



Efeito do Atrito na Curva-chave Sedimentométrica

Victor M. Ponce¹ ; Janaína A. Silva²

ABSTRACT – Six measured sediment rating curves are examined through a wide range of discharges. At high discharges, the sediment rating curve tends to asymptotically approach a maximum sediment concentration. At low discharges, the documented drop in sediment concentration is attributed to the effect of form friction. A comprehensive field and laboratory data set is used to show that, at low discharges, total friction (grain and form) and sediment concentration are inversely related, with form friction accounting for a significant portion of total friction. At high discharges, form friction is reduced to a minimum, with total friction and sediment concentration approaching a constant value. Thus, at low discharges, form friction effectively reduces sediment concentration to values below that which could be attained at high discharges.

Palavras-Chave – Curva-chave sedimentométrica; transporte de sedimentos, atrito.

1 - INTRODUÇÃO

O estudo do transporte de sedimento é repleto de dificuldades, incluindo o papel desempenhado pelo atrito (grão e forma do leito), blindagem, instabilidade do fluxo e assim por diante. Apesar dessas dificuldades, na prática, geralmente é possível desenvolver uma curva-chave sedimentométrica para uma determinada área com base em uma relação de transporte de sedimentos apropriada e/ou dados medidos em campo.

A curva-chave sedimentométrica é plotada com os dados de vazão (cfs – cubic feet per second) e dados de descarga de sedimentos de leito (toneladas/dia), normalmente em escala logarítmica. Para valores elevados de vazão, a curva-chave tem a tendência de se aproximar assintoticamente da concentração máxima de sedimentos (American Society of Civil Engineers 1975, p. 476), ou seja, assintótica a linha de 45°. Ponce (1988) examinou essa característica da classificação de sedimentos e se referiu ao valor máximo como concentração final de sedimentos.

A natureza da classificação de sedimentos, na qual a concentração (a) aumenta conforme a vazão aumenta, quando esses valores de vazão são baixos e (b) é assintótica ao valor máximo quando os valores de vazões são suficientemente altos, sugere que existe um mecanismo atuando para diminuir a concentração de sedimentos em vazões reduzidas. É suposto aqui que esse

1) San Diego State University, 5500 Campanile Drive, San Diego, CA, Estados Unidos, poncevm@gmail.com, +1 858.537.7212

2) San Diego State University, 5500 Campanile Drive, San Diego, CA, Estados Unidos, janainaehd@gmail.com, +1 858.203.8477

mecanismo corresponde ao atrito. O objetivo desse trabalho é mostrar, usando dados de campo de alta qualidade, que o atrito devido a forma do leito é o principal responsável pela curvatura e forma do sedimento documentadas em vazões reduzidas.

Especificamente, será confirmado que para valores altos de vazão, a curva-chave sedimentométrica tem a tendência de se aproximar assintoticamente da concentração máxima de sedimento (American Society of Civil Engineers 1975). Para valores baixos de vazão, o atrito devido a forma do leito reduz a presença de sedimentos a concentrações menores do que as concentrações consideradas insignificantes. O efeito final do atrito devido a forma do leito é causar uma redução da concentração de sedimento a valores abaixo do valor final (Colby 1964; Ponce 1988), aumentando substancialmente a complexidade dos cálculos de transporte de sedimento para vazões reduzidas.

Aparentemente, Einstein (1950) foi o primeiro a separar o atrito total de canais aluviais em seus componentes: (a) atrito entre grãos e (b) atrito devido a forma do leito. Ele argumentou que a porção da energia gasta no atrito devido a forma do leito não contribui para o movimento do sedimento de fundo; portanto, poderia ser desconsiderado no cálculo da descarga de sedimento (op. cit., página 9). Isso, admiravelmente, corresponde a conclusão de que o efeito do atrito devido a forma do leito reduz a carga de sedimentos de fundo abaixo dos valores que podem ser atingidos considerando-se apenas o atrito entre grãos.

2 - DADOS DE CAMPO

Nesse estudo foram utilizados dados obtidos por Williams (1995), que foi responsável por produzir um banco de dados digital contendo dados utilizados por Ackers & White (1973), Brownlie (1981 a,b), Engelund & Hansen (1967), e Yang (1973) no desenvolvimento de suas relações de transporte de sedimentos. O conjunto de dados de Brownlie inclui aproximadamente 7.000 conjuntos de dados de campo e laboratório.

