

Distribuição vertical não uniforme de sedimento fino no rio Amazonas (1)

William F. Curtis (2), Robert H. Meade (2), Carl F. Nordin, Jr. (2), N. Brian Price (3) e
Edward R. Sholkovitz (3)

Resumo

Partículas suspensas de sedimentos menores que $60\mu\text{m}$ não estão uniformemente distribuídas nas águas dos rios Amazonas e Solimões. Concentrações destas partículas finas na superfície da água são somente a metade da concentração do que em amostras integradas através de profundidade. Até partículas de $10\mu\text{m}$ estão menos concentradas perto da superfície do que a maiores profundidades. Estimativas de produção de sedimento e fluxo de constituintes químicos em suspensões que são baseadas somente em amostra da superfície, estão passíveis de conter erros significativamente grandes.

Em estudos de transporte de sedimento em rios, uma suposição é feita de que partículas suspensas menores que um determinado tamanho (usualmente da ordem de $60\mu\text{m}$) estão uniformemente concentrados do leito do rio à superfície da água (Partheniades, 1977; Guy & Norman, 1970). A suposição parece ser, na maioria das vezes, uma questão de conveniência; está bem estabelecido que o gradiente de concentração vertical para partículas suspensas de sedimento em rios é diretamente proporcional à velocidade de queda das partículas e inversamente proporcional à velocidade de cisalhamento da correnteza (Nordin Jr. & McQuivey, 1971). Para partículas suspensas muito finas em correntezas muito turbulentas, o gradiente de concentração pode ser pequeno; a suposição tem sido usada, conseqüentemente, para justificar a coleta de amostras perto da superfície em curso d'água onde as velocidades são grandes e a turbulência é intensa (Guy & Norman, 1970). Nossos recentes estudos de sedimento em suspensão no rio Amazonas mostram que esta suposição não é válida para rios profundos e que erros consideráveis resultam do uso de concentrações de amostras da superfície como representando a concentração de sedimento em

suspensão e seus constituintes adsorvidos associados para toda a profundidade do curso d'água.

Durante a estação das cheias de 1976 e 1977, coletamos amostras de água e sedimento no rio Amazonas entre a foz e Iquitos, cerca de 3.700 km rio acima a partir da sua boca. Usamos vários equipamentos de amostragem a bordo do Navio de Pesquisa "Alpha Helix": garrafas de Niskin, um "point sampler", um coletor de profundidade integrado e um balde. A garrafa de Niskin, que se tornou o equipamento de amostragem padrão na maioria das pesquisas básicas em química dos oceanos nos EEUU, é abaixada aberta na profundidade desejada e então fechada por um mensageiro enviado para baixo por um fio. O "point sampler" que usamos é uma versão modificada do coletor US P-63 que é usado em rios profundos da América do Norte (Guy & Norman, 1970): ele tem um bocal cuja frente é voltada diretamente para a corrente e que é projetado para receber água em sua velocidade ambiente no rio. O bocal tem uma válvula que pode ser aberta e fechada por controle remoto depois de o coletor ter abaixado até à profundidade desejada. À medida que o coletor é descido dentro da corrente, o ar é comprimido no "container" da amostra e assim as pressões dentro do "container" e da corrente são iguais. Isto é para evitar uma onda inicial dentro do coletor quando a válvula é repentinamente aberta, o que influenciará a amostra (Guy & Norman, 1970). Nosso coletor tinha uma câmara de ar auxiliar para permitir a equalização da pressão para profundidades de 100 metros. O coletor de profundidade integrada que usamos é uma modificação ampliada do coletor tipo, com o qual a maioria das amostras de sedimentos de rios é coletada nos Estados Unidos (Guy & Norman,

(1) — Versão original inglesa publicada em *Nature*, 280 (5721): 381-383, aug. 1979.

(2) — U.S. Geological Survey, Denver, Colorado, USA.

(3) — Grant Institute of Geology, University of Edinburgh, UK.

