



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

*Francisco F. N. Marcuzzo<sup>1</sup>*

**Resumo** – Frequentemente observa-se a importância de novos estudos de fácil utilização e prática, que auxiliem o entendimento metodológico dos processos matemáticos envolvidos no ajuste de curvas-chave. O objetivo deste estudo foi desenvolver e mostrar um método simples e 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 diferentes unidas por duas relações cota e vazão iguais). A estação fluviométrica Quaraí, utilizada neste estudo, localiza-se na bacia do Rio Uruguai (sub-bacia 77). Suas coordenadas geodésicas são 30°23'05"S e 56°27'56"O, e o perfil transversal utilizado neste estudo data de 25/07/2016, altitude de aproximada de 80 metros e uma área de drenagem de aproximadamente 4.570km<sup>2</sup>, possui registros de cotas e descarga líquida desde julho de 1941. A curva-chave a seguir, da estação fluviométrica Quaraí (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). 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 de campo.

**Palavras-Chave** – vazão, bacia hidrográfica do Quaraí/Cuareim, relação cota e descarga líquida.

## **STAGE-DISCHARGE CURVE WITH THREE CONSECUTIVE STRAPS ADJUSTED WITH A SINGLE OBJECTIVE NOT LINEAR FUNCTION**

**Abstract** – It is often observed the importance of new studies of an easy-to-use and practical nature that help the methodological understanding of the mathematical processes involved in the adjustment of stage-discharge rating curves. The objective of this study was to show a simple and practical method of using the solver tool, in the adjustment of the potential equation of the same curve subdivided into three sections (three different equations joined by two relations). The Quaraí fluviometric station, used in this study, is located in the Uruguay River basin (sub-basin 77). Its coordinates are 30°23'05"S and 56°27'56"W, and the transversal profile used dates from 07/25/2016, altitude of 80 meters and a drainage area of 4,570km<sup>2</sup>, has records since July 1941. The following curve of the Quaraí fluviometric station, is used for the observed levels from 01/01/2007 to 31 / 03/2017 (key curve plotted with: low section with seven measurements, intermediate with 21 measurements and high with six measurements). In order to minimize the sum of the absolute errors of the model, we obtained better performance in the flow calculations.

**Keywords** – flow, watershed of Quaraí/Cuareim, stage-discharge rating curve.

### **1. INTRODUÇÃO**

A curva da relação nível do corpo d'água e descarga líquida possui essencial importância para se converter dados de altura de nível d'água de rios em vazão calculada, o que estimula hidrólogos a manterem constante o estudo em diferentes métodos visando melhorar e facilitar o trabalho.

1) Pesquisador em Geociências / Engenheiro Hidrólogo, CPRM/SGB - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil - Rua Banco da Província, nº105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90840-030, Tel.: (51) 3406-7300. [francisco.marcuzzo@cprm.gov.br](mailto:francisco.marcuzzo@cprm.gov.br).

## XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis - SC

Maldonado (2009) expõe que quando a jusante de seção de controle há alguma interferência na vazão, como um sistema de bombeamento, pode-se aplicar o método das isotáquias, que utiliza valores de velocidades e níveis d'água para o cálculo da vazão. O mesmo autor relata que o método das isotáquias não sofre interferências com o represamento e instalações de vertedores.

Maldonado e Gamaro (2013) relatam que para esta situação de histerese, durante a ascensão do nível d'água, a curva-chave indica valores inferiores ao real e durante o descenso do nível d'água, a curva-chave indica valores superiores ao real. O trabalho apresentado por Maldonado *et al.* (2014) mostra que a determinação de eleger a melhor curva comparada a outra existente (ou a uma tabela de calibragem) é baseada nos desvios de vazão estimados pela curva comparada à vazão medida. Collischonn & Dornelles (2013) citam que as medições de vazão são realizadas com o objetivo de determinar a relação entre o nível da água do rio em uma seção e a sua vazão. Esta relação é denominada curva-chave, sendo possível transformar medições diárias de cota, que são relativamente baratas, em medições diárias de vazão. Em um estudo sobre medidores de vazão não convencionais em rio, Maldonado e Wendland (2013) concluíram que, de modo geral, o medidor eletromagnético apresentou bons resultados, considerando-o de baixo custo, principalmente em locais que apresentam remanso e em locais com velocidades inferiores a  $0,20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Gamaro *et al.* (2014) dissertam que os métodos para a determinação da velocidade e da área da seção transversal de fluxo de água em canais abertos, e consequentemente vazão, são normatizados pelo padrão internacional ISO 748:2007 da *International Standard Organization*. O método área-velocidade, utilizado para calcular a vazão em rios, requer que seja realizada uma medição de velocidades em diversas verticais ao longo da largura do rio, e em diferentes profundidades para cada vertical. Segundo Sefione (2001) a curva-chave é a ferramenta criada para determinação dos valores do nível d'água (cota) numa dada seção de um curso d'água. Essa informação é necessária para se obter mínimas e máximas, como o desenvolvido por Sefione *et al.* (2001), que são, não raro, o ponto chave de muitos estudos hidrológicos. Bartels *et al.* (2010) mostram a importância de se analisar bem a validade de uma curva-chave antes de utilizá-la e que pode ser necessário estabelecer mais de uma curva-chave para o intervalo de cotas observado ao longo da série, a fim de melhorar a representação dos dados. Equacionar esta relação cartesiana entre dados hidrológicos e/ou dados físicos e/ou geomorfológicos, que os gráficos de dispersão destas variáveis fornecem é de suma importância para o hidrólogo compreender o fenômeno (MARCUIZZO, 2008; 2014; 2015; 2016). Reitz e Dias (2014) citam que o traçado de curvas-chave em estações instáveis pode ser bastante complexa, especialmente quando os dados de vazão exibem distorções, pelos efeitos de remanso.