Williams (1995) filtrou os dados para incluir apenas pontos que apresentavam as seguintes características:

- Coeficiente de gradação menores que 5, visando eliminar distribuições bimodais de tamanho;
- Tamanho médio de grãos de areia dentro da faixa 0,062 a 2.0 mm;
- Relação de aspecto maior que 4;
- Relação entre profundidade e tamanho médio de grãos maior que 100; e
- Concentração de sedimentos maior que 10 ppm.



Os seis conjuntos de dados a seguir (Brownlie 1981a, 1981b) foram utilizados na presente análise:

- 63 coletas de dados realizadas no Rio Atchafalaya (Toffaleti 1968).
- 40 coletas de dados realizadas no Rio Niobrara (Colby and Hembree 1955).
- 38 coletas de dados realizadas no Rio Middle Loup (Hubbell and Matejka 1959).
- 51 coletas de dados realizadas no Rio Grande (Nordin and Beverage 1965).
- 156 coletas de dados realizadas no Rio Mississippi (Toffaleti 1968).
- 29 coletas de dados realizadas no Rio Red (Toffaleti 1968).

Cada conjunto de dados contém informações coletadas sobre:

- Vazão;
- Largura do canal;
- Profundidade;
- Declividade do fundo do canal;
- Diâmetro médio de grãos;
- Coeficiente de graduação;
- Gravidade específica do sedimento;
- Medição da concentração de sedimentos; e
- Temperatura da água.
- O conjunto de dados referente ao Rio Niobrara inclui, também, informações sobre o tipo de leito.

3 - METODOLOGIA E RESULTADOS

São apresentados nas Figuras 1 a 6 curvas-chave sedimentométricas, considerando-se valores medidos em campo. Adicionalmente, foram utilizados os valores de vazão, largura do canal, profundidade e declividade do fundo do canal para determinação do coeficiente de Manning n (Chow, 1959). Para simplificar, foi considerado que os canais possuem seção retangular. Para cada conjunto de dados, os valores de coeficiente de Manning calculados foram plotados em eixo secundário, sendo possível, dessa forma, comparar a tendência desses valores com a curva-chave sedimentométrica. Em todos os casos fica claro que o coeficiente de Manning diminui conforme a vazão (e quantidade de sedimentos) aumenta.

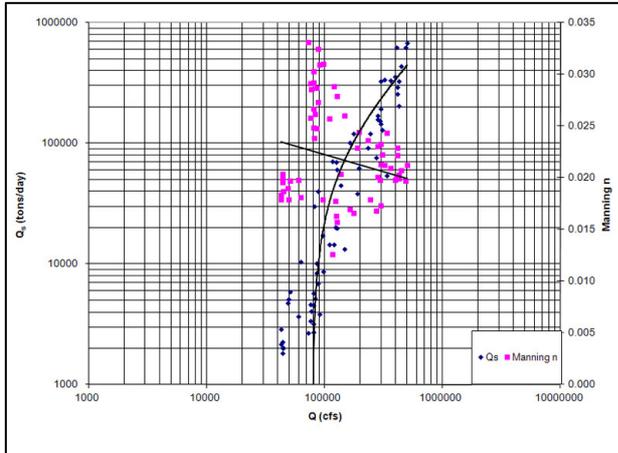


Figura 1 – Curva granulométrica do Rio Atchafalaya (fonte: autoria própria).

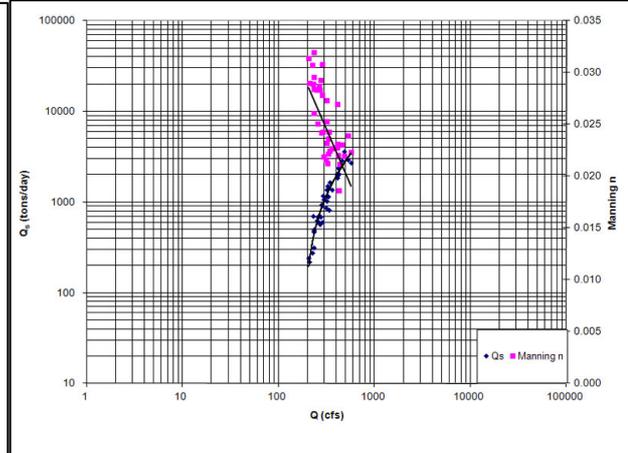


Figura 2 – Curva granulométrica do Rio Niobrara (fonte: autoria própria).

