



TRAÇADO DE CURVA-CHAVE UNÍVOCA UTILIZANDO A REGRESSÃO SIMPLES E ROBUSTA DO MATLAB

Francisco F. N. Marcuzzo¹

Resumo – Estudos mostrando resultados avançados do traçado e da calibragem de dados da relação de vazão observada e a cota do rio, em postos fluviométricos, utilizando outros programas que não sejam os gerenciadores de planilhas comumente utilizados pelo(a)s hidrólogo(a)s, são essenciais para o fomento de novas ferramentas computacionais disponíveis. O objetivo deste estudo foi perscrutar a utilização de duas ferramentas de regressão disponíveis no MATLAB, visando um melhor traçado de curva-chave, apontando e diferenciando os parâmetros de avaliação qualitativa do ajuste. A estação esta localizada no estado do Rio Grande do Sul, no município de São Gabriel, na bacia do Rio Uruguai (7), mais precisamente na sub-bacia 76, e esta localizada no Rio Cacequi (76123000). Segundo o inventário da ANA, de janeiro de 2015, suas coordenadas geodésicas são -30°06'20''S e -54°38'15''W, com uma altitude de aproximadamente 100 metros e uma área de drenagem de 1.220km². A soma dos quadrados dos erros e o coeficiente de determinação da regressão simples foram, respectivamente, 399,6 e 0,9864, enquanto os mesmos parâmetros qualitativos da regressão robusta foram, respectivamente, 424,8 e 0,9851. A melhor curva-chave obtida foi a com regressão simples, em comparação com a regressão robusta.

Palavras-Chave – vazão, fluviometria, curva de calibragem.

Abstract – Studies showing advanced results of the trace and calibration observed flow ratio data and the river quota in fluviometric stations using other programs than those spreadsheets managers commonly used by hydrologists, are essential for the development of new computational tools available. The objective of this study was to scrutinize the use of two regression tools available in MATLAB, seeking a better rating curve tracing, pointing and differentiating the qualitative setting evaluation parameters. The station is located in the state of Rio Grande do Sul, in São Gabriel, in the Rio Uruguay (7), specifically the sub-basin 76, and is located in Rio Cacequi (76123000). Its coordinates are -30°06'20"S and -54°38'15"W (100 meters and a 1.220km² drainage area). The sum of squared errors and the coefficient of determination of simple regression were respectively 399.6 and 0.9864, while the same qualitative parameters of robust regression were respectively 424.8 and 0.9851. The best rating curve was obtained with simple regression.

Keywords – flow, fluviometric, calibration curve.

1) Pesquisador em Geociências, 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.

1. INTRODUÇÃO

Manipular, transformar e entender os dados fluviométricos produzidos é de essencial importância para o hidrólogo diminuir as incertezas inerentes à coleta destes dados em campo. Verifica-se, portanto, que a relação entre cota e descarga líquida possui fundamental importância para se converter dados de cota em vazão, o que estimula pesquisadores da área de recursos hídricos a manterem constante estudo nas ferramentas computacionais. Fomenta-se a discussão, o entendimento e a melhoria do traçado da curva-chave e, por conseguinte, obtêm-se valores de vazão calculada, em relação à cota observada, mais próximos da realidade.

Os recursos matemáticos disponíveis para o hidrólogo no seu trabalho diário e no desenvolvimento da pesquisa hidrológica são vários, segundo o trabalho de Marcuzzo (2014). Contudo, a utilização de gráficos de dispersão de dados hidrológicos ocupa uma posição de importância dentre as inúmeras ferramentas disponíveis para o hidrólogo. 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.

De Barros *et al.* (2014), em um estudo sobre a diminuição do número de medições de vazão sobre a qualidade de curva-chave, observaram que um fator que tem auxiliado o trabalho de campo é o uso de equipamentos de medições com tecnologia acústica. As medições de vazão, segundo Collischonn & Dornelles (2013), 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.

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 com velocidades menores a $0,20\text{m.s}^{-1}$. Jacon e Cudo (1989) relatam que o estudo da relação cota-descarga, caracterizada por um período de validade e uma faixa de amplitude entre as cotas mínimas e máximas observadas, é realizado a partir de uma série de informações, uma cronologia de cotas e certo número de medições de descarga.

