

Efeitos do tamanho da partícula e da concentração de sedimentos suspensos sobre a turbidez

Effect of particle size and suspended sediment concentration on turbidity

Vanessa Sari¹, Marco Alésio Pereira², Nilza Maria dos Reis Castro³, Masato Kobiyama⁴

RESUMO

Neste estudo foram avaliados os efeitos do tamanho da partícula e de variações da concentração de sedimentos suspensos (CSS) sobre as leituras de turbidez de três sensores óptico-nefelométricos, com iguais características ópticas e geométricas, utilizando amostras de sedimentos suspensos coletadas na seção fluviométrica da bacia do Turcato (19,5 km²), localizada na Região Sul do Brasil. O material coletado passou por processos de peneiramento e pipetagem para fracionamento nas granulometrias areia e silte. Para cada diâmetro foram separadas frações com diferentes concentrações de sedimentos, variando entre 0,01 e 5,00 g.L⁻¹. Os resultados demonstram grande influência da CSS e do tamanho da partícula sobre a turbidez. Para qualquer situação, o aumento da turbidez é inverso ao tamanho da partícula e diretamente relacionado ao aumento da CSS. As variações da turbidez, expressas em função da CSS (sensibilidade do sensor), são maiores para menores diâmetros, atingindo valores quase constantes para partículas de areia. As leituras de turbidez dos três sensores não apresentaram diferença significativa no nível de 5% pelo teste de Mann-Whitney *rank sum*. Para uma mesma CSS, a leitura de turbidez pode ser diferente, conforme a classe granulométrica analisada. A turbidez registrada pelo sensor para a classe silte equivale a uma turbidez observada para uma CSS dez vezes menor para a classe das areias.

Palavras-chave: monitoramento da qualidade de água; concentração de sólidos suspensos; granulometria; sensor óptico.

ABSTRACT

This study evaluates the effects of particle size and variations of CSS on turbidity readings of three optical-nephelometric sensors using sediment samples collected in the field. Samples were collected in fluviometric station at Turcato basin (19.5 km²), located in the South region of Brazil. The collected material underwent screening and pipetting processes for fractionation in sand and silt grain size. For each diameter were separated fractions with different sediment concentration ranging between 0.01 and 5.00 g.L⁻¹. The results demonstrate great influence of CSS and particle size on turbidity readings. The increase in turbidity is opposite to particle size and directly related to CSS. Variations in turbidity, expressed in CSS function (sensor sensitivity), are higher for smaller diameters, reaching almost constant values for sand particles. Turbidity readings of the three sensors showed no significant difference in the level of 5% by the Mann-Whitney rank sum test. For a given CSS, the turbidity reading may be different, depending on the granulometric class analyzed. Turbidity recorded by the sensor to the silt-class is equivalent to a sensor response observed for a CSS ten times lower for the sand class.

Keywords: water quality monitoring; concentration of suspended solid; grain size; optical sensor.

INTRODUÇÃO

O monitoramento da concentração de sedimentos suspensos (CSS) nos rios é essencial ao gerenciamento das bacias hidrográficas, facilitando o planejamento das estratégias de manejo e a preservação dos recursos naturais. Recentemente, tecnologias baseadas em leituras de turbidez têm apresentado bons resultados para a estimativa da CSS (HAIMAN *et al.*, 2014; HARRINGTON & HARRINGTON, 2013; NAVRATIL *et al.*, 2011;

SHELLENBARGER; RIGHT; SCHOELLHAMER, 2013; TANANAEV & DEBOLSKIY, 2014; TENA *et al.*, 2011; VOUSDOKAS *et al.*, 2011), demonstrando essa ser uma forma alternativa para a construção de séries contínuas de CSS, com menor custo, em comparação aos tradicionais métodos de coleta de sedimentos e posteriores análises laboratoriais e sem risco aos operadores. Por outro lado, as coletas pelo método clássico são realizadas durante eventos de cheia, com os operadores

¹Professora Assistente Universidade Feevale. Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) - Porto Alegre (RS), Brasil.

²Professor Assistente da Universidade Feevale e da Universidade de Santa Cruz do Sul - Porto Alegre (RS), Brasil.

³Professora Titular do IPH/UFRGS - Porto Alegre (RS), Brasil.

⁴Professor Titular do IPH/UFRGS - Porto Alegre (RS), Brasil.