O objetivo deste trabalho foi 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).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização geral da região de localização da estação fluviométrica e seus dados

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 1), que em sua parte brasileira, é denominada bacia 7 (ANA, 2009). 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  $1.603\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$ , segundo os dados apresentados por Pinto *et al.* (2011) e interpretados para este estudo. Os perfis transversais dos últimos quatro anos e mais dados do inventário da estação 77500000 podem ser observados na Figura 2 e 3. O perfil transversal utilizado na extrapolação da curva-chave pode ser observado na Figura 4.

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

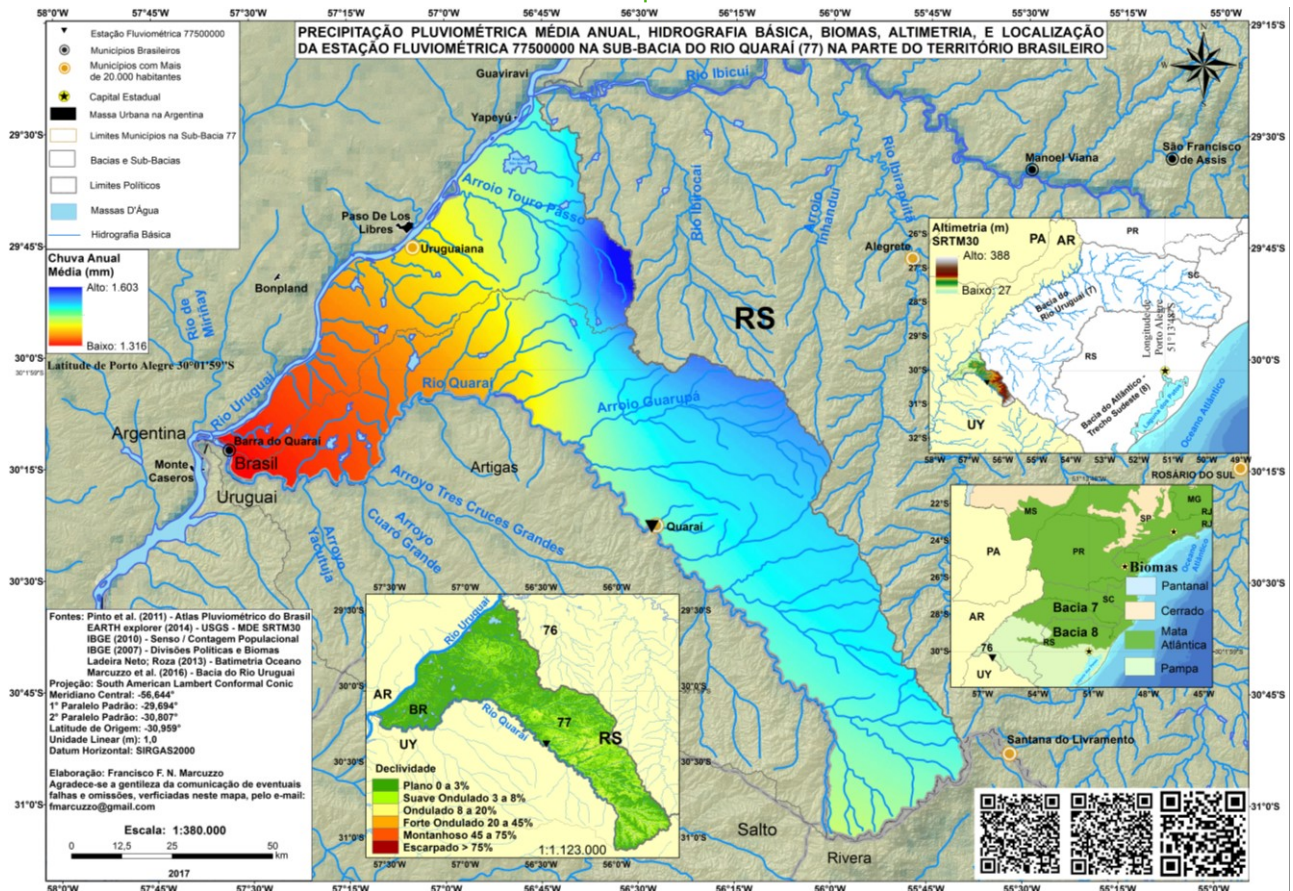


Figura 1 - Localização da estação 77500000 na sub-bacia 77, pertencente à bacia do Rio Uruguai.

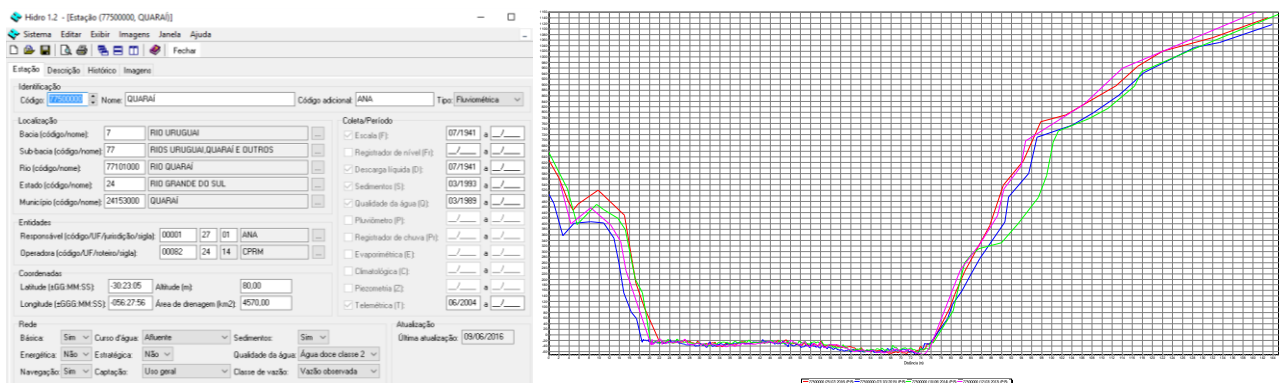


Figura 2 – Dados do inventário da estação 77500000 na sub-bacia 77, e os perfis transversais de 2013 a 2016.



Figura 3 – Foto da seção de réguas e localização (GOOGLE EARTH, 2017), da estação fluviométrica 77500000.

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

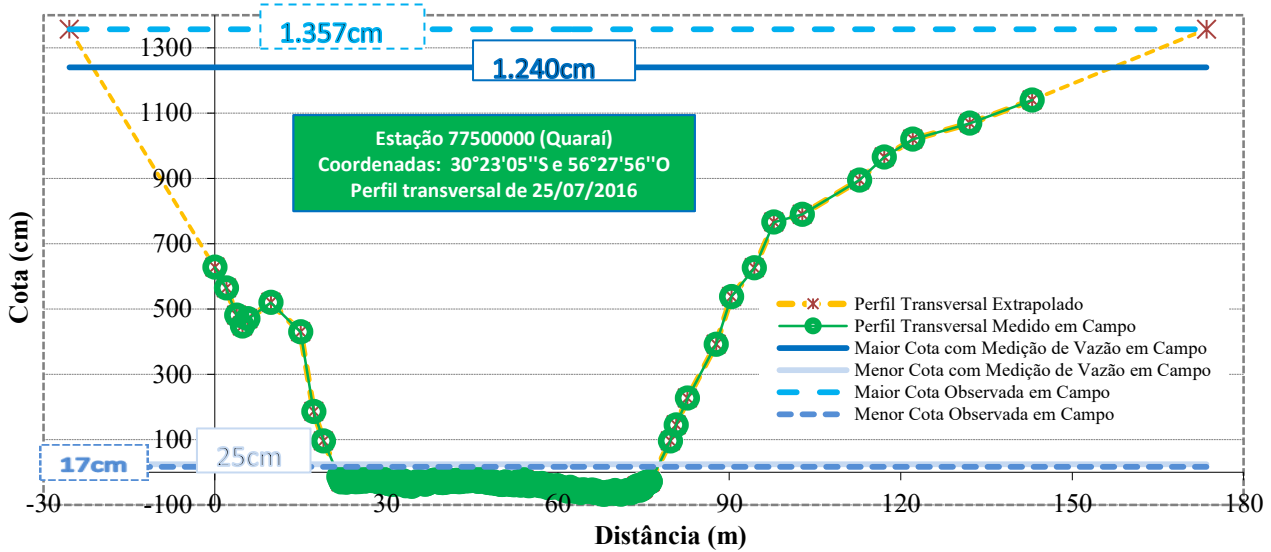


Figura 4 - Perfil transversal de 25/07/2016 da estação fluviométrica Quaraí - código 77500000.