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 conseqüentemente vazão, são normatizados pelo padrão ISO 748:2007 da *International Standard Organization*. Os autores também relatam que 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 de um curso d'água. Dificuldades normais, tanto técnicas como operacionais, na medição das vazões para a determinação da curva-chave, muitas vezes impedem que se estenda a curva-chave tanto para as cotas mais baixas como para as cotas mais altas registradas. Essa informação é necessária para se obter mínimas e máximas, como o desenvolvido por Sefione *et al.* (2001), que são, não raro, a chave de estudos hidrológicos.

No trabalho desenvolvido por Marcuzzo (2015) o autor observa que as diferentes possibilidades de metodologias de otimização, ferramentas computacionais e a heurística do hidrólogo no ajuste de curva-chave, verifica-se também a necessidade de atrelar a curva-chave ao nome do analista que a concebe. Marcuzzo (2015) também cita que este procedimento não traria só o reconhecimento, mas principalmente atrelaria o nome do hidrólogo à responsabilidade que a geração de vazão pela curva-chave tem para as demais informações e projetos que o conhecimento da vazão diária máxima, média e mínima acarreta.

Bartels *et al.* (2010), em seu estudo sobre a avaliação de dados da curva-chave, mostram a importância de se analisar bem a validade de uma curva-chave antes de simplesmente 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 medidos. Reitz e Dias (2014) citam que o traçado de curvas-chave em estações instáveis pode ser atividade complexa, especialmente quando os dados de medições de vazão mostram distorções, resultantes de efeitos de remanso.

O objetivo deste trabalho foi estudar e discutir a utilização da regressão simples e robusta disponíveis no programa MATLAB, objetivando um melhor traçado da relação de equação potencial entre cota e descarga líquida, discutindo os parâmetros de avaliação qualitativa do ajuste.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização geral da região de localização da estação fluviométrica

O posto fluviométrico com medição de descarga líquida (FD) 76370000 esta localizada na bacia do Rio Uruguai (Figura 1), que em sua parte brasileira, é denominada bacia 7 (ANA, 2009). A bacia hidrográfica do Rio Uruguai (número 7) também faz parte da região hidrográfica de número 11, denominada Região Hidrográfica do Uruguai. Os principais rios são: Ibicuí, Ibirapuitã e Jaguari.

A maior altitude (SRTM 90; Figura 1) na sub-bacia 76 foi de 542m, no território municipal de Tupanciretã, e a menor de 19m, no município de Alegrete, e média de 175,8m. O volume de precipitação pluviométrica média anual nas sub-bacias da bacia do rio Uruguai (Figura 1) varia de 1.455,4mm.ano⁻¹ na sub-bacia 77 até 1.964,2mm.ano⁻¹ na sub-bacia 73, segundo os dados apresentados por Pinto *et al.* (2011) e interpretados para este estudo. O posto com maior chuva anual média foi o Jaguari (2954007), com 1858,42mm. Já o posto com menor precipitação anual média foi o Dom Pedrito (3054002), com 1407,67mm. Considerando a soma das médias mensais da precipitação de todas as 15 estações pluviométricas na sub-bacia 76, obtém-se uma média de precipitação anual na sub-bacia 76 de 1639,8mm (média de 136,7mm.mês⁻¹).

