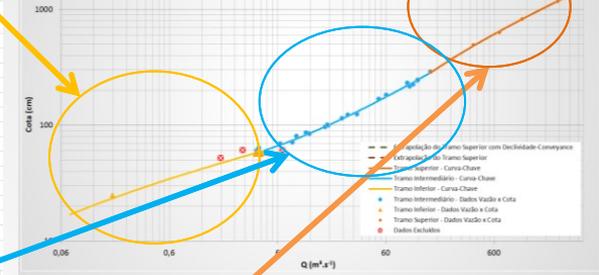


Além das restrições dos parâmetros da curva-chave mostrados na Nota Técnica nº 245/2011/SGH da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011), estabeleceu-se neste ajuste o critério de maior desvio entre vazão calculada e medida em campo menor que 22%, e que a vazão calculada na junção dos três tramos deveria ser igual, de modo a se obter um seguimento único, caracterizando uma única curva-chave (mesmo sendo composta por três tramos com equações com parâmetros diferentes).

Aplicação do método no gerenciador de planilhas

Curva-Chave Logaritimizada

1	Data	Número da medição	Cota (cm)	Vazão (m³.s⁻¹)	Área molhada (m²)	Largura (m)	Velocidade média (m.s⁻¹)	Profundidade (m)	Vazão calculada	Erro	Erro absoluto
2											
3	28/01/2012	64	25	0,178	3,06	23,5	0,13	0,06			
4	25/10/2010	59	52	1,78	54,2	61,5	0,033	0,88	Excluído	0,2	-18,10%
5	06/12/2007	50	56	3,712	10,2653	29,8	0,362	0,34		3,4	8,73%
6	06/12/2007	51	56	4,141	10,68	29,8	0,388	0,36		3,4	21,29%
7	01/03/2011	60	57	4,32	10,3	29,1	0,418	0,35		3,6	16,40%
8	31/01/2014	71	58	4,1	9,91	29	0,414	0,342		3,9	5,25%
9	27/03/2015	74	58	3,958	57,981	61,507	0,068	0,94		3,9	1,61%
10	20/05/2009	54	60	3,85	10,8	30	0,355	0,36		4,4	-13,06%
11											
12											
13	20/05/2009	54	60	3,85	10,8	30	0,355	0,36		4,4	-12,84%
14	19/08/2009	55	61	2,85	10,4	30	0,275	0,35	Excluído		
15	31/03/2010	57	61	6,61	13,3	30	0,496	0,44	Excluído		
16	25/07/2012	66	63	4,03	11,2	29,1	0,361	0,38		5,1	-21,67%
17	01/02/2017	80	69	6,364	66,919	62,999	0,095	1,06		6,7	-5,53%
18	09/10/2008	53	71	8,22	14	30,4	0,585	0,46		7,3	12,51%
19	19/10/2013	70	80	9	14,99	30,6	0,6	0,49		10,1	-10,94%
20	16/05/2011	61	84	11,8	19,3	31,5	0,611	0,613		11,5	2,89%
21	10/06/2014	72	86	11	72,3	61,6	0,152	1,17		12,2	-9,67%
22	25/07/2016	78	96	16,495	77,565	60,513	0,213	1,28		16,0	3,20%
23	10/06/2013	69	99	17,768	81,8	62,27	0,217	1,31		17,2	3,25%
24	23/04/2012	65	100	17,4	82,2	62	0,212	1,33		17,6	-1,28%
25	10/11/2016	79	114	23,741	87,04	63,47	0,273	1,37		23,9	-0,62%
26	19/10/2016	63	123	26,7	96,5	61,8	0,276	1,56		28,1	-4,89%
27	26/06/2008	52	124	32,6	102	62,3	0,321	1,64		28,8	13,039%
28	10/08/2015	75	167	51,586	123,019	63,859	0,423	1,91		54,4	-5,15%
29	26/10/2015	76	181	60,823	131,601	64,093	0,462	2,05		64,1	-5,14%
30	23/08/2007	49	216	99,9	154	64,7	0,647	2,38		91,3	9,42%
31	23/08/2007	48	224	107	165	69	0,65	2,36		98,1	9,11%
32	12/03/2013	68	231	94,794	173,4	66,47	0,547	2,61		104,2	-8,99%
33	31/03/2007	46	242	118	180	70	0,659	2,57		114,0	3,49%
34	31/03/2007	47	245	119	180	70	0,66	2,57		116,8	1,90%
35	04/08/2011	62	289	155	206	68	0,749	3,03		160,3	-3,32%
36											
37											
38	04/08/2011	62	289	155	206	68	0,749	3,03		160,3	-3,32%
39	11/10/2014	73	496	385,903	339,465	87,445	1,137	3,88		404,7	-4,65%
40	11/04/2016	77	632	667,565	712,761	182,99	0,937	3,90		641,8	4,02%
41	21/07/2010	58	828	1082	1272	262	0,851	4,85		1103,2	-1,92%
42	25/11/2009	56	1176	2320	2579	614	0,9	4,2		2312,7	0,32%
43	10/10/2012	67	1240	2315,066	2415,8	651,5	1,112	3,71		2594,1	-3,05%
44											
45											
46											
47											
48											
49											
50											
51											
52											
53											