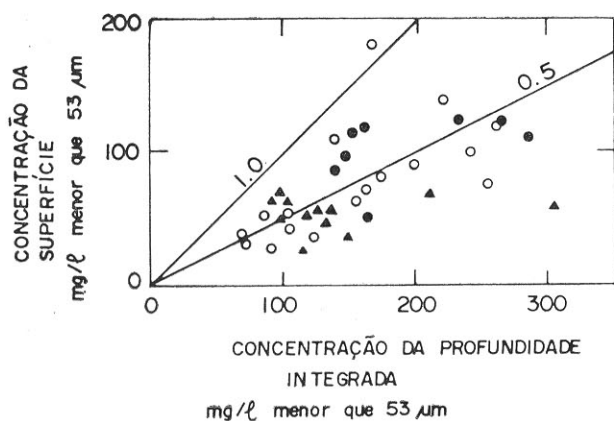


Fig. 1 — Relações entre concentrações de sedimento de grão fino em suspensão na superfície do rio e em amostras de profundidade integrada na calha do rio Amazonas perto de Iquitos, em São Paulo de Olivença, em Santo Antonio do Içá, em Itapeúba (perto de Coari), perto de Manacapuru, e em Óbidos. Amostras coletadas entre 20 de maio e 2 de junho de 1977. Os pontos estão codificados por profundidade do rio: círculos escuros, profundidades ≤ 24 m; círculos abertos, 24-49m; triângulos, ≥ 50 m. As linhas do gráfico não são de regressão, mas são linhas de referência para mostrar proporções de concentrações de superfície para profundidade integrada.

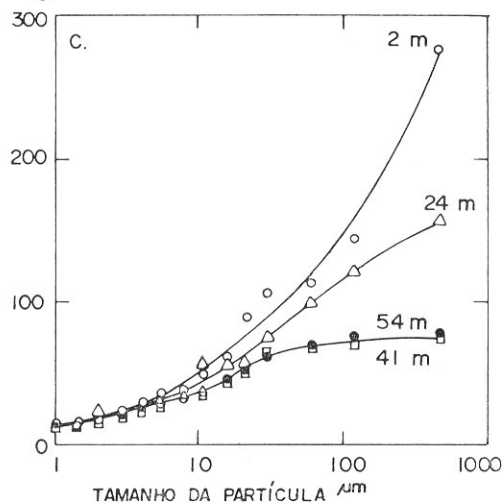
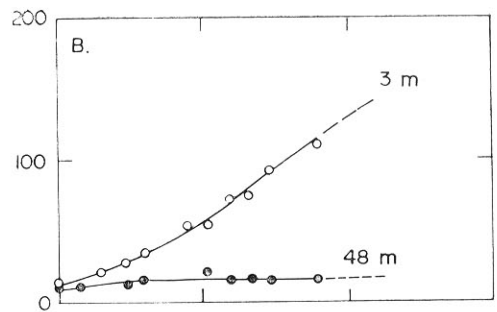
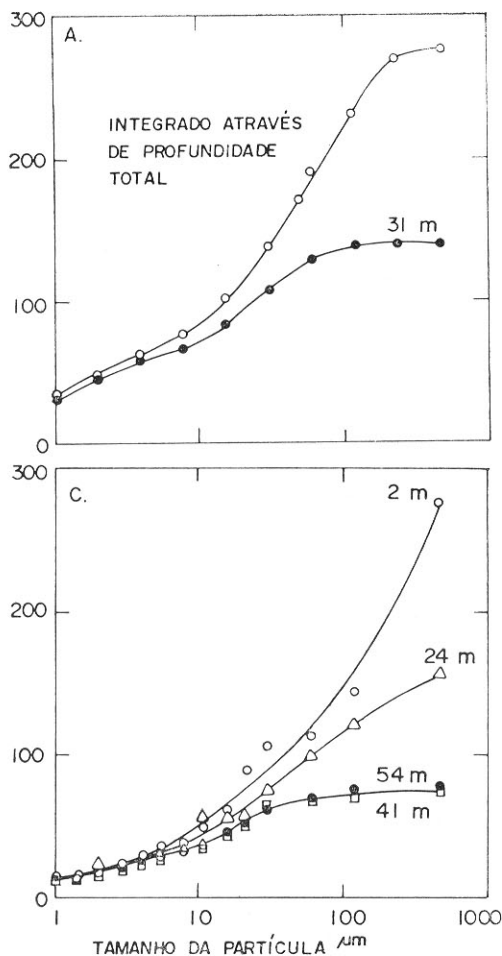
1970). Ele tem o mesmo tipo de bocal do "point sampler" (mas sem uma válvula que a feche), e é abaixado até ao leito do rio e içado para a superfície em uma taxa vertical uniforme. A amostra de profundidade integrada resultante é, por isso, pesada, para diferenças em velocidade na vertical, e a concentração de sedimentos na amostra é uma concentração média da velocidade-pesada. Nosso mais simples equipamento era um balde, com o qual colhemos algumas das amostras da superfície do rio. Pormenores de nossos procedimentos de amostragem e analíticos, mais uma tabulação de nossos dados, são dados em outros trabalhos. (Meade *et al.* 1979; Nordin Jr. & Skinner, 1977).

