

IV-187 - INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA NA ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO UTILIZANDO SENSOR DE TURBIDEZ

Fabiana Gonçalves Carvalho Oliveira⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas, Campus Poços de Caldas. Mestranda em Ciência e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas, Campus Poços de Caldas.

Alexandre Silveira⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Unesp, Mestre em Hidráulica e Saneamento pela USP, Escola de Engenharia de São Carlos e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela USP, Escola de Engenharia de São Carlos.

Rafael de Oliveira Tiezzi⁽³⁾

Engenheiro Ambiental pela UNESP, Mestre em Planejamento Energético pela UNICAMP e doutor em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais pela UNICAMP.

Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes⁽⁴⁾

Engenheiro Ambiental pelo Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal, Mestre e Doutor em Geociências Aplicadas pela UnB.

Endereço⁽¹⁾: Rodovia José Aurélio Vilela, 11999 (BR 533) Cidade Universitária, Poços de Caldas-MG, Brasil, CEP: 37715-400, Tel: (35) 99724-4499 - e-mail: fabianagcarvalho@hotmail.com

RESUMO

O monitoramento do transporte de sedimentos em suspensão é de extrema importância para a manutenção dos recursos hídricos e atividades econômicas relacionadas ao seu uso. A medição do sedimento em suspensão transportado pode ser realizada direta ou indiretamente, porém os métodos indiretos têm desenvolvidos como substitutos dos métodos tradicionais de coleta de sedimentos por permitirem um monitoramento mais eficiente. Entre os métodos indiretos, o sensor de turbidez ganhou proeminência no monitoramento da concentração de sedimentos em suspensão (CSS), porém pode ser influenciado pelas características da partícula do sedimento, pelas características ópticas e geométricas do sensor e ainda pelas propriedades do escoamento. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da granulometria dos sedimentos na estimativa da concentração de sólidos em suspensão utilizando um sensor de turbidez em escala de laboratório. Para isso realizou-se a medida da turbidez e da CSS em um canal artificial alimentado por água e sedimento. Foram realizados testes com 5 faixas granulométricas: 20-38, 38-45, 45-53, 53-63 e 63-75 μ m. Cada teste teve a duração de 1 hora, durante este tempo a turbidez foi medida a cada 14 segundos pelo sensor SOLAR SL 2000 PNV. Nesta 1 hora de teste a vazão de entrada de sedimento foi alterada a cada 10min, totalizando 6 diferentes vazões: $q_1=0,005$, $q_2=0,008$, $q_3=0,010$, $q_4=0,012$, $q_5=0,015$, $q_6=0,017$ L/s. Para cada uma destas vazões, coletou-se 3 amostras de água+sedimento que foram filtradas para obter-se a CSS. Desta forma conclui-se que a granulometria dos sedimentos influencia a determinação da concentração de sedimentos em suspensão utilizando o sensor de turbidez e ainda que a relação CSS x T é melhor representada pelo ajuste linear com coeficiente linear igual a zero.

PALAVRAS-CHAVE: Sedimentos em suspensão, turbidez, granulometria.

INTRODUÇÃO

Os sedimentos fazem parte dos fenômenos que afetam a qualidade e quantidade da água em uma bacia hidrográfica. Para a gestão dos recursos hídricos é importante a compreensão dos processos de sedimentação (erosão, transporte e deposição de sedimentos) a fim de minimizar os impactos causados por estes. O estudo hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica é uma importante ferramenta para estudos ambientais.

O transporte do sedimento prejudica o consumo e outros usos da água devido ao aumento da turbidez, o que aumenta o custo do tratamento. Outros problemas são: a redução da qualidade estética da água, diminuição da fotossíntese, diminuição da população de peixes, transporte de poluentes (nutrientes, herbicidas, metais pesados), transporte de bactérias e vírus, perturbação da forma do canal, provocação de enchentes devido à elevação do leito e abrasão de turbinas.

Um elemento essencial de um programa de monitoramento de fluxo de transporte de sedimentos é a escolha da técnica de medição da CSS, a qual pode afetar tanto os custos como a confiabilidade dos dados. A medida da quantidade de sedimentos transportados pode ser realizada de forma direta ou indireta. Os métodos diretos são os mais tradicionais e possuem um maior custo por exigirem um monitoramento intenso. Os métodos indiretos vêm sendo desenvolvidos para facilitar a medição do sedimento em suspensão. Estes substituem os métodos tradicionais de coleta de sedimentos e permitem um monitoramento mais eficiente, sendo utilizados *in situ*.