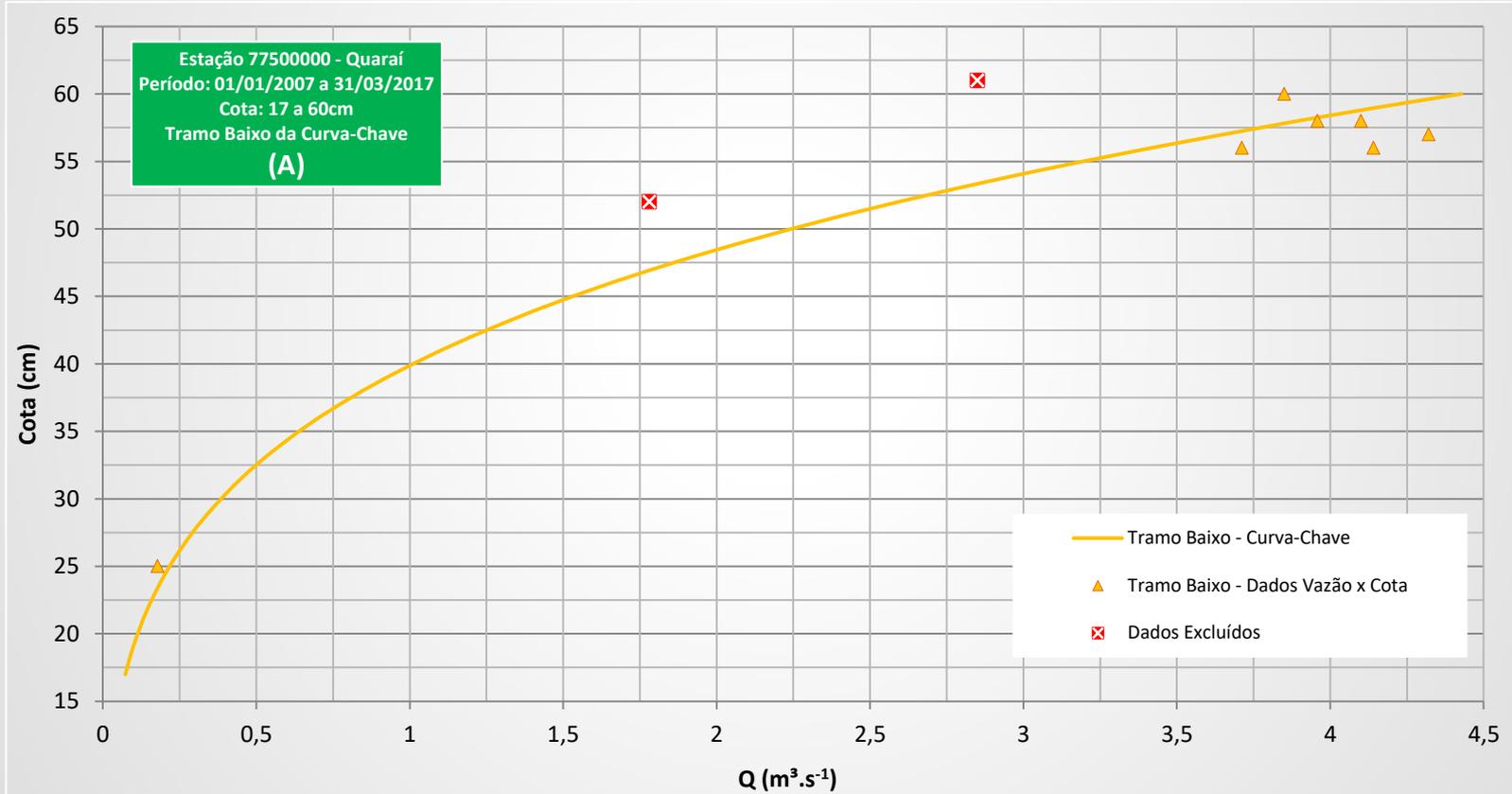
Tramo Inferior - Soma		24,12	86%
a		18,936312	
h0		-0,13	
n		4,6170	
Menor Desvio Absoluto		21,29%	
Menor Cota Medida em Campo		1240,0	
Menor Cota Medida em Campo		25,0	
Menor Cota Observada		1357,0	
Menor Cota Observada		17,0	
Menor Cota Considerada Nesta Curva		60,0	
Menor Cota Considerada Nesta Curva		17,900	0,17
Curva de 01/01/1996 até 31/12/2016	H entre yy e yy		
Q = a * (H - h0) ^ n	H entre 17 e 60		
Q = 18,936312 * (H - -0,13) ^ 4,616989			
Tramo Intermediário - Soma		-31,22	149%
a		30,748035	
h0		0,28	
n		1,7190	
Menor Desvio Absoluto		21,67%	
Menor Cota Medida em Campo		1240,0	
Menor Cota Medida em Campo		25,0	
Menor Cota Observada		1357,0	
Menor Cota Observada		60,0	
Menor Cota Considerada Nesta Curva		289,0	
Menor Cota Considerada Nesta Curva		60,0	0,6001
Curva de 01/01/1996 até 31/12/2016	H entre yy e yy		
Q = a * (H - h0) ^ n	H entre 60,01 e 289		
Q = 30,748035247357 * (H - 0,276564054509547) ^ 1,71900897287691			
Tramo Superior - Soma		-8,60	17%
a		3,874440	
h0		-1,64	
n		2,4625	
Menor Desvio Absoluto		4,62%	
Menor Cota Medida em Campo		1240,0	
Menor Cota Medida em Campo		25,0	
Menor Cota Observada		1357,0	
Menor Cota Observada		21,0	
Menor Cota Considerada Nesta Curva		1240,0	
Menor Cota Considerada Nesta Curva		289,0	2,8901
Curva de 01/01/1996 até 31/12/2016	H entre yy e yy		
Q = a * (H - h0) ^ n	H entre 289,01 e 1240		
Q = 3,87444003648722 * (H - -1,6448458577129) ^ 2,46252152211705			
Menor Desvio		21,67%	
Soma Desvios Total		-15,71	252,56%

Após o Ajuste

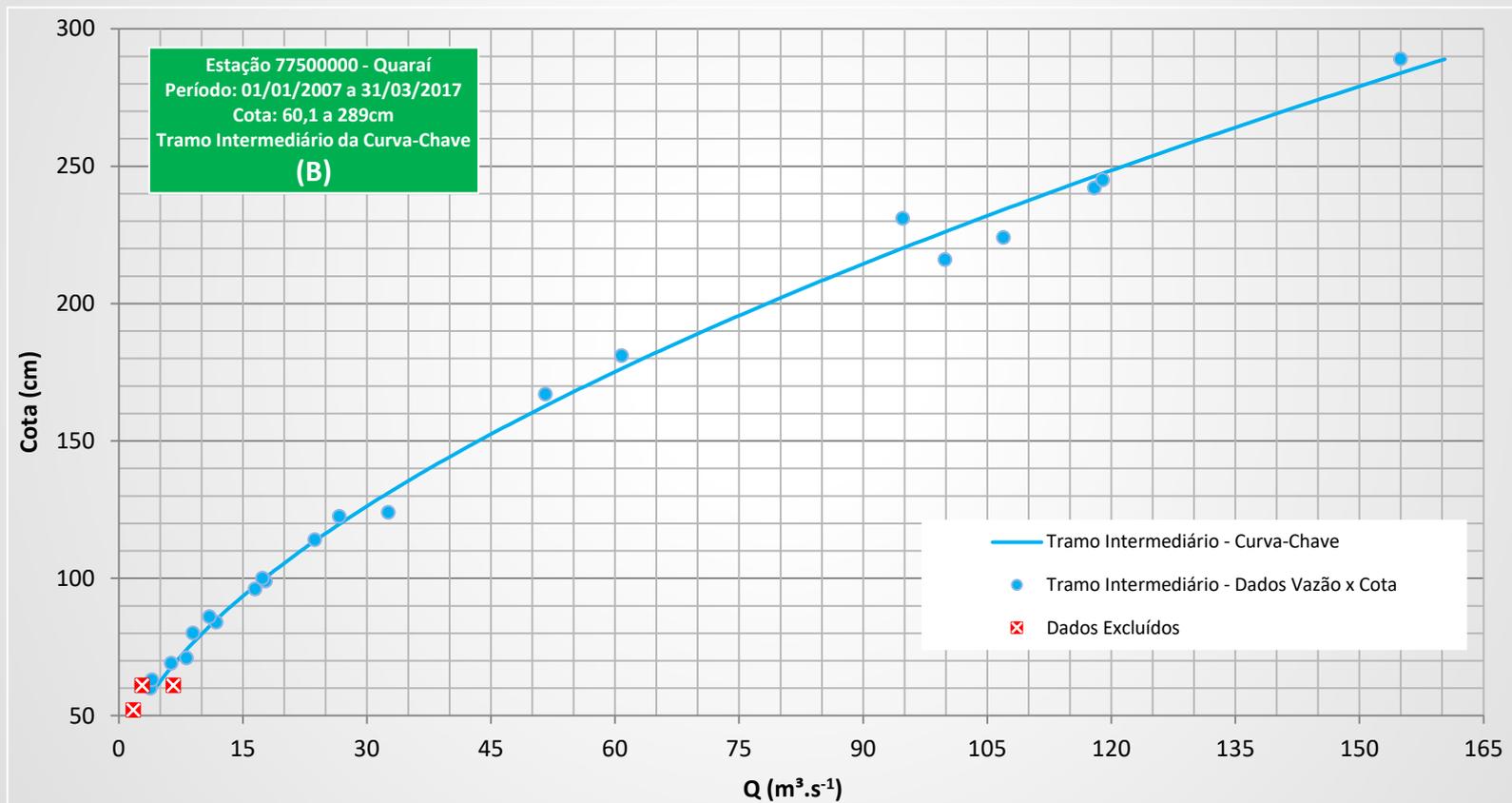
$$\text{Min FO} = \sum_{i=1}^m \text{Dat}_i + \dots + \text{Dat}_i$$