Endereço para correspondência: Vanessa Sari - Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Campus do Vale da UFRGS - Avenida Bento Gonçalves, 9500 - Agronomia - 91501-970 - Porto Alegre (RS), Brasil - E-mail: sari.vanessa@yahoo.com.br

Recebido: 19/12/14 - **Aceito:** 09/06/16 - **Reg. ABES:** 144228

sobre pontes, entrando no rio ou em barcos, correndo sérios riscos de queda e de morte.

Entretanto, a transformação dos valores de turbidez medidos em valores de CSS não é simples (HUDSON, 2001; PRUITT, 2003), pois a turbidez é uma variável que não depende apenas da concentração de sedimentos, mas também das propriedades das partículas de sedimentos transportadas, das características químicas e biológicas do escoamento e do sensor de turbidez utilizado (BOUKHRISSE *et al.*, 2013; AFAN *et al.*, 2015; DOWNING, 2006; SARI; CASTRO; KOBIYAMA, 2015). Assim sendo, a desconsideração ou a representação inadequada desses fatores pode limitar a aplicabilidade dessa tecnologia, resultando em curvas de calibração não confiáveis e, conseqüentemente, gerando modelos que muitas vezes não são aplicáveis a condições relativamente diferentes daquelas para as quais o modelo foi desenvolvido.

A implantação dessa forma de monitoramento no Brasil é ainda recente, com estudos desenvolvidos após o ano 2000 e em bacias localizadas, em sua maioria, no Sul (SARI; CASTRO; KOBIYAMA, 2015); portanto, são necessários estudos e análises complementares para melhor compreensão das tecnologias que utilizam a turbidez para estimativa da CSS e dos fatores que interferem nessas medições, considerando-se as características dos rios e das bacias hidrográficas brasileiras. Sari, Castro e Kobiyama (2015) realizaram uma revisão acerca dos fatores que afetam o sinal de turbidez e concluíram que diversos autores citam a concentração de sedimentos e o tamanho da partícula transportada pelo escoamento como os dois principais fatores de influência.

Nesse cenário, a presente pesquisa teve por objetivo avaliar os efeitos do tamanho da partícula e das variações da CSS sobre as leituras de turbidez registradas por sensores ópticos-nefelométricos, a partir de amostras de sedimentos em suspensão coletadas em campo.

METODOLOGIA

As amostras de sedimentos em suspensão utilizadas foram coletadas no rio, em uma estação fluviométrica localizada na Bacia Hidrográfica do Turcato, cuja área é de 19,5 km². Essa bacia está localizada na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, sendo o uso do solo predominantemente caracterizado por agricultura. As coletas foram realizadas com utilização de amostrador integrador no tempo (Torpedo), que permaneceu instalado dentro do rio durante 6 meses, a uma altura de 20 cm em relação ao leito do rio. Ao longo desses seis meses, mensalmente, os sedimentos foram coletados e transportados até o laboratório, onde foram secos em estufa e armazenados. Nesse período de coletas contínuas de sedimentos em suspensão foi possível o monitoramento de vários eventos de cheia. Isso permitiu coletar sedimentos com uma boa variabilidade espacial e temporal do tamanho e da forma das partículas transportadas, ao longo do ano e para diferentes regimes de vazão, sendo possível obter uma

boa representatividade das amostras utilizadas para a construção da relação turbidez-CSS.

O amostrador utilizado é constituído de um tubo de PVC (75 mm de diâmetro e 80 cm de comprimento), fechado nas duas extremidades por tampas com rosca. No centro dessas tampas é inserido um tubo (3 cm de comprimento e 5 mm de diâmetro) que permite a entrada e a saída do fluxo de água com os sedimentos em suspensão. Essa mistura água-sedimento, ao entrar no mostrador, passa por um ambiente lântico ocasionando o depósito do sedimento no tubo.

A amostra de sedimentos coletada passou por queima de matéria orgânica e dispersão química e mecânica, sendo posteriormente submetida a processos de peneiramento e pipetagem (ABNT, 1984) para determinação das diferentes faixas granulométricas (areia grossa, areia média, areia fina e silte). Os diâmetros definidos para cada faixa seguiram o Sistema de Classificação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1995). As amostras relativas a cada diâmetro, obtidas pelo processo de peneiramento e pipetagem, foram fracionadas em proporções variando entre 0,01 e 5,00 g. A variação da CSS analisada dependeu da disponibilidade de material, ou seja, alguns diâmetros tiveram menores faixas de variação de CSS disponíveis para análise. As frações resultantes foram analisadas quanto:

- à influência do tamanho da partícula sobre as leituras de turbidez dos sensores; e
- à interferência da variação da CSS sobre as leituras de turbidez dos sensores.