Um destes métodos indiretos utiliza o sensor de turbidez, que permite o monitoramento automático e contínuo do sedimento suspenso. O sensor de turbidez é usado para medir o fluxo constante de sedimentos, pela relação indireta entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão (CSS). O funcionamento do sensor de baseia no princípio óptico no qual um raio incide em uma mistura e pode sofrer absorção, dispersão e transmissão devido à presença de partículas suspensas no meio líquido.

O sensor de turbidez é confiável e vantajoso e faz com que não seja necessária a coleta de material para análise em laboratório, porém pode ser influenciado pelas características da partícula do sedimento, pelas características ópticas e geométricas do sensor e ainda pelas propriedades do escoamento. Algumas das características da partícula que podem influenciar a medida do sensor são: CSS, tamanho, forma, cor e composição mineralógica. Algumas características ópticas e geométricas do sensor que podem influenciar a medida são: design óptico, geometria de emissão e detecção da luz incidente. Por fim, algumas características do escoamento que podem influenciar a medida são: presença de bolhas, microrganismos, poluentes e matéria orgânica, floculação e turbulência.

Dentre todos estes fatores o tamanho da partícula é a característica física do sedimento com maior relevância no processo de calibração, principalmente se este for muito variado. O conhecimento do comportamento do sensor diante deste fator é imprescindível para a devida calibração do equipamento e desta forma, para a estimativa da concentração do sedimento em suspensão.

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da granulometria dos sedimentos na estimativa da concentração de sólidos em suspensão utilizando um sensor de turbidez em escala de laboratório.

METODOLOGIA

O aparato experimental utilizado (Figura 1) foi constituído por um canal artificial de acrílico com 1,53m de comprimento, 0,27m de largura e 0,40m de altura, contendo ao seu final uma barreira de 0,18m com um vertedor triangular de 60°. A alimentação de água limpa é feita por baixo do canal utilizando uma bomba hidráulica Eletroplas ICS-100A, ligada a um reservatório de 310L. A alimentação de sedimento é feita pela lateral do canal utilizando uma bomba peristáltica Provitec AWG 5000 ABS, ligada a um reservatório de 10L com o sedimento a uma concentração de 3000mg/L e com um agitador mecânico Fisatom 713D, que mantém o sedimento em suspensão na água.

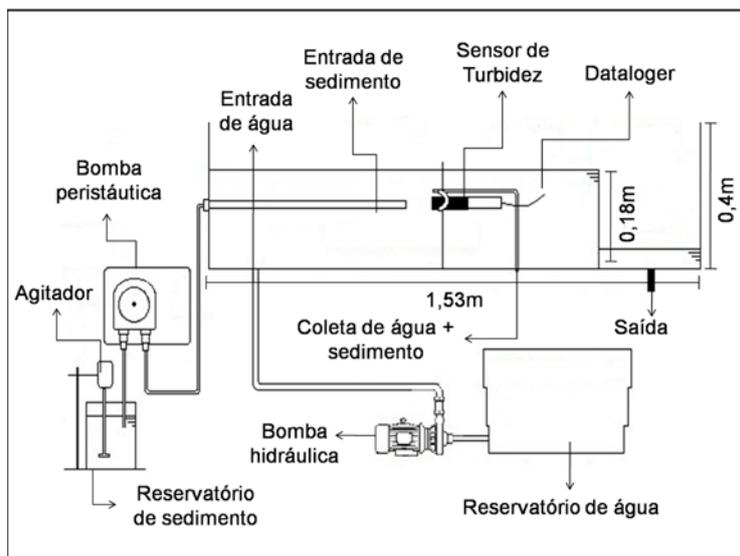


Figura 1: Esquema da configuração experimental utilizada.

A turbidez (T) foi medida com um sensor de turbidez (turbidímetro) instalado em uma posição fixa do canal. O turbidímetro usado foi o sensor SOLAR SL 2000 PNV, que é dotado de um sensor óptico desenvolvido para locais submersos, como rios, lagos, tanques, ou em lugares que possa quantificar os sedimentos em suspensão presentes no raio de ação do sensor.