Além das restrições dos parâmetros da curva-chave mostrados na Nota Técnica nº 245/2011/SGH da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011), estabeleceu-se neste ajuste o critério de maior desvio entre vazão calculada e medida em campo menor que 22%, e que a vazão calculada na junção dos três tramos deveria ser igual, de modo a se obter um seguimento único, caracterizando uma única curva-chave (mesmo sendo composta por três tramos com equações com parâmetros diferentes).

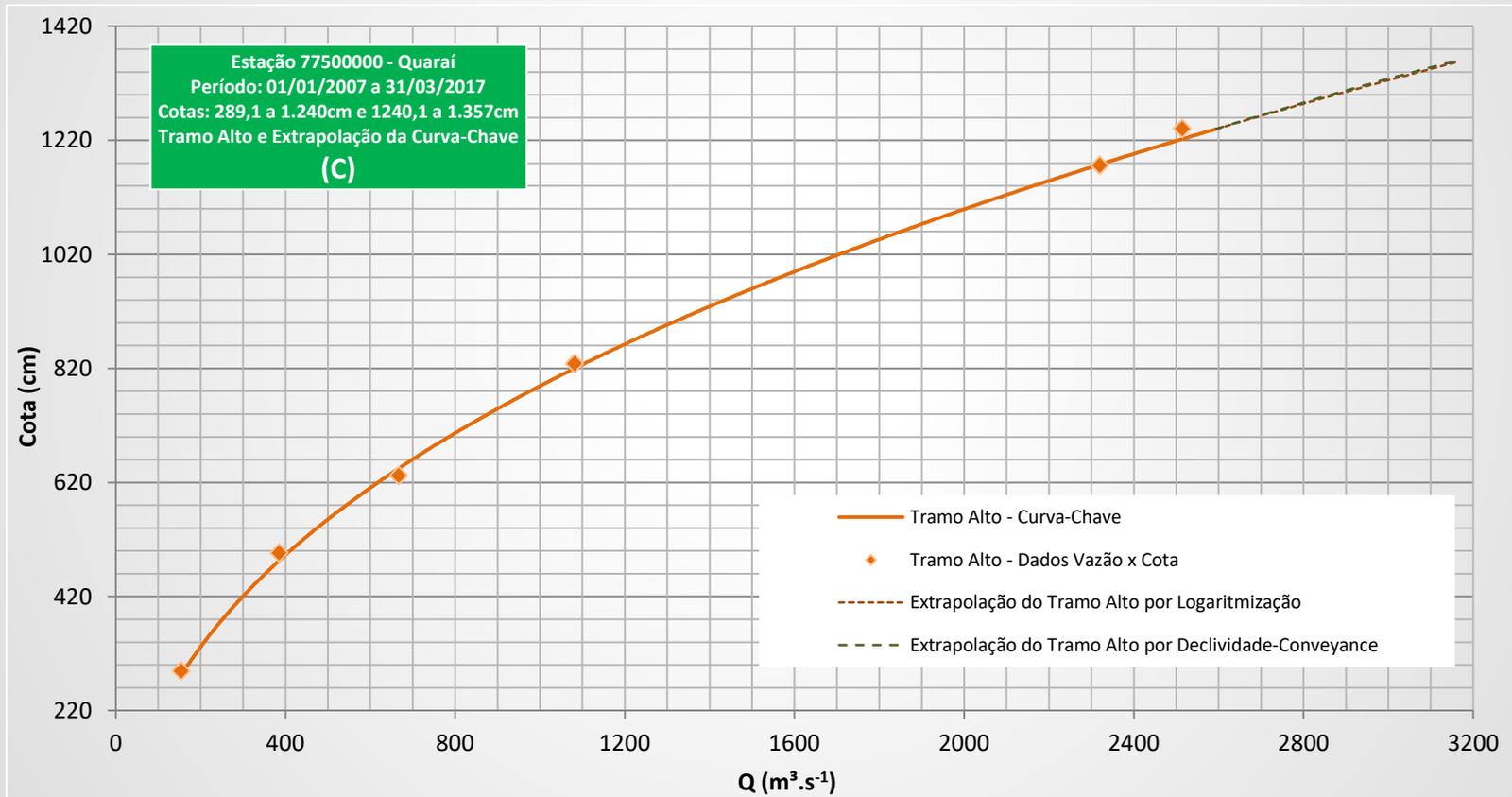
Tramo Baixo



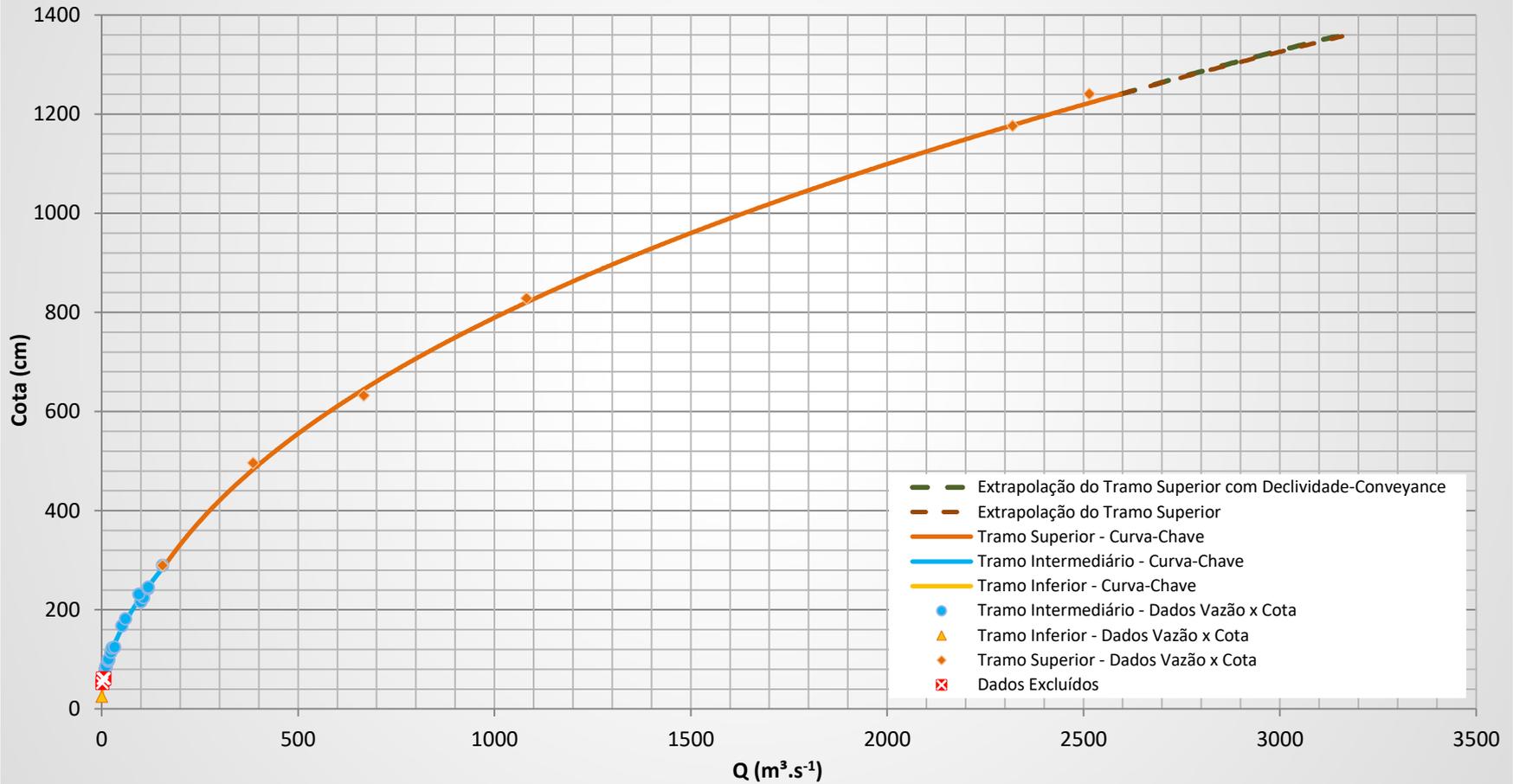
Tramo Intermediário



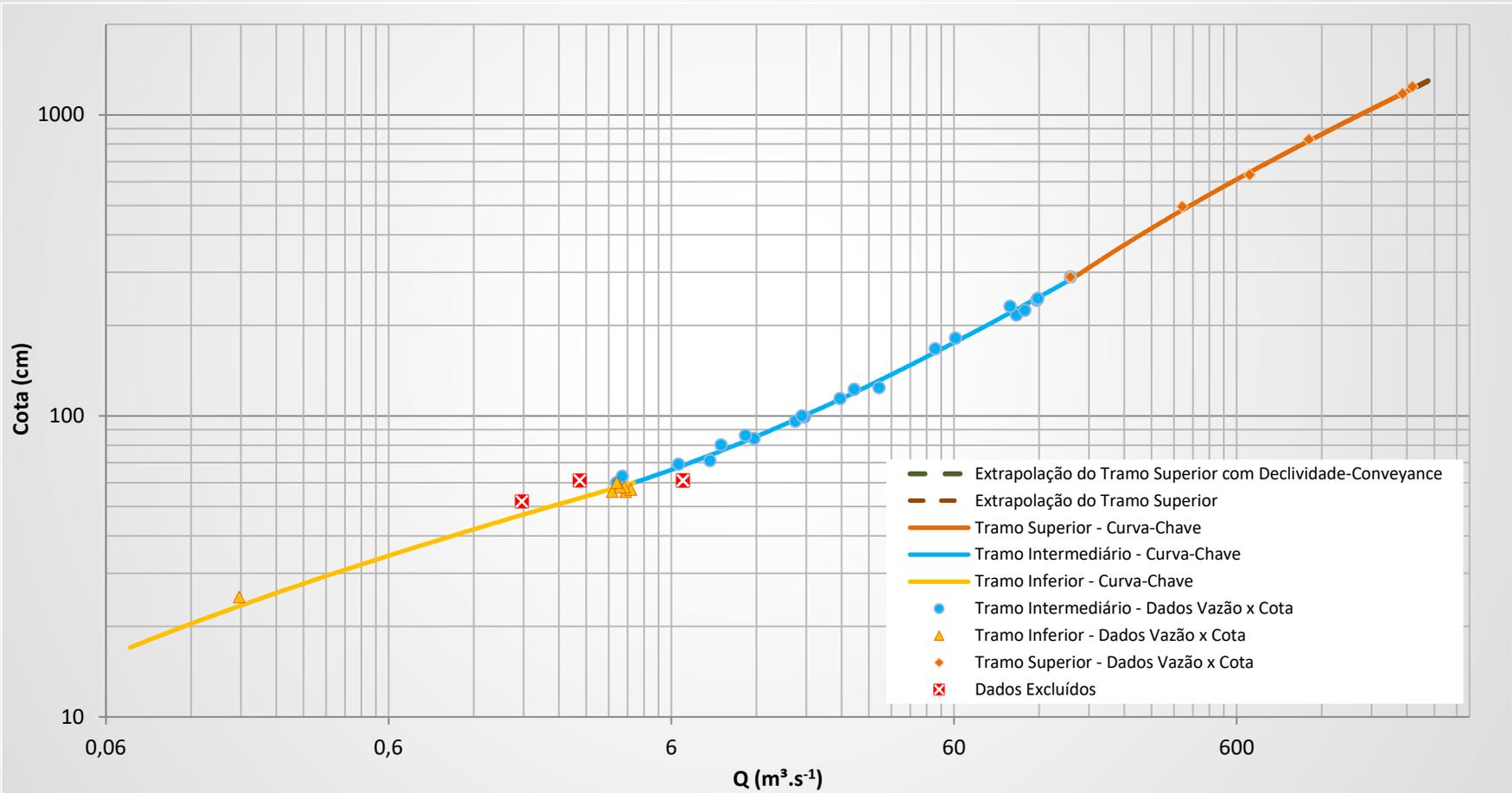
Tramo Alto e Extrapolação



Curva-Chave



Curva-Chave Logaritmizada



Hidro 1.2 - [Curva de Descarga (77500000, 01/01/2007)]