Cada fração foi adicionada a 1,0 L de água deionizada, em uma jarra de cor preta e opaca, com capacidade de 2,1 L, diâmetro de 12 cm e instrumento misturador acoplado. Essa mistura foi agitada manualmente durante um minuto e, a seguir, a sonda de turbidez foi imersa na mistura, para realizar leituras de turbidez, durante um intervalo de 3 minutos, registrando-se a média dessas leituras a cada 30 s. Os três sensores de turbidez utilizados são de mesma marca e modelo (DTS-12 SDI *Turbidity Sensor*), possuindo princípios ópticos idênticos, com ângulo de detecção da luz incidente a 90°. Tais sensores são classificados como sensores ópticos-nefelométricos, com comprimento de onda da energia incidente igual a 780 nm e alcance médio de medição entre 0 e 1.600 UNT, com resolução de 0,01 UNT (FTS, 2013). Para cada sensor foram realizadas leituras de turbidez, em função de diferentes valores de CSS, para os diâmetros 2,00; 1,41; 1,00; 0,71; 0,50; 0,35; 0,25; 0,177; 0,125; 0,09; 0,063; 0,0442; 0,0312; 0,0221; 0,0156 e 0,0039 mm. Para as análises por classe granulométrica, os valores de turbidez lidos para cada diâmetro foram agrupados por faixa granulométrica (areia e silte). A turbidez resultante de cada classe granulométrica foi calculada pela turbidez média para cada CSS nos diâmetros pertencentes àquela classe, sendo:

- média dos valores de turbidez dos diâmetros de 2,00 a 0,71 mm para classe areia grossa;

- média dos valores de turbidez dos diâmetros de 0,50 a 0,25 mm para a classe areia média;
- média dos valores de turbidez dos diâmetros de 0,0177 a 0,063 mm para a areia fina; e
- média dos valores de turbidez dos diâmetros de 0,063 a 0,0039 mm para a classe silte. Além disso, considerou-se também a resposta do sensor para uma mistura silte+argila (fração com diâmetro inferior a 0,063 mm, inclusive argila, resultante da pipetagem).

Empregou-se o teste de Mann-Whitney *rank sum*, a 5% de significância, para verificar a existência de variações nas respostas de turbidez, para os três sensores, em relação aos diferentes valores de CSS e às granulometrias analisadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises das amostras coletadas demonstram que os sedimentos presentes na bacia são compostos por 59,20% de areia, 19,92% de silte e 20,87% de argila, com diâmetros D20, D35, D50, D65 e D90 iguais a 0,38; 0,22; 0,13; 0,07 e 0,0028 mm, respectivamente.

A análise estatística realizada evidenciou que não existem diferenças significativas, a 5% de significância, entre as leituras médias dos três sensores, para as diferentes classes granulométricas testadas. Os resultados observados no experimento e discutidos a seguir são válidos para os três sensores analisados.

As avaliações efetivadas por classe granulométrica tiveram forte correlação positiva (coeficiente de correlação de Pearson, $p < 0,05$ e $r > 0,98$) entre a turbidez e a CSS para areia média, areia fina, silte e mistura silte+argila, o que demonstra que variações na CSS alteram significativamente a turbidez registrada pelos sensores. Por outro lado, a correlação observada para a classe areia grossa foi menor ($r < 0,55$). Essa particularidade é resultado da não uniformidade das partículas dentro de uma amostra, do pequeno número de partículas necessário para alcançar uma dada CSS (em relação às partículas de menor diâmetro), pela menor reflexividade das partículas de maior diâmetro e, ainda, pela maior dificuldade em manter em suspensão as partículas de maior diâmetro (principalmente considerando-se um período de leitura de três minutos). Tais características interferem no movimento e na refletividade das partículas, podendo causar algumas variações nas leituras de turbidez, mesmo para o pequeno período de tempo analisado. Também se observou que altos valores de CSS ocasionam maior variação da turbidez, em comparação com menores concentrações. Clifford *et al.* (1995) também notaram que o sinal lido para determinada CSS apresenta maior coeficiente de variação das leituras, ao longo do tempo, para valores mais elevados de CSS.