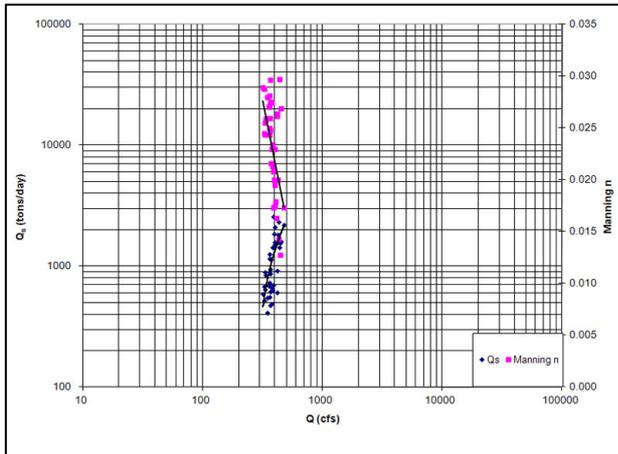


Figura 3 – Curva granulométrica do Rio Middle Loup (fonte: autoria própria).

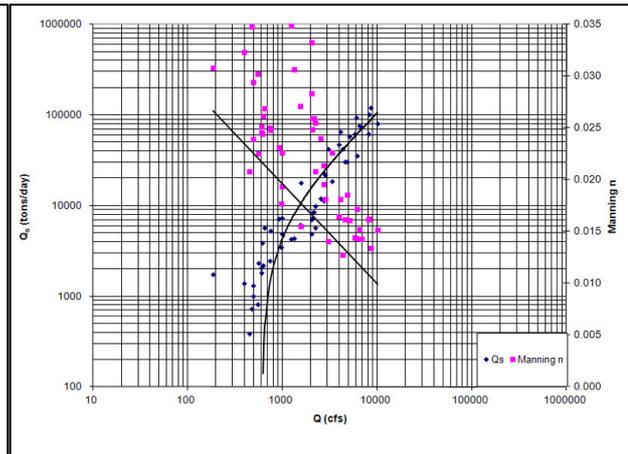


Figura 4 – Curva granulométrica do Rio Grande (fonte: autoria própria).

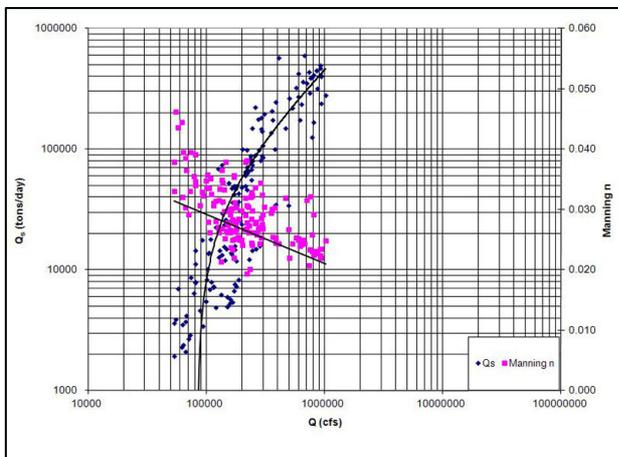


Figura 5 – Curva granulométrica do Rio Mississippi (fonte: autoria própria).

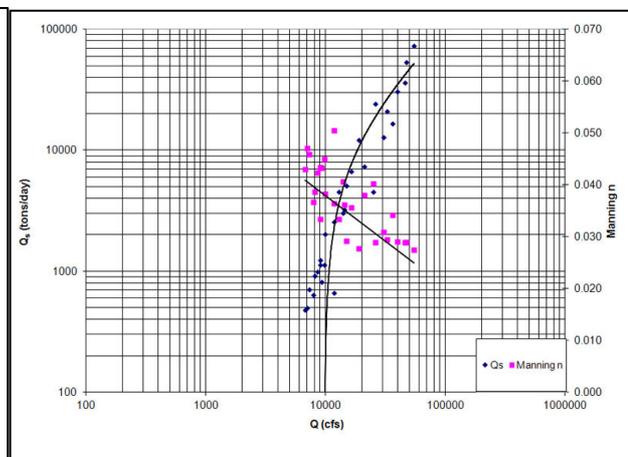


Figura 6 – Curva granulométrica do Rio Red (fonte: autoria própria).