Sistema Editar Exibir Janela Ajuda

Curva de Descarga | Tabulação

Estação
 Nome: QUARAI Código: 77500000 Área de drenagem (km2): 2878,00 Responsável: ANA
 Rio: RIO QUARAI Município: QUARAI UF: RS Operadora: CPRM

Identificação
 Nível de consistência: Bruto Validade início: 01/01/2007 Cota mínima (cm): 17 Tipo de curva: Equação
 Validade fim: 31/12/2017 Cota máxima (cm): 60 Número da curva: 01/04 Fuso da cota (cm): 1

Equação
 Tipo de equação: Potência
 a: 18,936300 a1:
 h0 (m): -0,13 a1:
 n: 4,617 a2:
 a3:

Potência: $Q(H) = a(H - h_0)^n$
 Linear: $Q(H) = a_0 + a_1H$
 Parabólica: $Q(H) = a_0 + a_1H + a_2H^2$
 Cúbica: $Q(H) = a_0 + a_1H + a_2H^2 + a_3H^3$

Tabela Cota X Vazão

#	Cota (cm)	Vazão (m3/s)
1	17	
2	18	
3	19	
4	20	
5	21	
6	22	
7	23	
8	24	
9	25	
10	26	
11	27	
12	28	
13	29	
14	30	
15	31	
16	32	

Inserir Remover

Gráfico

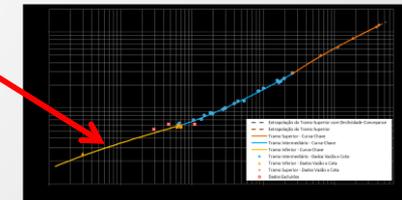
Mesma curva-chave dividida em quatro equações diferentes, ligadas pelas extremidades contendo a mesma relação cota/vazão.

01/04: Tramo Baixo

02/04: Tramo Intermediário

03/04: Tramo Alto

04/04: Extrapolação



Hidro 1.2 - [Curva de Descarga (77500000, 01/01/2007)]

Sistema Editar Exibir Janela Ajuda

Fechar

Curva de Descarga | Tabulação

Estação
 Nome: QUARÁÍ Código: 77500000 Área de drenagem (km2): 2878,00 Responsável: ANA
 Rio: RIO QUARÁÍ Município: QUARÁÍ UF: RS Operadora: CPRM

Identificação
 Nível de consistência: Bruto Validade início: 01/01/2007 Cota mínima (cm): 60 Tipo de curva: Equação
 Validade fim: 31/12/2017 Cota máxima (cm): 289 Número da curva: 02/04 Passo da cota (cm): 1

Equação
 Tipo de equação: Potência
 a: 30,748000 a0:
 h0 (m): 0,28 a1:
 n: 1,719 a2:
 a3:

Potência: $Q(H) = a(H - h_0)^n$
 Linear: $Q(H) = a_0 + a_1H$
 Parabólica: $Q(H) = a_0 + a_1H + a_2H^2$
 Cúbica: $Q(H) = a_0 + a_1H + a_2H^2 + a_3H^3$

Tabela Cota X Vazão

#	Cota (cm)	Vazão (m3/s)
1	60	
2	61	
3	62	
4	63	
5	64	
6	65	
7	66	
8	67	
9	68	
10	69	
11	70	
12	71	
13	72	
14	73	
15	74	
16	75	

Inserir Remover

Gráfico

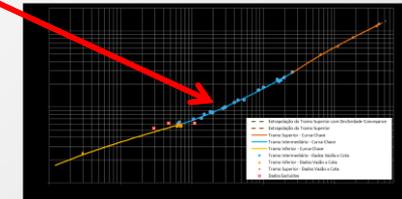
Mesma curva-chave dividida em quatro equações diferentes, ligadas pelas extremidades contendo a mesma relação cota/vazão.

01/04: Tramo Baixo

02/04: Tramo Intermediário

03/04: Tramo Alto

04/04: Extrapolação



Hidro 1.2 - [Curva de Descarga (77500000, 01/01/2007)]

Sistema Editar Exibir Janela Ajuda

Fechar

Curva de Descarga | Tabulação

Estação
 Nome: QUARÁÍ Código: 77500000 Área de drenagem (km2): 2878,00 Responsável: ANA
 Rio: RIO QUARÁÍ Município: QUARÁÍ UF: RS Operadora: CPRM

Identificação
 Nível de consistência: Bruto Validade início: 01/01/2007 Cota mínima (cm): 289 Tipo de curva: Equação
 Validade fim: 31/12/2017 Cota máxima (cm): 1240 Número da curva: 03/04 Passo da cota (cm): 1

Equação
 Tipo de equação: Potência
 a: 3,874400
 h0 (m): -1,64 a1:
 n: 2,463 a2:
 a3:

Potência: $Q(H) = a(H - h_0)^n$
 Linear: $Q(H) = a_0 + a_1H$
 Parabólica: $Q(H) = a_0 + a_1H + a_2H^2$
 Cúbica: $Q(H) = a_0 + a_1H + a_2H^2 + a_3H^3$

Tabela Cota X Vazão

#	Cota (cm)	Vazão (m3/s)
1	289	
2	290	
3	291	
4	292	
5	293	
6	294	
7	295	
8	296	
9	297	
10	298	
11	299	
12	300	
13	301	
14	302	
15	303	
16	304	

Inserir Remover

Gráfico

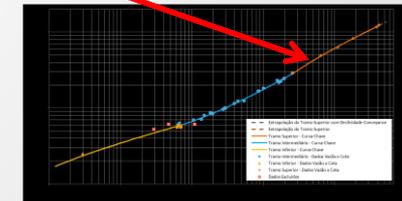
Mesma curva-chave dividida em quatro equações diferentes, ligadas pelas extremidades contendo a mesma relação cota/vazão.