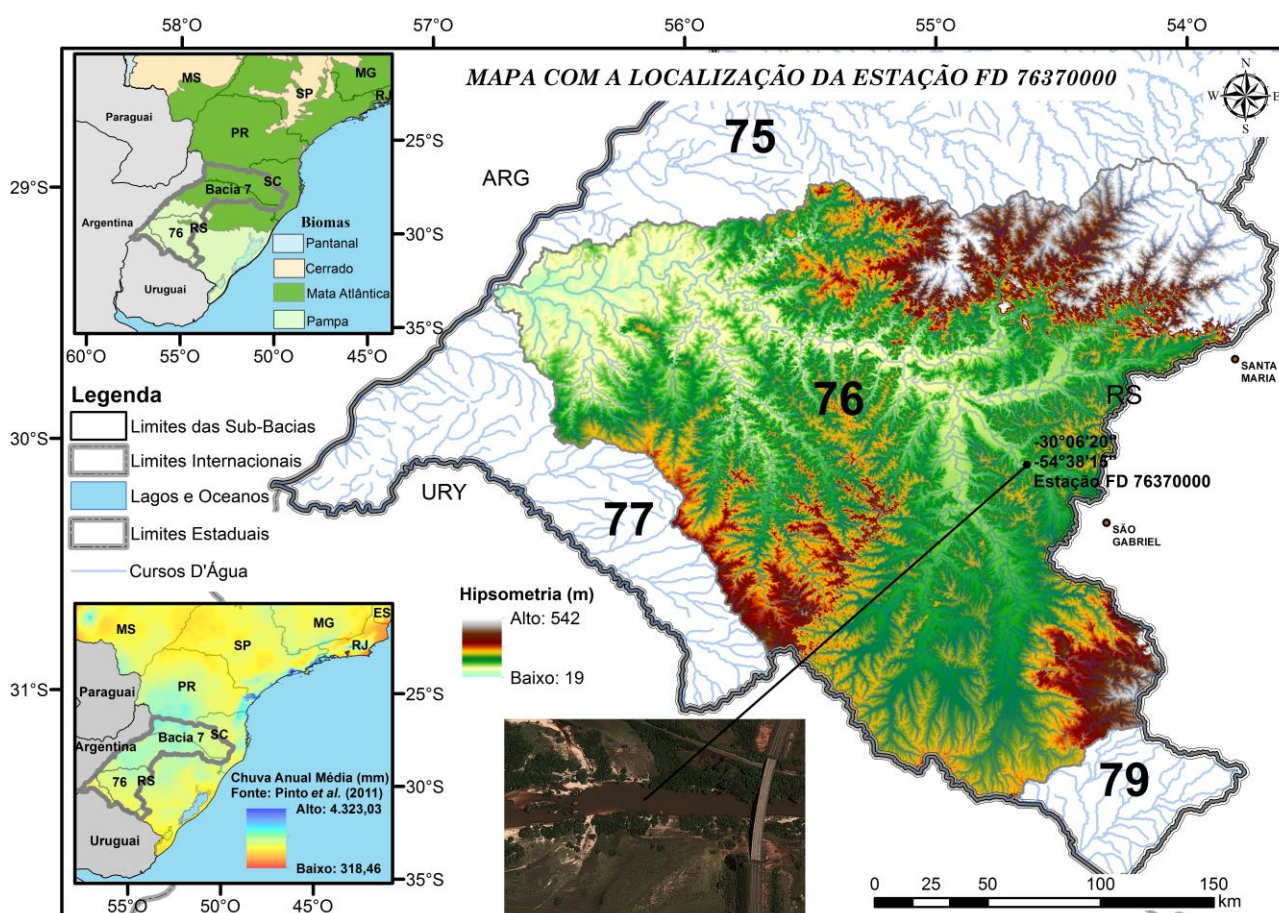


Figura 1 - Localização da estação 76370000 na sub-bacia 76, pertencente à bacia do Rio Uruguai.

Segundo o trabalho publicado por Koefender e Marcuzzo (2015), no Atlas Pluviométrico do Brasil publicado por Pinto *et al.* (2011) com dados de 1977 a 2006, verifica-se que a sub-bacia 76 possui médias anuais de precipitação que vão de 1.411,44mm em suas partes baixas até 1.933,24mm próximo aos divisores de água. Os maiores valores de precipitação estão entre as sub-

bacias 763 e 763, no entorno da cidade de Santiago, enquanto os menores valores estão na porção sul da sub-bacia 76, em uma área entre as sub-bacias 768 e 769.

Um maior detalhamento da bacia do rio Ibicuí (sub-bacia 76) pode ser observado em Koefender (2015). Um mapa de sub-bacias do Brasil pode ser observado em Marcuzzo (2016).