As análises de tamanho de partícula representadas nas figuras (1 e 2) foram efetuadas de várias maneiras. Amostras coletadas em 1976 foram separadas inteiramente a bordo do navio por peneira (tamanhos maiores que $63 \mu\text{m}$). As frações peneiradas e pipetadas eram preservadas (a última em filtros de Nuclepore pré-pesados tendo um diâmetro de poro de $0,4 \mu\text{m}$) para posterior pesagem no laboratório em Edinburgh. Amostras coletadas em 1977

foram todas passadas por uma peneira de $53 \mu\text{m}$ a bordo do navio, e o material coletado foi preservado para análises competentes no laboratório em Denver. Suspensão de sedimento fino que passou na peneira de $53 \mu\text{m}$ era na maioria filtrada a bordo, em filtros de Milipore pré-pesados (diâmetro nominal do poro $0,45 \mu\text{m}$) para posterior pesagem em Denver. Contudo, algumas suspensões de partículas mais finas que $53 \mu\text{m}$ foram engarrafadas e enviadas para os Estados Unidos para análises de pipeta minuciosas das medidas de silte e argila. Análises de pipeta feitas a bordo em 1976 usaram água do rio sem adicionar dispersantes. Análises de pipeta feitas nos Estados Unidos em 1977 usaram água destilada e agentes dispersantes. (Gúy, 1969).

A figura 1 mostra uma comparação de concentrações de sedimento em suspensão de grão fino (menor que $53 \mu\text{m}$) coletado em 1 metro de água superficial com as concentrações coletadas nos mesmos locais de toda a profundidade da água pelo coletor de profundidade integrada. As amostras representadas na figura foram coletadas em seis secções cruzadas ao longo dos 3000 km da calha do Amazonas entre Iquitos, Peru e Óbidos, Brasil. No geral, a concentração de material fino em suspensão na superfície da água é cerca da metade da concentração média de material fino na profundidade total do rio. Isto não confirma a informação de Gibbs (1967) de que amostras coletadas a 0,9 de profundidade total (0,1 da distância do leito do rio para a superfície da água) no Amazonas tinha somente uma concentração 20% maior de sedimento em suspensão que amostras coletadas da superfície do rio nos mesmos locais. Amostras coletadas a 0,9 da profundidade total deveriam ter concentrações mesmo maiores do que as concentrações médias de profundidade integrada mostrada na figura 1. Além disso, quando a concentração total em suspensão é considerada (isto é, quando material maior que $53 \mu\text{m}$ é incluído), a diferença entre concentrações próximas da superfície e próximas do fundo é mesmo maior.