**2.2. Resumo do método utilizado no ajuste da curva-chave dividida em três tramos**

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). Conforme mostra a Figura 5, na aplicação utilizou-se a seguinte função objetivo (FO) no ajuste:

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

Em que:  $\text{Dat}_i$  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).

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	Tramo Inferior - Soma		24,12	86%
2	28/01/2012	64	25	0,178	3,06	23,5	0,13	0,06	0,2	-18,10	18,10%	a	18,936312		
3	25/10/2010	59	52	1,78	54,2	61,5	0,033	0,88	Excluído			h0	-0,13		
4	06/12/2007	50	56	3,712	10,2655	29,8	0,362	0,34	3,4	8,73	8,73%	n	4,6170		
5	06/12/2007	51	56	4,141	10,68	29,8	0,388	0,36	3,4	21,23	21,29%	Maior Desvio Absoluto	21,29%		
6	01/03/2011	60	57	4,32	10,3	29,1	0,418	0,35	3,6	18,43	18,10%	cm			
7	31/01/2014	71	58	4,1	9,91	29	0,414	0,342	3,9	5,25	5,25%	Maior Cota Medida em Campo	1240,0		
8	27/03/2015	74	58	3,958	57,981	61,507	0,068	0,94	3,9	1,61	1,61%	Menor Cota Medida em Campo	25,0		
9	20/05/2009	54	60	3,85	10,8	30	0,355	0,36	4,4	-13,06	13,06%	Maior Cota Observada	1357,0		
10												Menor Cota Observada	17,0		
11												Maior Cota Considerada Nesta Curva	60,0		
12	20/05/2009	54	60	3,85	10,8	30	0,355	0,36	4,4	-12,84	12,84%	Menor Cota Considerada Nesta Curva	17,00	0,17	
13	19/08/2009	55	61	2,85	10,4	30	0,275	0,35	Excluído			Curva de 01/01/1996 até 31/12/2016	H entre yy e yxy		
14	31/03/2010	57	61	6,61	13,3	30	0,496	0,44	Excluído			Q = a * (H - h0) ^ n	H entre 17 e 60		
15	25/07/2012	66	63	4,03	11,2	29,1	0,361	0,38	5,1	-21,67	21,67%	Q = 18,936312 * (H - 0,13) ^ 4,616989			
16	01/02/2017	80	69	6,364	66,919	62,999	0,095	1,06	6,7	-5,53	5,53%	Tramo Intermediário - Soma	-31,22	149%	
17	25/07/2012	66	63	4,03	11,2	29,1	0,361	0,38	5,1	-21,67	21,67%	a	30,748035		
18	09/10/2008	53	71	8,22	14	30,4	0,585	0,46	7,3	12,51	12,51%	h0	0,28		
19	19/10/2013	70	80	9	14,99	30,6	0,6	0,49	10,1	-10,94	10,94%	n	1,7190		
20	16/05/2011	61	84	11,8	19,3	31,5	0,611	0,613	11,5	2,89	2,89%	Maior Desvio Absoluto	21,67%		
21	10/06/2014	72	86	11	72,3	61,6	0,152	1,17	12,2	-9,67	9,67%	cm			
22	25/07/2016	78	96	16,495	77,565	60,513	0,213	1,28	16,0	3,20	3,20%	Menor Cota Medida em Campo	1240,0		
23	10/06/2013	69	99	17,768	81,8	62,27	0,217	1,31	17,2	3,25	3,25%	Menor Cota Medida em Campo	25,0		
24	23/04/2012	65	100	17,4	82,2	62	0,212	1,33	17,6	-1,28	1,28%	Menor Cota Observada	1357,0		
25	10/11/2016	79	114	23,741	87,04	63,47	0,273	1,37	23,9	-0,62	0,62%	Menor Cota Observada	21,0		
26	19/10/2011	63	123	26,7	96,5	61,8	0,276	1,56	28,1	-4,89	4,89%	Maior Cota Considerada Nesta Curva	289,0		
27	26/06/2008	52	124	32,6	102	62,3	0,321	1,64	28,8	13,03	13,03%	Menor Cota Considerada Nesta Curva	60,0	0,6001	
28	10/08/2015	75	167	51,586	122,019	63,859	0,423	1,91	54,4	-5,13	5,15%	Curva de 01/01/1996 até 31/12/2016	H entre yy e yxy		
29	26/10/2015	76	181	60,823	131,601	64,093	0,462	2,05	64,1	-5,14	5,14%	Q = a * (H - h0) ^ n	H entre 60,01 e 289		
30	23/08/2007	49	216	99,9	154	64,7	0,647	2,38	91,3	9,42	9,42%	Q = 30,7480352543357 * (H - 0,276564054509547) ^ 1,71900897287691			
31	23/08/2007	48	224	107	165	69	0,65	2,36	98,1	9,11	9,11%	Tramo Superior - Soma	-8,60	17%	
32	12/03/2013	68	231	94,794	173,4	66,47	0,547	2,61	104,2	-8,99	8,99%	a	3,874440		
33	31/03/2007	46	242	118	180	70	0,659	2,57	114,0	3,49	3,49%	h0	-1,64		
34	31/03/2007	47	243	119	180	70	0,666	2,57	116,8	1,90	1,90%	n	2,4625		
35	04/08/2011	62	289	155	206	68	0,749	3,03	160,3	-3,32	3,32%	Maior Desvio Absoluto	-4,65%		
36												cm			
37												Menor Cota Medida em Campo	1240,0		
38	04/08/2011	62	289	155	206	68	0,749	3,03	160,3	-3,32	3,32%	Menor Cota Medida em Campo	25,0		
39	11/10/2014	73	496	385,903	339,465	87,445	1,137	3,88	404,7	-4,65	4,65%	Menor Cota Observada	1357,0		
40	11/10/2016	77	632	667,565	712,761	182,99	0,937	3,90	641,8	4,02	4,02%	Menor Cota Observada	21,0		
41	21/07/2010	58	828	1082	1272	262	0,851	4,85	1103,2	-1,92	1,92%	Maior Cota Considerada Nesta Curva	289,0	2,8901	
42	25/11/2009	56	1176	2320	2579	614	0,9	4,2	2312,7	0,32	0,32%	Curva de 01/01/1996 até 31/12/2016	H entre yy e yxy		
43	10/10/2012	67	1240	2515,066	2415,8	651,5	1,112	3,71	2594,1	-3,05	3,05%	Q = a * (H - h0) ^ n	H entre 289,01 e 1240		
44												Q = 3,8744403648722 * (H - 1,644845857129) ^ 2,46252152211705			
45												Maior Desvio	21,67%		
46												Soma Desvios Total	-15,71	252,56%	
47															
48															
49															
50															
51															
52															
53															