2.2. Caracterização geral da estação fluviométrica com medição de descarga líquida

A estação fluviométrica FD 76370000 (Azevedo Sodré), com medição de descarga líquida, possui sua localização mostrada na Figura 1. Seus dados inventariais, medições de vazões e cotas observadas foram obtidas do sistema HidroWeb (BRASIL, 2013), em 01/ 2015.

A estação esta localizada no estado do Rio Grande do Sul, no município de São Gabriel, na bacia do Rio Uruguai (7), mais precisamente na sub-bacia 76 (Figura 1), e esta localizada no Rio Cacequi (76123000). Segundo o inventário da ANA, disponível sistema HidroWeb (BRASIL, 2013), em janeiro de 2015, suas coordenadas geodésicas são $-30^{\circ}06'20''S$ e $-54^{\circ}38'15''W$, com uma altitude de aproximadamente 100 metros e uma área de drenagem de 1.220km². Possui registros de cotas e descarga líquida (FD) desde julho de 2004, e qualidade da água (Q) desde janeiro de 2009.

O perfil transversal (Figura 2) utilizado data de 28/02/2012, com distância entre o ponto inicial (PI) e ponto final (PF) de 184,5 metros, cota mínima de 77cm e cota máxima de 802cm, como mostrado na Figura 2. Segundo Gamaro *et al.* (2014) modificações do leito de rios implicam em diversos problemas práticos, como: modificações nos perfis de velocidades do escoamento, podendo influenciar nos resultados das medições convencionais de vazão; alterações das relações “cota x área” e das velocidades indexadas. Os mesmos autores relatam que os diferentes resultados obtidos entre os trabalhos estudados também dão um indicativo de que os procedimentos de campo devem ser padronizados.

A maior vazão medida na série histórica da estação 76370000 foi em 22/10/2014, com 100m³.s⁻¹ e uma cota de 498cm (Figura 2). Já a menor vazão medida foi de 0,393m³.s⁻¹ e uma cota de 94cm, em 01/06/2012. A maior cota observada em campo foi de 699cm, em 05/10/2005. A planilha de cálculo dos elementos geométricos esta disponível para baixar clicando na Figura 2. Melati e Marcuzzo (2014) constataram a grande frequência com que falhas de transcrição de dados fluviométricos aparecem, e como em alguns casos podem influenciar as características hidráulicas da seção transversal de um rio, afetando diretamente a concepção de curvas-chave.