Existe um tamanho mínimo de partícula, abaixo do qual a concentração em suspensão do leito até à superfície do rio é uniforme? A figura 2 mostra os resultados de análises de medições de amostras coletadas em três di-



CONCENTRAÇÃO (mg/l) MENOR QUE O TAMANHO INDICADO

Fig. 2 — Distribuições de tamanho de partícula de sedimento em suspensão coletado por diferentes métodos de amostragem no rio Amazonas. Os números em cada curva são distâncias de amostras de 1 m abaixo da superfície. **A)** Amostras coletadas por coletor de profundidade integrada por profundidade total do rio (da superfície até ao leito e de volta à superfície) e pelo coletor integrado em uma única profundidade de 1 m abaixo da superfície (31 m acima do leito do rio). Cada curva representa uma combinação de duas amostras coletadas na parte central esquerda do canal, em São Paulo de Olivença, 22 de maio de 1977. **B)** Amostras coletadas por garrafas de Niskin de 30 L 3 m acima do leito do rio e na superfície do rio (48 m acima do leito do rio) no centro do canal próximo a Manacapuru, 22 de junho de 1976. **C)** Amostras coletadas por coletor point a 2 m, 24 m, 41 m e 54 m acima do leito do rio na parte central esquerda do canal em Óbidos, 14 de junho de 1976. Distribuições dos tamanhos de partícula a 41 m e 54 m não foram suficientes para garantir linhas separadas através de seus pontos. Amostra no local mais alto (54 m acima do leito) foi obtida na profundidade de 9 m abaixo da superfície da água.

ferentes localidades com três diferentes tipos de equipamento. As análises mostraram que partículas mesmo tão pequenas quanto 10 μm não são uniformemente distribuídas. Em dois dos três grupos de análises mostrados na figura, concentrações de partículas tão pequenas quanto 1 ou 2 μm mostram pequenas mas perceptíveis diferenças entre o fundo e a superfície.

Concluimos que, em um rio tão fundo quanto o Amazonas, não se pode supor que partículas em suspensão maiores que 1 μm estejam uniformemente distribuídas em suspensão. No Amazonas, assim como também em outros grandes rios do mundo, estimativas de produção de sedimento e fluxo de constituintes químicos em suspensões que são baseadas somente em amostra da superfície estão passíveis erros significativamente grandes.

SUMMARY

Sediment particles finer than 60 μm are not uniformly distributed in suspension in waters of the Ama-

zon and Solimões Rivers. Concentrations of such fine particles at the river surface are only half as large as their concentrations in the full water column. Particles as small as 10 μm are less concentrated near the river surface than at greater depths. Estimates of sediment yield and flux of suspended chemical constituents that are based only on surface samples are likely to contain significant errors.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GIBBS, R.J.
1967 — The geochemistry of the Amazon River system: Part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. In: **Geological Society of America Bulletin**, 78 (10): 1203-1232.
- GUY, H.P.
1969 — **Laboratory theory and methods for sediment analysis: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations**. Book 5, Chapter C1, 58p.

GUY, H.P. & NORMAN, V.W.

1970 — **Field methods for measurement of fluvial sediment: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations.** Book 3, Chapter C2, 59p.

MEADE, R.H.; NORDIN, C.F.; CURTIS, W.F.;
MAHONEY, H.A. & DELANEY, B.M.

1979 — Suspended-sediment and velocity data, Amazon River and its tributaries, June-July 1976 and May-June 1977. In: **U.S. Geological Survey Open-file Report**, p. 79-515.

NORDIN JR., C.F. & McQUIVEY, R.S.

1971 — Suspended load, Chapter 12. In: **River Mechanics** (Shen, H.W. ed.) Ft. Collins, Colorado, v. 1, 0.12-1 to 12-31.

NORDIN, JR., C.F. & SKINNER, J.V.

1977 — Sediment-sampling equipment for deep fast currents. In: **Proceedings of the 17th Congress, International Association for Hydraulic Research**, v. 6, p. 606-609.

PARTHENIADES, E.

1977 — Unified view of wash load and bed material load. In: **J. of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers**, 103 (HY9): 1037-1057.

(Aceito para publicação em 17/12/79)