01/04: Tramo Baixo

02/04: Tramo Intermediário

03/04: Tramo Alto

04/04: Extrapolação



Hidro 1.2 - [Curva de Descarga (77500000, 01/01/2007)]

Sistema Editar Exibir Janela Ajuda

Fechar

Curva de Descarga | Tabulação

Estação
 Nome: QUARÁÍ Código: 77500000 Área de drenagem (km2): 2878,00 Responsável: ANA
 Rio: RIO QUARÁÍ Município: QUARÁÍ UF: RS Operadora: CPRM

Identificação
 Nível de consistência: Bruto Validade início: 01/01/2007 Cota mínima (cm): 1240 Tipo de curva: Equação
 Validade fim: 31/12/2017 Cota máxima (cm): 1357 Número da curva: 04/04 Passo da cota (cm): 1

Equação
 Tipo de equação: Potência
 a: 3,865600 a0:
 h0 (m): -1,59 a1:
 n: 2,467 a2:
 a3:

Potência: $Q(H) = a(H - h_0)^n$
 Linear: $Q(H) = a_0 + a_1H$
 Parabólica: $Q(H) = a_0 + a_1H + a_2H^2$
 Cúbica: $Q(H) = a_0 + a_1H + a_2H^2 + a_3H^3$

Tabela Cota X Vazão

#	Cota (cm)	Vazão (m3/s)
1	1240	
2	1241	
3	1242	
4	1243	
5	1244	
6	1245	
7	1246	
8	1247	
9	1248	
10	1249	
11	1250	
12	1251	
13	1252	
14	1253	
15	1254	
16	1255	

Inserir Remover

Gráfico

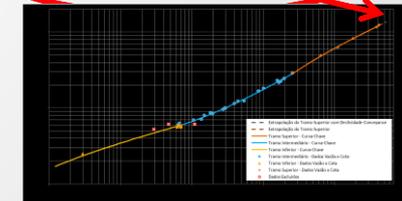
Mesma curva-chave dividida em quatro equações diferentes, ligadas pelas extremidades contendo a mesma relação cota/vazão.