Figura 5 - Perfil transversal de 25/07/2016 da estação fluviométrica Quaraí - código 77500000.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos resultados apresentados a seguir, obteve-se um método prático de utilização da ferramenta *Solver*, disponível em planilhas de gerenciamento de dados pagas ou gratuitas, no ajuste da equação potencial de uma mesma curva-chave subdividida em três tramos, que são três equações unidas por duas únicas relações cota e vazão para formar um mesmo seguimento de curva-chave. Conforme citam Naghettini e Pinto (2007), após a estimativa dos coeficientes da reta de regressão, é necessário verificar se os dados amostrais são descritos pelo modelo das equações, além disso, determinar a parcela da variabilidade amostral que foi, de fato, explicada pela reta de regressão. Seguindo os critérios dos autores acima, verificou-se que de 34 dados de vazão medida em campo (Figuras 5 e 6), apenas duas vazões calculadas ficaram acima de 20% (21,67% e 21,29%) de desvio em relação ao dado medido em campo. Tais erros mais pontuais podem ser atribuídos a diversos fatores, como os relatados por Melati e Marcuzzo (2014), que verificaram a frequência de falhas de transcrição de dados fluviométricos, e como em alguns casos podem influenciar as características hidráulicas da seção transversal de um rio, acarretando erros no cálculo de vazão. Nas Figuras 5 e 6 verifica-se que, inicialmente ao total, foram 37 dados de vazões medidas em campo consideradas no ajuste da curva-chave, contudo, devido ao resultado de elevados desvios entre vazão de campo e calculada, optou-se por excluir do ajuste três dados de vazões, nas datas de 19/08/2009, 31/03/2010 e 25/10/2010. Conforme relatado por Maldonado *et al.* (2014) a decisão de escolher a melhor curva comparada a outra existente (ou a uma tabela de calibragem) é baseada nos desvios de vazão estimados. A extrapolação desta curva-chave, que não foi objetivo deste estudo, e, portanto, não será detalhada, foi obtida pelo método de *Declividade-Conveyance*.

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 (Figuras 5 e 6), 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:

Tramo baixo:  $Q = 18,936312(H + -0,13)^{4,6170}$  para o intervalo de cotas de 17 a 60cm.

Tramo intermediário:  $Q = 30,748035(H + 0,28)^{1,7190}$  para o intervalo de cotas de 60,1 a 289cm.