Os resultados também mostram interferência do tamanho da partícula sobre a turbidez (Figura 1), prevalecendo uma relação linear crescente entre essas variáveis, nas diferentes faixas granulométricas ensaiadas, embora as variações observadas para os diferentes diâmetros não sejam estatisticamente significativas a 5% de significância (análise

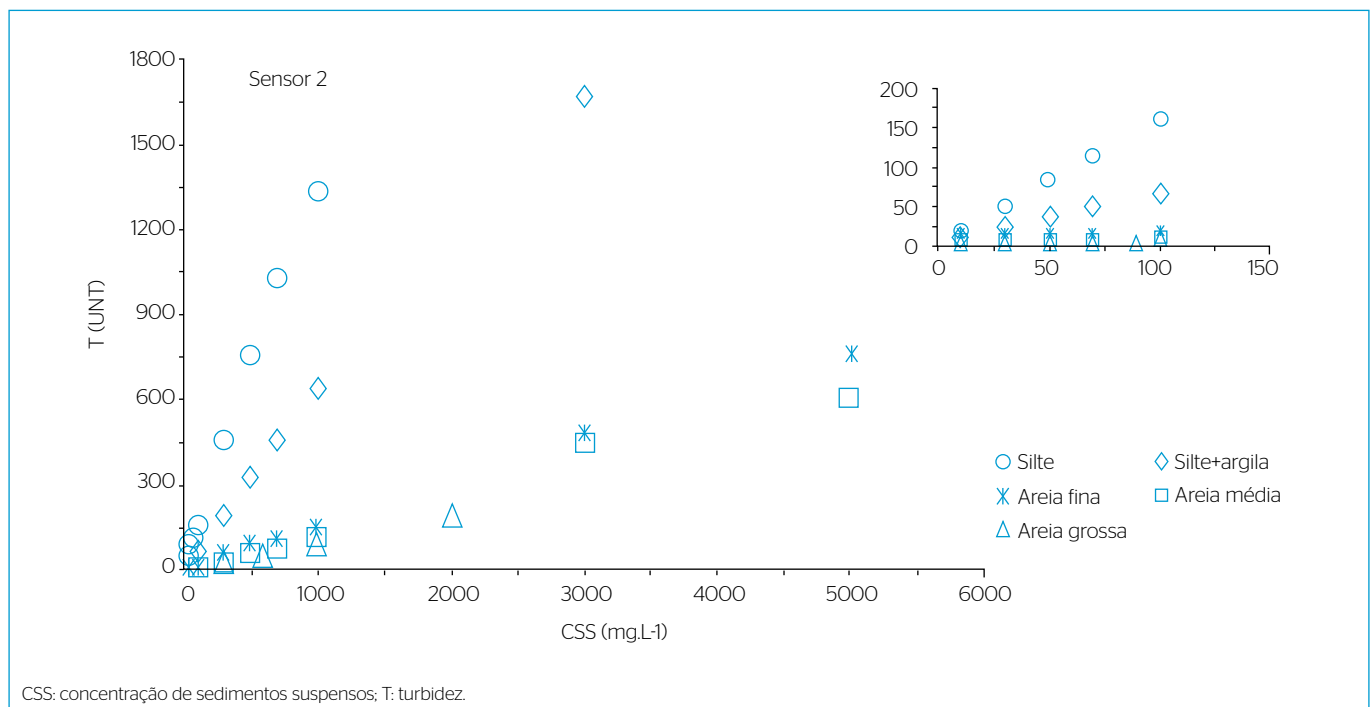


Figura 1 - Calibração em laboratório da relação entre a concentração de sedimentos suspensos e a turbidez para diferentes faixas granulométricas (resultados para o sensor 2 - comportamento representativo dos três sensores). No detalhe: gráfico da variação da turbidez para concentrações de sedimentos suspensos compreendidas entre 0 e 100 mg.L⁻¹.

da mediana — teste de Mann-Whitney *rank sum*). As respostas do sensor são mais elevadas para CSS da classe silte, seguido das areias fina, média e grossa. Isso ocorre porque as partículas de menor diâmetro têm superfícies mais reflexivas por unidade de massa, em razão de sua maior área específica, gerando maior poder de reflexão da luz. Ludwig e Hanes (1990), Conner e Visser (1992), Foster, Millington e Grew (1992), Black e Rosenberg (1994), Clifford *et al.* (1995), Kleizen *et al.* (1995), Sutherland *et al.* (2000), Hudson (2001) e Merten, Capel e Minella (2014) observaram comportamentos semelhantes às conclusões deste estudo.

Há de se considerar, entretanto, que a heterogeneidade da cor e da forma das partículas de sedimento ensaiadas pode ter resultado em variações nas respostas do sensor. Contudo, esses efeitos são comumente menores do que aqueles ocasionados por alterações na CSS e no tamanho da partícula (DOWNING, 2006; SARI; CASTRO; KOBIYAMA, 2015).