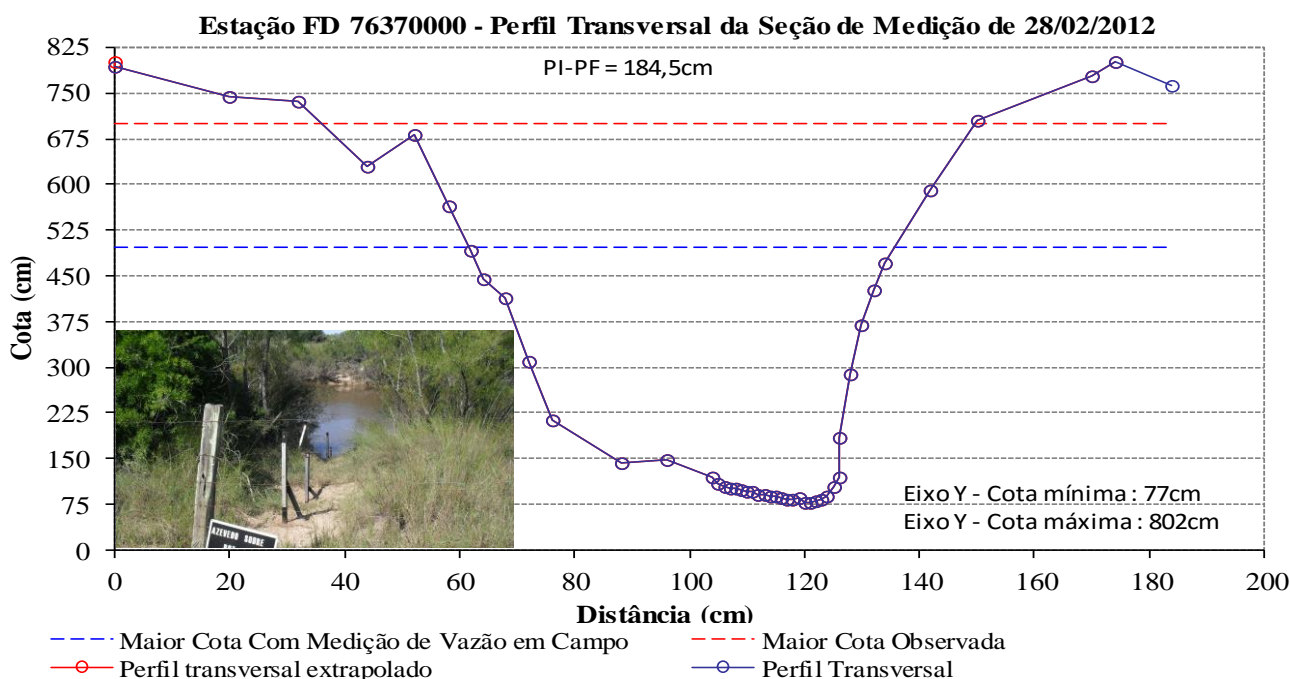


Figura 2 - Perfil transversal e foto da seção de réguas da estação FD 76370000 no Rio Cacequi.

2.3. MatLab, regressão simples e robusta

O nome do programa MATLAB é uma simples abreviação para laboratório de matrizes (*MATrix LABoratory*). No MATLAB programam-se códigos em um ambiente de alto nível que possui ferramentas avançadas para análise de dados e visualização gráfica de simulações, tendo a característica de possuir sua própria linguagem de programação. A aplicação do procedimento robusto de Huber (1964) e Huber (1996) em regressão reduz de uma forma geral a sensibilidade de regressões, principalmente com relação a pontos (“*fora da curva*”) discrepantes de um gráfico de dispersão. Um maior detalhamento teórico sobre otimização matemática, regressão e o MATLAB pode ser verificado em Marcuzzo (2008), Marcuzzo e Wendland (2010; 2014) e Ferreira (2012).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas-chave apresentadas na Figura 3 foram traçadas considerando 37 medições de vazão (35 graus de liberdade para a estatística) no período de 21/07/2004 a 22/10/2014, totalizando 10 anos de dados de medição de descarga líquida da estação FD 76370000.