Tramo alto:  $Q = 3,874440(H + -1,64)^{2,4625}$  para o intervalo de cotas de 289,1 a 1.240cm.

Extrapolação:  $Q = 3,865557(H + -1,59)^{2,4671}$  para o intervalo de cotas de 1.241,1 a 1.357cm.

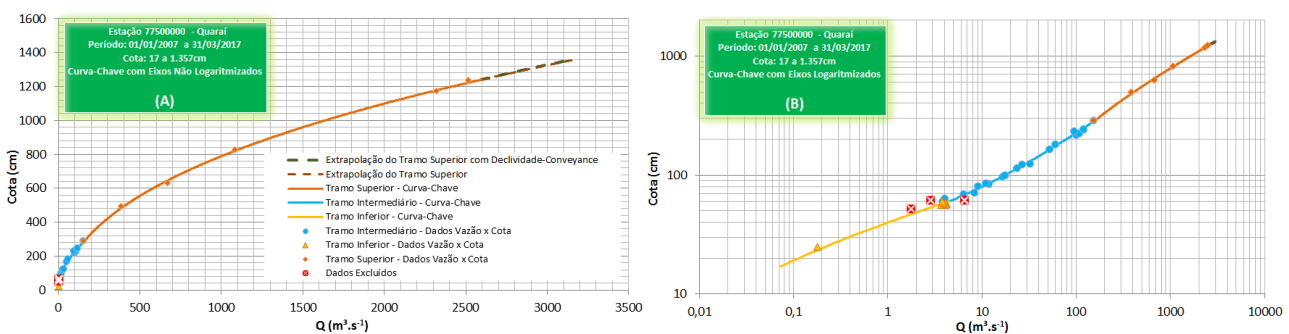


Figura 6 – Curva-chave inteira com os três tramos e extrapolação (estação 77500000), com os eixos dos gráficos com números reais (A) e logaritimizados (B). Período de 01/01/2007 a 31/03/2017.

Um detalhamento teórico e prático sobre otimização de equações lançando mão de Programação Matemática Não-Linear (PMNL), cujos princípios foram utilizados neste estudo, pode ser observado em Marcuzzo (2008), Marcuzzo e Wendland (2010; 2014) e Ferreira (2012). Já um detalhamento matemático, com ênfase em hidrologia, de regressões pode ser obtido em Naghettini e Pinto (2007). O material apresentado neste trabalho, e/ou o material utilizado em sua execução, pode ser baixado pelos endereços (“links”) na internet disponibilizados no Quadro 1.

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

Quadro 1 – Material utilizado direta e/ou indiretamente como apoio, neste estudo, para baixar da internet.

Material	Endereços (“links”) para Baixar Utilizando o Navegador de Internet
	----- Material Utilizado e Produzido no Estudo e Mapas Para Impressão em PDF -----
Este artigo em PDF	<a href="https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOYk1RRFIUR1ZKTUk/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOYk1RRFIUR1ZKTUk/view?usp=sharing</a>
Referência bibliográfica deste artigo segundo a ABNT/NBR 6023 de 2002	<a href="https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOVIBuN290WDIUQkk/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOVIBuN290WDIUQkk/view?usp=sharing</a>
Apresentação deste artigo -Pôster	<a href="https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOWWtTMVN3VHF4R2s/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOWWtTMVN3VHF4R2s/view?usp=sharing</a>
Apresentação deste artigo – Oral	<a href="https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOSVhDcXR3ampaMGs/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOSVhDcXR3ampaMGs/view?usp=sharing</a>
Planilha de ajuste da curva-chave da estação fluviométrica 77500000	<a href="https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOT0VfcGxaOFFjZDg/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOT0VfcGxaOFFjZDg/view?usp=sharing</a>
Mapas das bacias do Brasil – 100 a 2000dpi	<a href="https://drive.google.com/folderview?id=0B5YK_fCaGOyfb1FrV1lmSXB3ZUE&amp;usp=sharing">https://drive.google.com/folderview?id=0B5YK_fCaGOyfb1FrV1lmSXB3ZUE&amp;usp=sharing</a>
Mapa da bacia do rio Uruguai em PDF – 300dpi	<a href="https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyfdzhNcVVEtZrZRZRU/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyfdzhNcVVEtZrZRZRU/view?usp=sharing</a>
Figura 1 - Mapa Localização da estação, precipitação, etc. em PDF 100dpi	<a href="https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyfbjNCTkVvZndGOIE/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyfbjNCTkVvZndGOIE/view?usp=sharing</a>
Figura 1 - Mapa Localização da estação, precipitação, etc. em PDF 500dpi	<a href="https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyUnprUXNqanBuNWc/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyUnprUXNqanBuNWc/view?usp=sharing</a>
Localização da Estação 77500000 – Shape (zipado)	<a href="https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyWEJOT3MtQ2FET0k/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyWEJOT3MtQ2FET0k/view?usp=sharing</a>
Localização da Estação 77500000 – Google Earth	<a href="https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOR3huakktRFVJcWs/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOR3huakktRFVJcWs/view?usp=sharing</a>
Altimetria da Bacia do Rio Uruguai	<a href="https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyfvWxPQUZIOFR3NzQ/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyfvWxPQUZIOFR3NzQ/view?usp=sharing</a>
Altimetria do Estado do RS	<a href="https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyRGFJS3VQTV9Pd2s/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/0B5YK_fCaGOyRGFJS3VQTV9Pd2s/view?usp=sharing</a>
Dados Utilizados do Atlas Pluviométrico do Brasil	<a href="http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1351&amp;sid=9">http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1351&amp;sid=9</a>