Como forma de verificar a relação da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) com a turbidez, foi coletada a mistura de água+sedimento através de uma mangueira plástica de 7,9 mm posicionado ao lado do sensor. A CSS foi determinada pelo método de filtração do *Standard Methods* (APHA, 1998) utilizando filtros Axiva de 47mm e 0,7 μ m. Para a filtração utilizou-se uma bomba de vácuo Prismatec 131 e para pesagem dos filtros uma balança analítica Digimed DG-500.

O sedimento utilizado nos experimentos foi amostrado do solo da sub-bacia do Córrego do Gigante que pertence a Bacia do Ribeirão das Antas, localizada em Poços de Caldas-MG. A área onde o solo foi amostrado é uma área em recuperação de mineração, pertencente a uma bacia de contenção presente na área. Para o uso no canal o solo foi secado em estufa SOLAB SL-102 a 105°C, moído com moinho de jarro PROHTec e peneirado em agitador de peneiras Bertel 3424 com peneiras Bertel de 20, 38,45, 53, 63 e 75 μ m, a fim de obter o sedimento em diferentes faixas granulométricas.

A vazão foi calculada indiretamente pela medida da carga hidráulica no vertedor triangular utilizando a equação (1) para vertedores triangulares e baixas vazões (PORTO, 2006). A calibração do vertedor de 60° instalado no canal resultou no valor de C_d igual a 0,67.

$$Q = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2gt} g \left(\frac{\alpha}{2}\right) h^{\frac{5}{2}} \quad \text{equação (1)}$$

em que: Q é a vazão (m³/s), C_d é o coeficiente de descarga do vertedor (adimensional), g é a aceleração da gravidade (m/s²), α é o ângulo do vertedor (graus) e h é a carga hidráulica que atua sobre o vértice do vertedor(m).

Foram realizados testes com 5 faixas granulométricas: GR1=20-38 μ m, GR2=38-45 μ m, GR3=45-53 μ m, GR4=53-63 μ m e GR5=63-75 μ m. Para cada faixa granulométrica foi realizado um teste de 1 hora, com a vazão do canal de 0,21 L/s. Durante o tempo do teste a vazão de entrada de água + sedimento foi alterada a cada 10min, totalizando 6 diferentes vazões: $q_1=0,005$, $q_2=0,008$, $q_3=0,010$, $q_4=0,012$, $q_5=0,015$, $q_6=0,017$ L/s. Para cada uma destas vazões, coletou-se 3 amostras de água+sedimento que foram filtradas para obter-se a CSS. Durante toda a 1 hora do teste, a turbidez foi medida a cada 14s.

Foi realizada a média das 3 amostras de água+sedimento feita para cada vazão de sedimento (q1, q2, q3, q4, q5 e q6). Os resultados foram relacionados em forma gráfica para turbidez em função do tempo e a turbidez em função da concentração de sedimentos em suspensão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 estão apresentados os resultados obtidos para as 5 faixas granulométricas de turbidez (NTU) em função tempo do teste (s) com a variação da vazão q1 a q6. Observa-se que para as mesmas vazões a turbidez varia em função da granulometria. Por exemplo, na q4 a média da turbidez é de 383,7 NTU para GR1 e de 656,17 NTU para GR4.

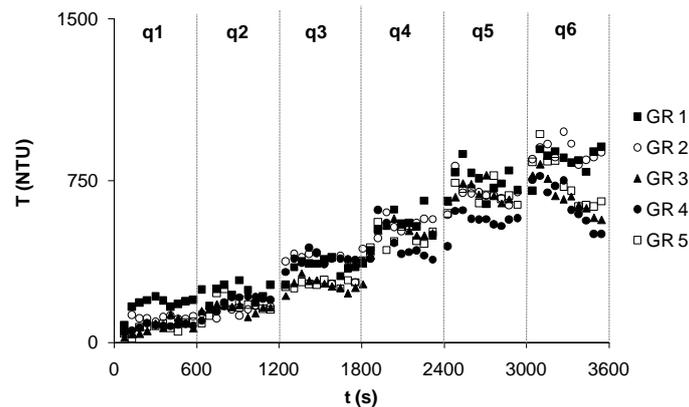


Figura 2: Variação temporal da turbidez para as 5 faixas granulométricas com alteração das vazões.