4 - CONCLUSÕES

Com o uso de conjuntos de dados de campo de alta qualidade, foi demonstrado que a o atrito devido a forma do leito é amplamente responsável pela curvatura e forma da curva-chave sedimentométrica tipicamente documentada. Especificamente, foi confirmado que para valores altos de vazão, as curvas-chave sedimentométricas apresentam a tendência de se aproximarem assintoticamente da concentração máxima de sedimentos. Inversamente, para valores baixos de vazão, o atrito devido a forma do leito reduz a concentração de sedimento a valores inferiores aos que obtidos em casos em que o atrito devido a forma do leito pode ser desconsiderado.

Foram plotadas seis curvas-chave sedimentométricas, as quais consideraram conjuntos de dados de campo de alta qualidade. Adicionalmente, foram utilizados os valores de vazão, largura do canal, profundidade e declividade do fundo do canal para determinação do coeficiente de Manning n . Os dados foram plotados de forma que a tendência da curva-chave sedimentométrica pudesse ser comparada com a tendência do coeficiente de Manning. Em todos os casos foi identificada a redução dos valores de coeficiente de Manning com o aumento dos valores de vazão e concentração de sedimentos.

Conclui-se que para valores de vazão baixos, o atrito devido a forma do leito tem um papel significativo na redução do transporte de sedimento, diminuindo efetivamente a concentração de sedimentos a valores substancialmente menores que a concentração final. Para valores altos de vazão, o atrito devido a forma do leito é reduzido, já o atrito total tende a ser constante e a concentração de sedimentos aproxima-se assintoticamente da concentração final. Esses resultados esclarecem a compreensão atual das curvas-chave sedimentométricas, em particular, e o transporte de sedimentos, em geral.

5 - REFERÊNCIAS

ACKERS, P. e W. R. WHITE (1973). "*Sediment transport: New approach and analysis*", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 99(11), 2041-2060.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. (1975). Sedimentation Engineering. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice - No. 54, New York, NY.

BROWNLIE, W. L. (1981a). "*Prediction of flow depth and sediment discharge in open channels*", Report KH-R-43A, W.M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, Pasadena, California.



BROWNLIE, W. L. (1981b). "*Compilation of alluvial channel data: Laboratory and field*", Report KH-R-43B, W.M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, Pasadena, California.

CHOW, V. T. (1959). *Open-channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York.

COLBY, B. R. e C. H. HEMBREE (1955). "*Computations of total sediment discharge, Niobrara river near Cody, Nebraska*", U.S. Geological Survey Water Supply Paper No. 1351, Washington, D.C.

COLBY, B. R. (1964). "*Discharge of sands and mean-velocity relations in sand-bed streams*", U.S. Geological Survey Professional Paper 462-A, Washington, D.C.

EINSTEIN, H. A. (1950). "*The bed-load function for sediment transportation in open channel flows*", Technical Bulletin No. 1026, U. S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, D.C., September.

ENGELUND, F., e E. HANSEN. (1967). "*A monograph on sediment transport in alluvial streams*", Teknisk Vorlag, Copenhagen, Denmark.

HUBBELL, D. W. e D. Q. MATEJKA (1959). "*Investigations of sediment transportation, Middle Loup river at Dunning, Nebraska*", U. S. Geological Survey Water Supply Paper No. 1416, Washington, D.C.

NORDIN, C. F., JR. e J. P. BEVERAGE (1965). "*Sediment transport in the Rio Grande, New Mexico*", U. S. Geological Survey Professional Paper No. 462-F, Washington, D.C.

PONCE, V. M. (1988). "*Ultimate sediment concentration*" Proceedings, 1988 National Conference of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers Hydraulics Division, New York, 311-315.

TOFFALETI, F. B. (1968). "*A Procedure for computation of the total river sand discharge and detailed distribution, bed to surface*" Technical Report No. 5, Committee on Channel Stabilization, Corps of Engineers, United States Army, Vicksburg, Mississippi.

WILLIAMS, D. T. (1995). "*Selection and predictability of sand transport relations based upon a numerical index*" Ph.D. dissertation, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

YANG, C. T. (1973). "*Incipient motion and sediment transport*" Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 99(10), 1679-1704.