01/04: Tramo Baixo

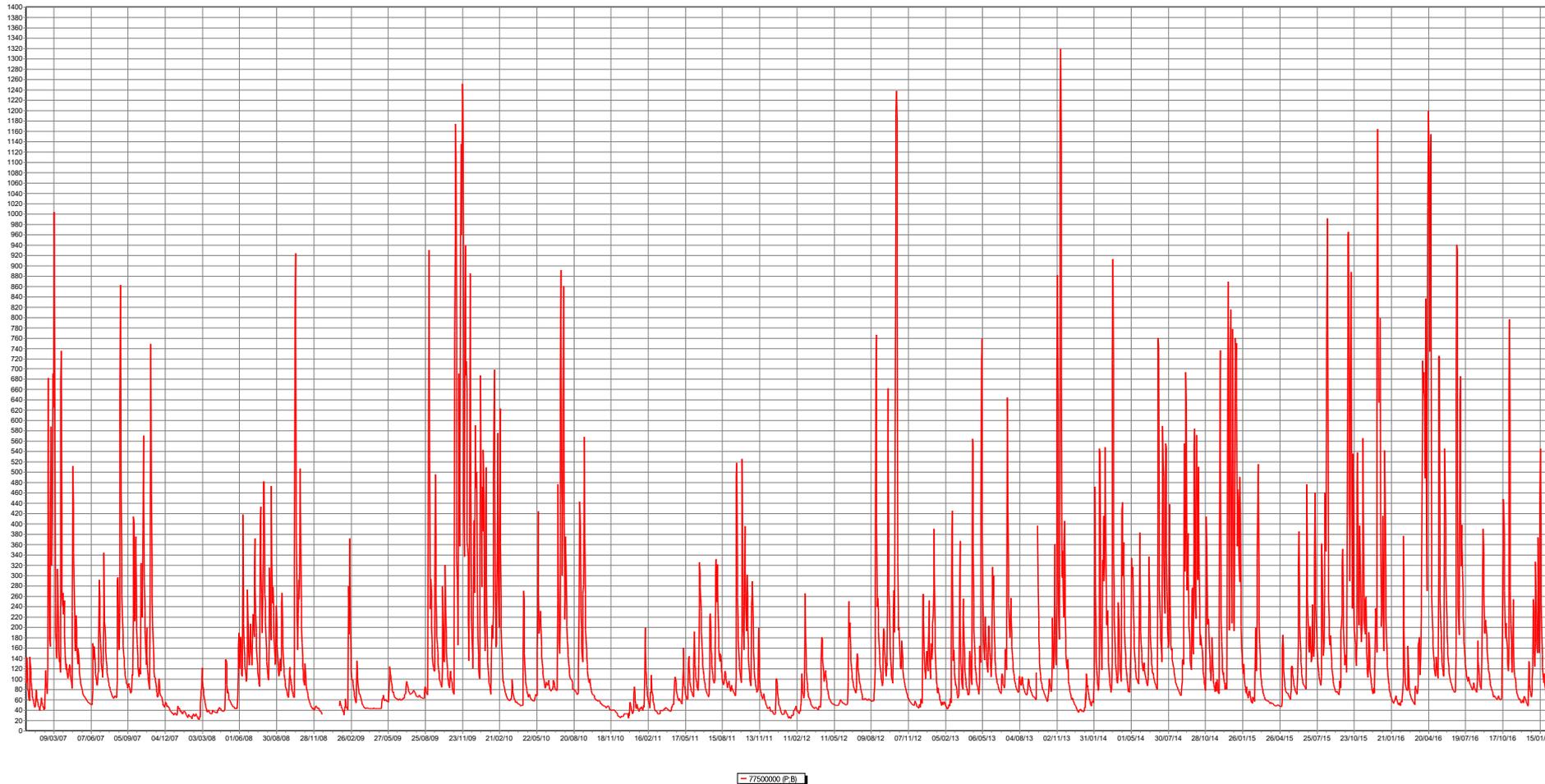
02/04: Tramo Intermediário

03/04: Tramo Alto

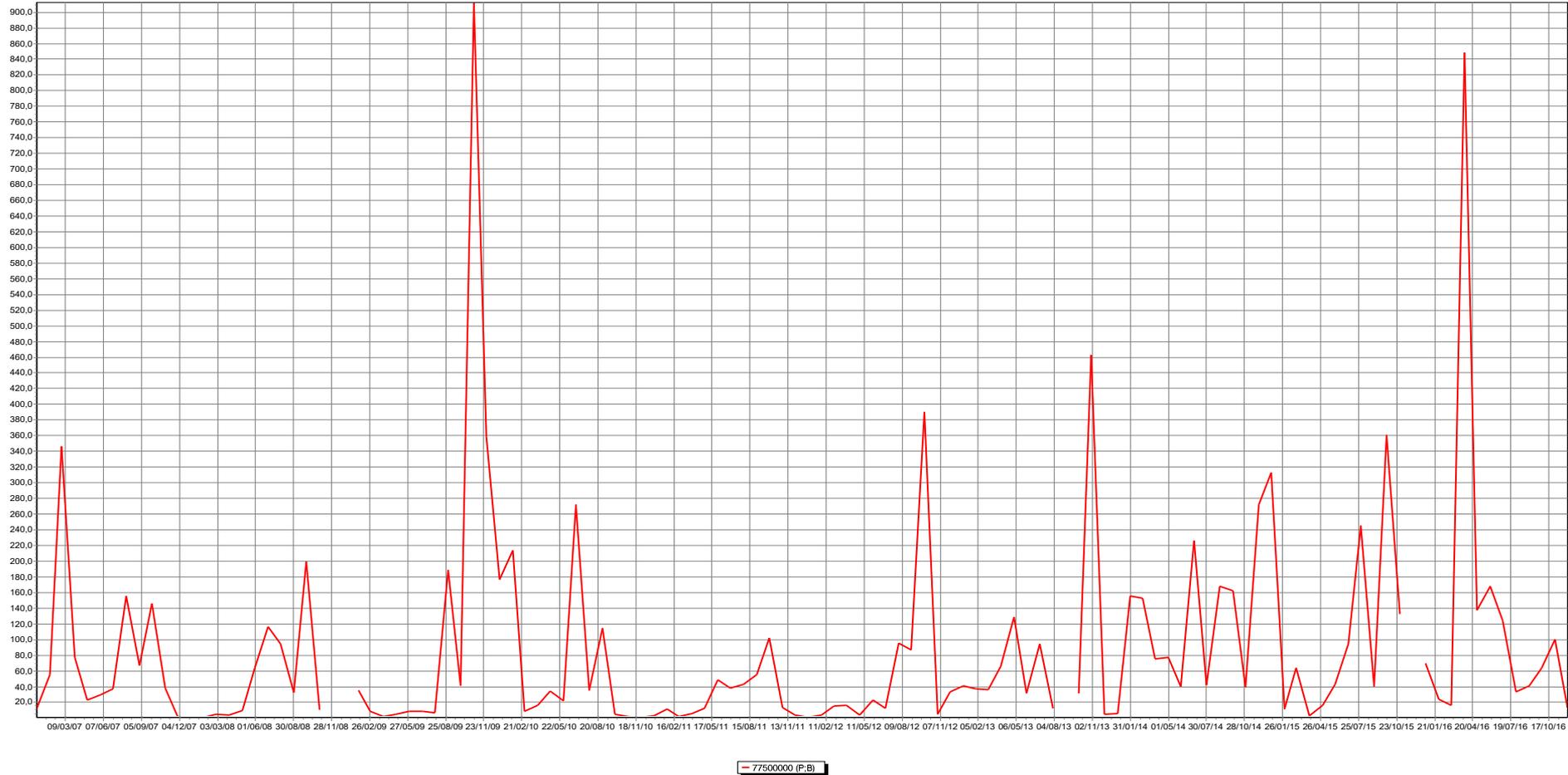
04/04: Extrapolação



Cotas – cm

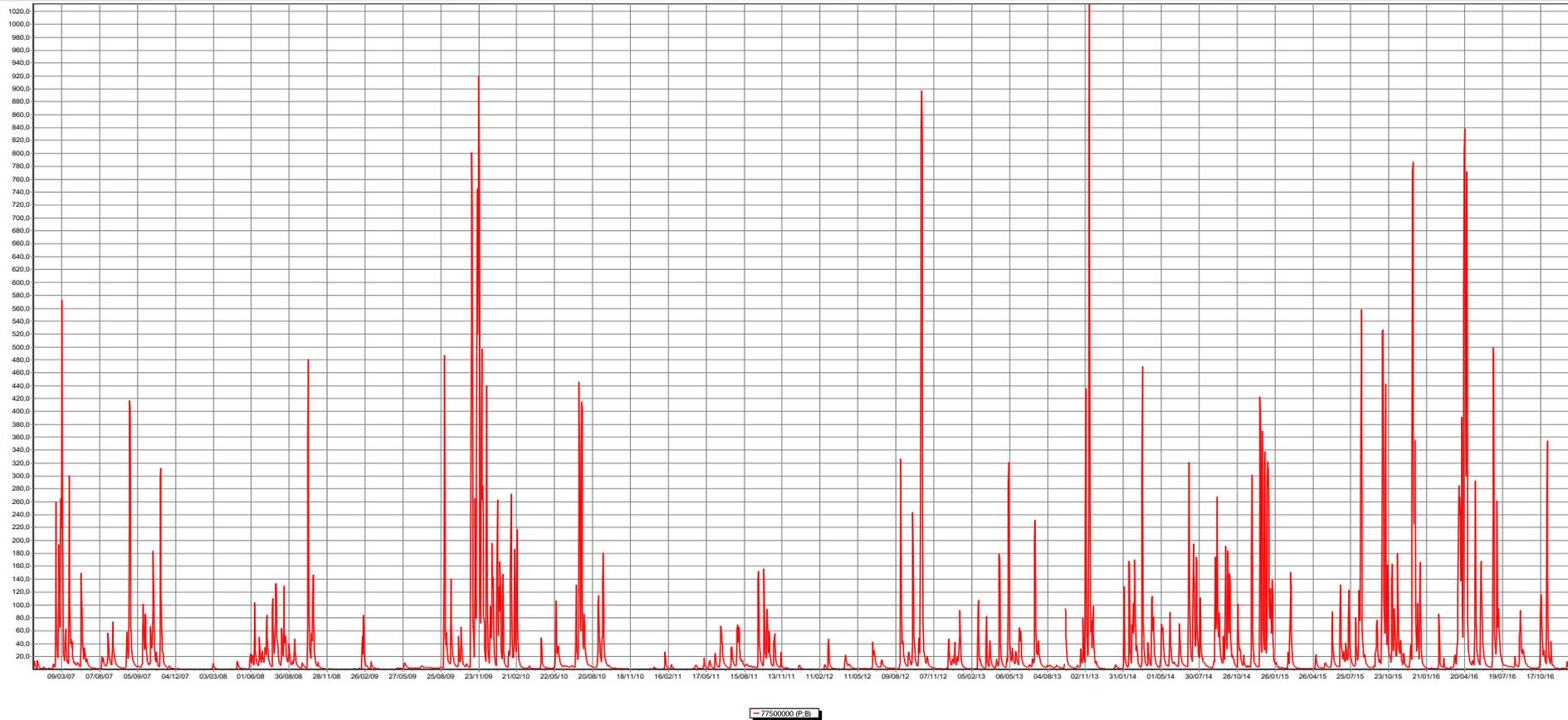


Vazão – m³.s⁻¹



Vazão Específica – $L.s^{-1}.(km^2)^{-1}$

(quantidade de água produzida por extensão de uma área de drenagem limitada)



CONCLUSÃO

Na minimização do somatório dos erros absolutos do modelo das três equações potencial de regressão, que representa apenas uma curva-chave, se obteve um melhor desempenho nos cálculos de vazão em relação ao conjunto de dados fluviométricos medidos em campo.