#### 4. 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%).

#### AGRADECIMENTO

O autor agradece a CPRM/SGB pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho e a bibliotecária Ana Lucia Borges Fortes Coelho da CPRM/SGB de Porto Alegre/RS.

#### REFERÊNCIAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Análise de consistência de dados fluviométricos de estações de monitoramento da ANA localizadas na bacia hidrográfica do Rio Purus (sub-bacia 13)**. 2011. Nota Técnica nº 245/2011/SGH-ANA. 30 de setembro de 2011.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Inventário das estações fluviométricas**. 2. ed. DF, 2009. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/infoidrologicas/InventariodasEstacoesFluviometricas.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2017.
- BARTELS, G. K.; BESKOW, S.; AQUINO, L. S.; TAVARES, V. E. Q.; TIMM, L. C. Avaliação dos dados de vazão gerados pela curva-chave no Arroio Pelotas (Ponte Cordeiro de Farias). In: XIX Congresso de Iniciação Científica, 2010, Pelotas. **Anais...** 2010. Disponível em: <[http://wp.ufpel.edu.br/rhima/files/2010/09/CIC-UFPel-2010\\_01028.pdf](http://wp.ufpel.edu.br/rhima/files/2010/09/CIC-UFPel-2010_01028.pdf)>. Acesso: 28 Jan. 2017.
- COLLISCHONN W.; DORNELLES F. **Hidrologia para engenharias e ciências ambientais**. Vol. 1. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH. 310p.



**XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis - SC

- FERREIRA, P. A. V. **Otimização Não linear**. 2012. Disponível em: <<http://www.dt.fee.unicamp.br:80/~valente/ia543.html>>. Acesso em 12 fev. 2017.
- GAMARO, P. E.; MALDONADO, L. H.; SANTOS, J. M. Comparativo entre medições de vazão com micromolinete e flowtracker para a estação São Francisco Falso. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre: ABRH. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/sgecv3/UserFiles/Sumarios/579cd3a94951f7f86576318234b74346\\_3e706bdeb90ccc5bb34257e08bd60429.pdf](https://www.abrh.org.br/sgecv3/UserFiles/Sumarios/579cd3a94951f7f86576318234b74346_3e706bdeb90ccc5bb34257e08bd60429.pdf)>. Acesso em: 28 Jan. 2017.
- GOOGLE. **Google Earth**, 7.1.8.3036. [S.l. : s.n.], Compilação de 17/01/2017. 2017. Localização da estação 77500000. Disponível: <<http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso: 30mar2017.
- INDIA. **How to establish stage discharge rating curve**. Training module # SWDP – 29. New Delhi: Hydrology Project, 1999.
- MALDONADO, L. H.; GAMARO, P. E.; SANTOS, J. M.; SANTOS, F. A. M. Alteração de curva-chave devido a assoreamento: caso da Estação de Flórida, MS. In: XI ENES, 2014, **Anais...** João Pessoa. XI ENES, 2014.
- MALDONADO, L. H. Validação experimental de metodologias para quantificação contínua de vazão no Ribeirão da Onça. 2009. **Dissertação** (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-27042010-154503/>>. Acesso: 29mar.2017.
- MALDONADO, L. H.; GAMARO, P. E.; SANTOS, J. M.; SANTOS, F. A. M. Alteração de curva-chave devido a assoreamento: caso da Estação de Flórida, MS. In: XI ENES, 2014, **Anais...** João Pessoa. XI ENES, 2014.
- MALDONADO, L. H.; GAMARO, P. Métodos de correção de vazões em tramos superiores de curvas-chaves e para o caso de histerese. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2013. p. 1 a 8.
- MALDONADO, L. H.; WENDLAND, E. Aplicação de medidores de vazão não-convencionais em rios: eletromagnético e vertedor circular móvel. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2014. p. 1-8.
- MARCUZZO, F. F. N. Algoritmos genéticos e programação matemática não linear na otimização de curva-chave. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21, 2015, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: ABRH, 2015. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/15054>>. Acesso em: 29 mar. 2017.
- MARCUZZO, F. F. N. Curva-chave traçada pelo MATLAB com diferentes tipos de equações suportadas pelo programa HIDRO In: Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, 26.; encontro técnico AESABESP, 26., 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo: AESABESP, 2015. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/15127>>. Acesso em: 29 mar. 2017.
- MARCUZZO, F. F. N. **Mapa das regiões hidrográficas, bacias e sub/bacias hidrográficas do Brasil**. Escala 1cm:79 m. Porto Alegre: 2017. Disponível em: <[https://drive.google.com/folderview?id=0B5YK\\_fCaGOyfb1FrV1lmSXB3ZUE&usp=sharing](https://drive.google.com/folderview?id=0B5YK_fCaGOyfb1FrV1lmSXB3ZUE&usp=sharing)>. Acesso em: 01 jan. 2017.
- MARCUZZO, F. F. N. Modelagem Hidrológica Utilizando Regressão: Conceituação Matemática, Logaritmização e Avaliação. In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2014, Natal. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2014. p. 1 a 10. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17447>>. Acesso em: 28 Jan. 2017.
- MARCUZZO, F. F. N. Sistema de otimização hidráulica e econômica de rede de irrigação localizada usando algoritmos genéticos. **Tese de doutorado**. EESC/USP, São Carlos, 361 p. 2008.



**XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis - SC

Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-11112008-091041/pt-br.php>>. Acesso: 12 fev. 2017.

MARCUZZO, F. F. N. Traçado de curva-chave unívoca utilizando a regressão simples e robusta do MATLAB. In: XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2016, Aracaju. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2016. p. 1-9. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17188>>. Acesso em: 29 mar. 2017.

MARCUZZO, F. F. N.; SOUZA, C. J. R.; ALMEIDA D. B. Bacia hidrográfica internacional do rio Uruguai e consistência dos seus divisores de água na escala 1:3.000. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 48., 2016, Porto Alegre. **Anais...** São Paulo: SBG, 2016. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17127>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

MARCUZZO, F. F. N.; WENDLAND, E. Efeito da variação na tarifação pelo uso da água no dimensionamento otimizado de rede de irrigação localizada usando algoritmos genéticos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 15, 109 a 118. 2010. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/603>>. Acesso em 12 fev. 2017.

MARCUZZO, F. F. N.; WENDLAND, E. The Optimization of irrigation networks using genetic algorithms. **Journal of Water Resource and Protection**, 2014, 6, 1124-1138. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2014.612105>>. Acesso em 12 fev. 2017.

MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo de Perfis de Estações Fluviométricas: Transcrições de Campo, Ajuste de Escritório e Efeito nos Atributos Hidráulicos. In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2014, Natal. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2014. p. 1-10. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17448>>. Acesso em: 28 Jan. 2017.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. Correlação e regressão. In: NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007b. cap. 9, p. 355-400. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Livro-%22Hidrologia-Estatistica%22-981.html>>. Acesso em: 3 jan. 2017.

PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos**. Brasília: CPRM, 2011. 1 DVD. Escala 1.5:000.000. Equipe Executora: Da Costa, Margarida Regueira; Dantas, Carlos Eduardo de Oliveira; Melo, De Azambuja, Andressa Macêdo Silva; De Rezende, Denise C.; Do Nascimento, Jean Ricardo da Silva; Dos Santos, André Luis M. Real; Farias, José Alexandre Moreira; Machado, Érica C.; Marcuzzo, Francisco Fernando Noronha; Medeiros, Vanesca Sartorelli; Rodrigues, Paulo de Tarso R.; Weschenfelder, Adriana Burin; SIG - versão 2.0 - atualizada em 11/2011; Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>>. Acesso em: 23 mar 2017.

REITZ, K.; DIAS, S. F. Calibragem de curva-chave de estação instável pelo método do desnível normal. Estudo de caso: Estação Bacaba, código 13886000, no Rio Tapauá, na bacia hidrográfica do Rio Amazonas. In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2014, Natal. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2014. p. 1 a 8. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumario/0903c65b715c1e547562c351c073d1fd\\_dc61c3ccb356c0c9979e39186b36c72d.pdf](https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumario/0903c65b715c1e547562c351c073d1fd_dc61c3ccb356c0c9979e39186b36c72d.pdf)>. 23mar 2017.

SEFIONE, A. L. Estudo comparativo de métodos de extrapolação superior de curvas-chave. **Dissertação de Mestrado**. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2001. 96p.

SEFIONE, A. L.; MEDEIROS, J. D.; DORNELLES, A. M.; GOLDENFUM, J. A. Metodologia de pseudo-extrapolação para avaliação de métodos de extrapolação superior de curvas-chave. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 1-13.