Os valores de CSS e turbidez estão apresentados na Tabela 1. Observa-se o aumento da concentração e da turbidez com o aumento da vazão de q1 a q6. Por exemplo, em GR1 a turbidez vai de 186,99 a 874,94NTU. O menor valor de turbidez foi de 74,83NTU para q1 e GR5 e o maior foi de 880,34NTU para q6 e GR2. Em q1 e q4, a turbidez diminui com o aumento da granulometria de GR1 a GR4, nas demais vazões este comportamento não é observado.

Tabela 1: Concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e turbidez (T) em cada condição hidráulica do escoamento, para as 5 faixas granulométricas de sedimento

	GR1		GR2		GR3		GR4		GR5	
	CSS (mg/L)	T (NTU)								
q1	20,00	186,99	25,33	115,35	14,67	81,74	45,33	76,91	41,33	74,83
q2	85,33	246,28	86,67	169,21	25,33	128,13	74,67	198,46	72,00	153,86
q3	118,67	378,05	230,67	371,13	72,00	230,75	145,33	397,73	89,33	289,81
q4	169,33	625,80	298,67	552,26	144,00	485,29	165,33	399,45	184,00	487,63
q5	225,33	685,79	284,00	656,01	222,67	659,86	226,67	554,42	218,67	690,14
q6	306,67	874,94	614,67	880,34	302,67	620,94	300,00	541,88	352,00	646,11

Investiga-se a seguir o melhor ajuste linear considerando a equação de uma reta $CSS=aT+b$ (Figura 3) e $CSS=aT$ (Figura 4). O ajuste da reta cuja equação não possui coeficiente linear (Figura 4) representa melhor a relação entre CSS e turbidez, pois para uma turbidez igual a zero é esperada que a concentração de sólidos em suspensão também seja zero. As duas relações apresentaram R^2 maiores que 0,7 para as 5 faixas granulométricas, porém o R^2 foi melhor em todas as granulometrias para a equação com o coeficiente linear (Figura 3).

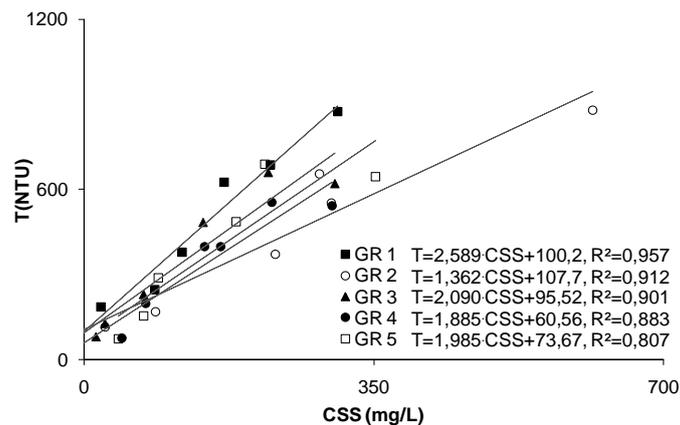


Figura 3: Turbidez (NTU) em função da CSS (mg/L) para as 5 faixas granulométricas com ajuste linear $CSS=aT+b$.

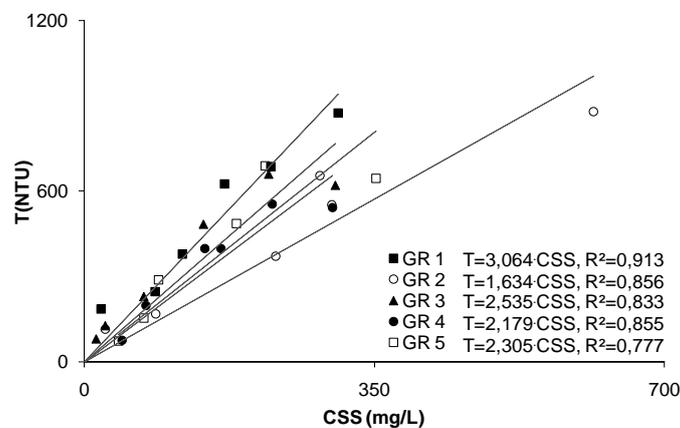


Figura 4: Turbidez (NTU) em função da CSS (mg/L) para as 5 faixas granulométricas com ajuste linear $CSS=aT$.