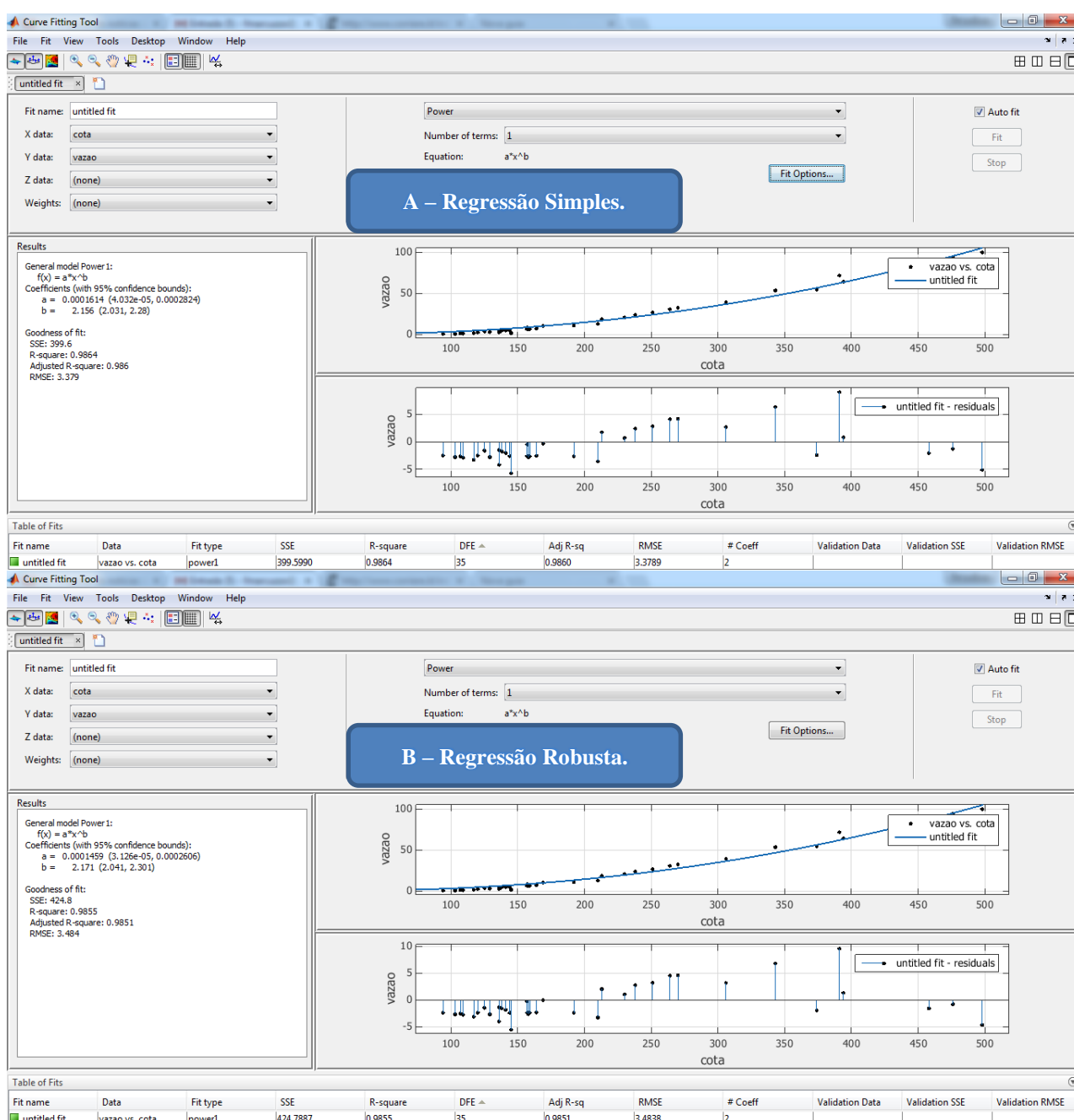


Figura 3 - Curva potencial com regressão simples (A) e robusta (B) ajustadas no MATLAB.

Observa-se na Figura 3 que a soma dos quadrados dos erros (*SSE*; *Sum of Squared Errors*) e o coeficiente de determinação (*R-square*) da regressão simples foram, respectivamente, 399,6 e 0,9864, enquanto os mesmos parâmetros qualitativos da regressão robusta foram, respectivamente, 424,8 e 0,9851. Ressalta-se que neste estudo não se dividiu a série histórica ou se procurou otimizar os coeficientes das curvas-chave provindas da regressão simples e robusta, não objetivando melhorar o ajuste minimizando a soma dos desvios absolutos ou minimizando o maior desvio. Neste estudo, pura e simplesmente, testou-se o ajuste normal da regressão simples e robusta.

Conforme o estudo de Maldonado *et al.* (2014) a deliberação 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. Logo, seguindo o princípio que a soma dos quadrados dos erros retrata a curva-chave que menos somou desvios (erros) entre a vazão calculada e a aferida em campo, observa-se na Figura 3 que a melhor curva-chave obtida foi a com regressão simples, em comparação com a obtida pela regressão robusta.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se que a regressão robusta, mesmo possuindo maior força para detectar pontos, da relação cota e vazão, com maior distanciamento da curva (“fora da curva”; *outliers*), não se demonstrou eficaz para o traçado desta curva-chave, pois a soma dos quadrados dos erros (diferença entre vazão calculada e medida em campo) foi maior para a regressão robusta em relação a simples.

Sugerem-se, para continuidade destes estudos sobre a utilidade da regressão robusta na concepção de curva-chave, o estudo detalhado de diferentes técnicas de ajuste da curva utilizando outras equações que não a potencial, visando testar a regressão robusta em relação a regressão simples com outros arranjos de coeficientes em equações.

AGRADECIMENTO

O autor agradece a CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil - Empresa Pública do Ministério de Minas e Energia) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho e a bibliotecária Ana Lucia Borges Fortes Coelho da CPRM/SGB de Porto Alegre pela ajuda constante com as referências bibliográficas.

BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Análise de consistência de dados fluviométricos de estações de monitoramento da ANA localizadas na bacia hidrográfica do Rio Purus (sub-bacia 13)**. Nota Técnica nº 245/2011/SGH-ANA. 30 de setembro de 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Inventário das estações fluviométricas**. 2. ed. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/InventariodasEstacoesFluviometricas.pdf>>. Acesso em 26 ago. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Sistema para Gerenciamento de Dados Hidrológicos**. Versão Hidro 1.2, compilação 1.2.1.286. Brasília: ANA, 2014. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 23 jan. 2015.

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 -XII Encontro de Pós-Graduação - II Mostra Científica, 2010, Pelotas. **Anais...** 2010. Disponível em: <http://wp.ufpel.edu.br/rhima/files/2010/09/CIC-UFPel-2010_01028.pdf>. Acesso em: 28 Jan. 2015.

- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Hidroweb**. Sistema de informações hidrológicas. 2013. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 11 ago. 2014.
- COLLISCHONN W.; DORNELLES F. **Hidrologia para engenharias e ciências ambientais**. Vol. 1. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH. 310p.
- DE BARROS, M. M. F.; DE MELO, C. R.; DE MELO, S. C.; DA COSTA, F. A.; GUEDES, P. A. Análise dos efeitos da redução de medições de descarga líquida sobre a qualidade das curvas-chave no rio tracunhaém: um estudo de caso. In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 2014, Natal. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2014. p. 1-10. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/xiisrhn/anais/papers/PAP018337.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2015.
- FERREIRA, P. A. V. **Otimização Não-linear**. 2002. Disponível em <<http://www.dt.fee.unicamp.br:80/~valente/ia543.html>>. Acesso em 12 fev. 2015.
- GAMARO, P. E.; MALDONADO, L. H.; DE CASTRO, J. L. Aplicação do método das dunas para determinação da descarga de fundo no Rio Paraná. In: XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 2014, ISSN-2359-2141, João Pessoa. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2014. p. 1-14. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/a62516366d12ad67e2bd2ef1de520499_f179fdbcdf38e11501e5cecdad16f47a.pdf>. Acesso em: 28 Jan. 2015.
- GAMARO, P. E.; MALDONADO, L. H.; SANTOS, J. M. Comparativo entre medições de vazão com micromolinetes e flowtracker para a estação São Francisco Falso. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2014. p. 1-10. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/579cd3a94951f7f86576318234b74346_3e706bdeb90ccc5bb34257e08bd60429.pdf>. Acesso em: 28 Jan. 2015.
- GOOGLE. **Google Earth**, 7.1.2.2041. [S.l. : s.n.], Compilação de 10/7/2013. 2013. Disponível em: <<http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>> Acesso em: 12 fev. 2015.
- HUBER, P. J. **Robust estimation of a location parameter**. Annals of Mathematical Statistics, v. 35, n. 1, p. 73–101, 1964. Disponível em: <https://projecteuclid.org/download/pdf_1/euclid.aoms/1177703732>. Acesso em: 21. Mai. 2015.
- HUBER, P. J. **Robust statistical procedures**. 2ª edição. Germany: Siam, 1996.
- INDIA. **How to establish stage discharge rating curve**. Training module # SWDP – 29. New Delhi: Hydrology Project, 1999. Disponível em: <<http://www.cwc.gov.in/main/HP/download/29%20HOW%20TO%20ESTABLISH%20STAGE%20DISCHARGE%20RATING%20CURVE.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2011.
- JACCON, G.; CUDO, K. J. Curva-chave: análise e traçado. Brasília: DNAEE, 273p. Disponível em: <http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers12-12/30572.pdf>. Acesso em: 28 Jan. 2015.
- KOEFENDER, A. **Regionalização de vazões Q7,10, Q90% e Q50% na bacia hidrográfica do rio Ibicuí (sub-bacia 76)**. 2015. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, UFRGS/IPH, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgObWItM31UEMzOGc/view?usp=sharing>. Acesso em: 23 jun. 2016.
- KOEFENDER, A.; MARCUZZO, F. F. N. Análise de diferentes MDE no cálculo de área de drenagem e perímetro de estações fluviométricas na sub-bacia 76. In: XXI Simpósio Brasileiros de Recursos Hídricos, 2015, Brasília. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2015. p. 1-8. Disponível em: <http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-868_analise-de-diferentes-mde-no-calculo-de-area-de-drenagem-e-perimetro-de-estacoes-fluviometricas-na-sub-bacia-76>. Acesso em: 28 Jun. 2016.
- 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, João Pessoa. XI ENES, 2014. Disponível em:

<https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/5017322205a6ee548ab306876bfd35fb_fc8e1745328977f048ed9ebab8685ee6.pdf>. Acesso em: 28 Jan. 2015.

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. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/e62af33544f06382bbefac354d6cc03f_26c78165c859500fad1245dab3f44617.pdf>. Acesso em: 28 Jan. 2015.

MARCUZZO, F. F. N. Algoritmos genéticos e programação matemática não linear na otimização de curva-chave. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2015. p. 1-8. Disponível em: <http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-4_algoritmos-geneticos-e-programacao-matematica-nao-linear-na-otimizacao-de-curva-chave>. Acesso em: 28 Jun. 2016.

MARCUZZO, F. F. N. **Mapa das bacias e sub/bacias hidrográficas do Brasil**. Escala 1cm:79km. Porto Alegre: 2016. Disponível em: <<https://1drv.ms/f/s!AvsfYVvABIQEHtT3hbuMTxKYAb8>>. Acesso em: 21 jun. 2016.

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. 1-10. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/xiisrhn/anais/papers/PAP018282.pdf>>. Acesso em: 28 Jan. 2015.

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. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-11112008-091041/pt-br.php>>. Acesso em 12 fev. 2015.

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, 109-118. 2010. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/0965dabc71f46b05537f68871d5ed280_de994387275c4b2e6327350b0de23f65.pdf>. Acesso em 12 fev. 2015.

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. 2015.

MATHWORKS. Matlab for Windows, version 8.2 R2013b: tutorial of optimization toolbox. [S. l.]: The MathWorks Inc., 2013. Conjunto de programas. 1 CD-ROM. Disponível em: <http://www.mathworks.com/products/?s_tid=gn_ps>. Acesso em 23 fev. 2015.

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://www.abrh.org.br/xiisrhn/anais/papers/PAP018475.pdf>>. Acesso em: 28 Jan. 2015.

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 Christina; Do Nascimento, Jean Ricardo da Silva; Dos Santos, André Luis M. Real; Farias, José Alexandre Moreira; Machado, Érica Cristina; Marcuzzo, Francisco Fernando Noronha; Medeiros, Vanesca Sartorelli; Rodrigues, Paulo de Tarso R.; Weschenfelder, Adriana Burin; Sistema de Informação Geográfica-SIG - versão 2.0 - atualizada em novembro/2011; Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade. Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/publique/media/Isoietas_Totais_Anuais_1977_2006.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2014.

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. 1-8. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/0903c65b715c1e547562c351c073d1fd_dc61c3ccb356c0c9979e39186b36c72d.pdf>. Acesso em: 28 Jan. 2015.

SEFIONE, A. L. Estudo comparativo de métodos de extrapolação superior de curvas-chave. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2001. 96p. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/3258>>. Acesso em: 28 Jan. 2015.

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, 2001, Aracaju/Se. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 1-13.

SILVA, J. F. R. e; FARIAS, J. A. M.; COELHO, L. da SILVA; DE MELO, C. R. Revisão histórica das curvas-chave da sub-bacia 36 – estudo de caso da estação Jaguaribe (36320000). In: Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 20. 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2013. p. 1-8. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Evento_revisao_RegoSilva.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2015.

SIMON, F. W.; PICKBRENNER, K.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo do regime pluvial e fluvial em bacia hidrográfica com precipitação homogênea. In: Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 20. 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2013. p. 1-8. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/22de4a642c2c18259e4809409096e0ff_6f2356d4ea7d3fcaba0d55bad04e4bea4.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2015.