A equação potencial gerada, utilizando o método dos mínimos quadrados, é uma técnica útil e simples para o ajuste de curvas-chave subdividida em várias equações, devendo-se atentar para a questão da continuidade exata na junção das diferentes equações.

Deve-se avaliar as equações produzidas observando sempre o somatório dos desvios de cada equação separadamente, em conjunto e os desvios unitários, de modo que os mesmos nunca ultrapasse o valor pré-estabelecido (neste estudo foi 22%).

Endereços Eletrônicos Para Baixar Material Produzido ou Utilizado Neste Estudo



Material

Endereços (“links”) para Baixar Utilizando o Navegador de Internet

Este artigo em PDF

https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOYk1RRFIUR1ZKTUk/view?usp=sharing

Referência bibliográfica deste artigo segundo a ABNT/NBR 6023 de 2002

https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOVIbuN290WDIUQkk/view?usp=sharing

Apresentação deste artigo -Pôster

https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOwwtTMVN3VHF4R2s/view?usp=sharing

Apresentação deste artigo – Oral

https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOSVhDcXR3ampaMGs/view?usp=sharing

Planilha de ajuste da curva-chave da estação fluviométrica 77500000

https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOT0VfcGxaOFFjZDg/view?usp=sharing

Mapas das bacias do Brasil – 100 a 2000dpi

https://drive.google.com/folderview?id=0B5YK_fCaGOyfb1FrV1lmsXB3ZUE&usp=sharing

Mapa da bacia do rio Uruguai em PDF – 300dpi

https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyfdzhNcVVETzRZRvU/view?usp=sharing

Figura - Mapa Localização da estação, precipitação, etc. em PDF 100dpi

https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyfbjNCTkVvZndGQIE/view?usp=sharing

Figura - Mapa Localização da estação, precipitação, etc. em PDF 500dpi

https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyFUnprUXNqanBuNwc/view?usp=sharing

Localização da Estação 77500000 – Shape (zipado)

https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyFWEJOT3MtQ2FET0k/view?usp=sharing

Localização da Estação 77500000 – Google Earth

https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOR3huakktRFVJcWs/view?usp=sharing

Altimetria da Bacia do Rio Uruguai

https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyfvWxPQUZIOFR3NzQ/view?usp=sharing

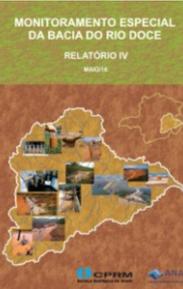
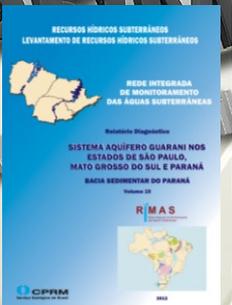
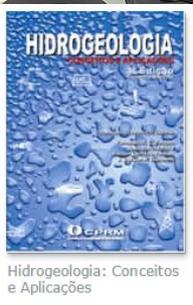
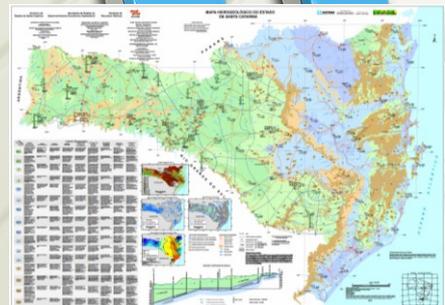
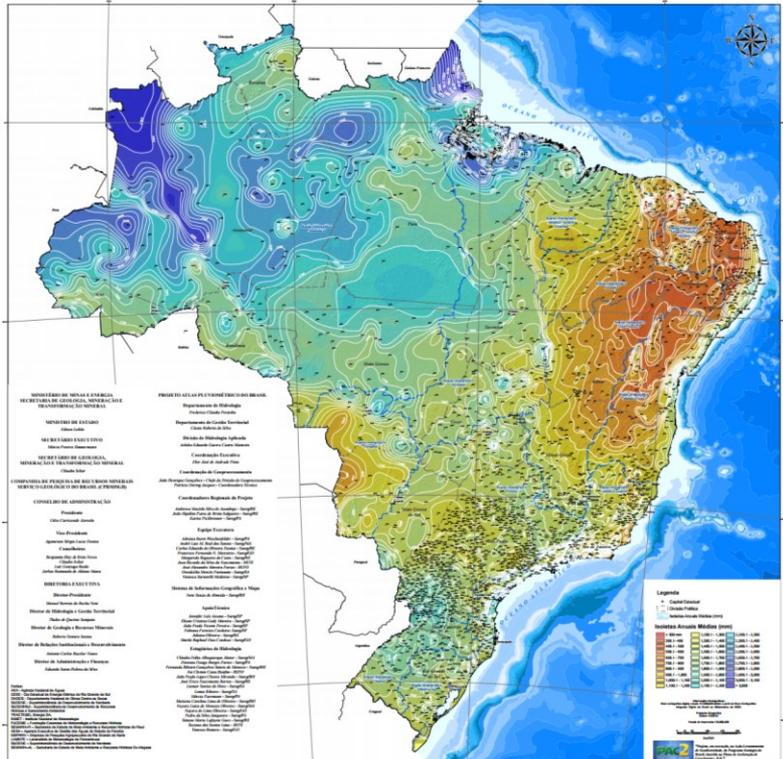
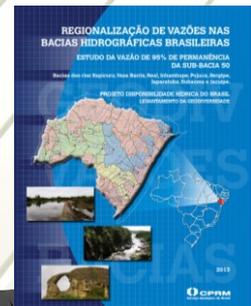
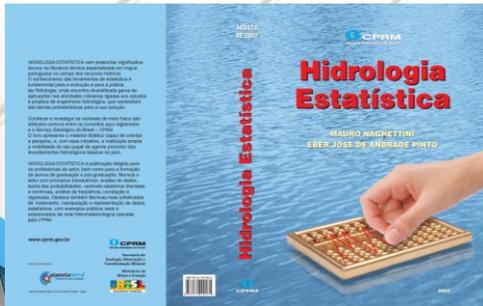
Altimetria do Estado do RS

https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyRFGfJS3VQTV9Pd2s/view?usp=sharing

Dados Utilizados (Atlas Pluviométrico do Brasil da CPRM / SGB)

<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=1351&sid=9>

Conheçam o material sobre Recursos Hídricos disponível no sítio da CPRM / SGB:



Obrigado pela atenção!



www.cprm.gov.br

Francisco Marcuzzo
Pesquisador em Geociências - Hidrologia

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Superintendência Regional de Porto Alegre / RS
Rua Banco da Província, 105 – Santa Tereza
Porto Alegre/RS - CEP 90.840-030
Tel.: (51) 3406-7324

E-mail: francisco.marcuzzo@cprm.gov.br



Secretaria de
Geologia, Mineração e Transformação Mineral
Ministério de
Minas e Energia