Observa-se nas Figuras 3 e 4 que os coeficientes angulares das retas são diferentes entre as diferentes granulometrias. Estes coeficientes representam o comportamento da turbidez e neste caso, a turbidez não vai de acordo com a conclusão de Merten, Capel e Minella (2014), a qual diz que a turbidez diminui com o aumento da granulometria. Isto pode ser explicado pela alta concentração analisada, que chega a 614,67mg/L, o que gera uma condição de maior número de grãos suspensos que refletem a luz incidente, o que tornou a leitura do sensor mais sensível.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), processo 01.13.0455.00.

CONCLUSÕES

Com o objetivo de analisar a influência da granulometria na medida do sensor de turbidez para a estimativa da concentração de sedimento em suspensão, foram realizados experimentos com diferentes faixas granulométricas de sedimento.

Com base nos resultados pode-se concluir que a granulometria dos sedimentos influencia a estimativa da concentração de sedimentos em suspensão utilizando o sensor de turbidez, o que é evidenciado pelos diferentes coeficientes angulares das retas ajustadas.

Os melhores ajustes obtidos foram para as retas com equações completas, embora estas equações não representem a condição de que para $CSS=0$, tem-se $T=0$. Logo, conclui-se que a equação da reta sem o coeficiente linear representa melhor fisicamente a relação $CSS \times T$. Outros experimentos devem ser realizados para outras condições hidráulicas do escoamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 1998.
2. BISANTINO, T.; GENTILE, F.; LIUZZI, G. T. *Continuous Monitoring of Suspended Sediment Load in Semi-arid Environments*. In: Ginsberg, S.S. (Ed.) *Sediment transport*, 295-312, Intech, 2011.
3. CARVALHO, Newton de Oliveira. *Hidrossedimentologia Prática*. 2ªed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Interciência, 2008.
4. DALBIANCO, L. *et al. Eficiência na estimativa da concentração de sedimentos em suspensão por diferentes estratégias amostrais na calibração de turbidímetros*. Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 10, Porto Alegre, RS: ABRH, 2012.
5. HARRINGTON, S. T.; HARRINGTON, J. R. *An assessment of the suspended sediment rating curve approach for load estimation on the Rivers Bandon and Owenabue, Ireland*. *Geomorphology*, v. 185, p. 27-38, 2013.
6. LEWIS, J. *Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation*. *Water Resources Reserch*, v.32, n. 7, p.2299-2310, 1996.
7. LIMA, J.E.F.W. *et al. Avaliação do uso de turbidímetro na estimativa da concentração de sedimentos de amostras coletadas em calhas de monitoramento de enxurrada*. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, ABRH, 11, 2014.
8. MERTEN, G. H.; CAPEL, P. D.; MINELLA, J. P. G. *Effects of suspended sediment concentration and grain size on three optical turbidity sensors*. *Journal of Soils and Sediments*, v.14, p.1235-1241, 2014.
9. MINELLA, J.P.G. *et al. Estimating suspended sediment concentrations from turbidity measurements and the calibration problem*. *Hidrological Processes*, v.22, n.12, p. 1819-1830, 2008.
10. PAVANELLI, D.; BIGI, A. *Indirect Methods to Estimate Suspended Sediment Concentration: Reliability and Relationship of Turbidity and Settleable Solids*. *Biosystems Engineering*, v.90, n.1, p.75-83, 2005.
11. PORTO, Rodrigo de Melo. *Hidráulica Básica*, 4ªed. São Carlos, SP: Publicação EESC-USP, 2006.
12. SARI, V.; CASTRO, N.M.R.; KOBİYAMA, M. *Estimativa da concentração de sedimentos suspensos com sensores ópticos: revisão*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.20, p. 816-836, 2015.
13. SARI, V., PEREIRA, M. A., CASTRO, N. M. R., KOBİYAMA, M. *Efeitos do tamanho da partícula e da concentração de sedimentos suspensos sobre a turbidez*. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 2, 213-219, 2017.