Em misturas contendo partículas de silte e argila, nas quais os diâmetros são menos homogêneos (em relação a amostras contendo somente silte), o sensor apresentou valores de turbidez inferiores àqueles observados, quando se analisa somente partículas classificadas como silte. Merten, Capel e Minella (2014) observaram que o aumento do percentual de areia em uma amostra de material fino tende a diminuir a resposta do sensor, em comparação com a resposta que seria obtida para uma mesma CSS contendo apenas materiais finos. Essa particularidade justifica-se pelo fato de as partículas maiores exibirem menor sensibilidade ao sinal da turbidez, promovendo a alteração da CSS estimada pela curva de calibração. Por consequência, se a granulometria do sedimento transportado nos eventos variar consideravelmente em relação àquela utilizada na elaboração da relação turbidez-CSS, a curva de calibração construída poderá mostrar-se menos representativa, comprometendo a conversão dos valores de turbidez em CSS.

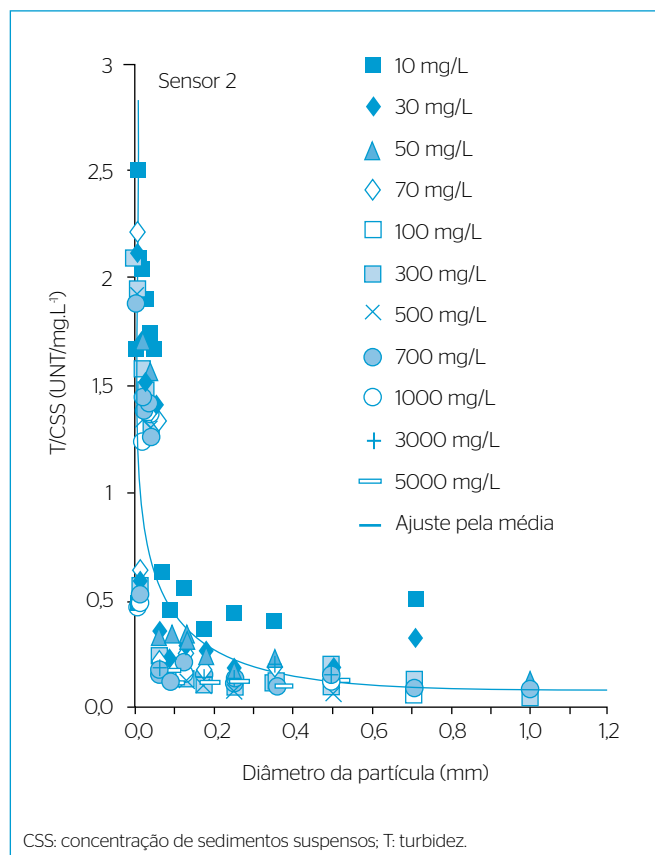
Tal característica é fundamental em canais onde o regime é muito variável, uma vez que as frações silte e argila comportam-se de forma diferente das areias, sendo estas últimas transportadas como carga suspensa em vazões altas e como carga de fundo em fluxos baixos. Caso essa variação seja bem definida temporalmente, pode ser indicada a elaboração de curvas de calibração específicas, que considerem diferentes relações turbidez-CSS em função do regime atuante.

A maior ou menor variação da turbidez (sensibilidade do sensor), expressa pela razão entre a turbidez e a CSS (Figura 2), também é influenciada pelo diâmetro do sedimento, sendo que as partículas pequenas tendem a gerar maiores alterações da turbidez para elevações da CSS. Na medida em que o diâmetro da partícula aumenta, essa variação decai, até que se alcance uma condição de variação quase constante para diâmetros superiores a 0,2 mm. A variação da

sensibilidade de um sensor, em relação às alterações no diâmetro da partícula transportada, pode ser expressa na forma de uma função do tipo potência.

Dessa forma, quanto maior for a sensibilidade do sensor a uma dada classe granulométrica, mais sensível ele será para ocorrências de variações na CSS, ou seja, as alterações da CSS para partículas de sedimento de menor diâmetro resultarão em variações de turbidez mais facilmente identificáveis, em comparação com aquelas ocasionadas por partículas maiores. Por consequência, o erro introduzido pela utilização de um sensor óptico dependerá da variabilidade temporal e espacial das propriedades da partícula de sedimento e da CSS transportada em um dado evento.

De fato, conforme a distribuição granulométrica dos sedimentos transportados, podem ocorrer respostas semelhantes das leituras de turbidez para diferentes valores de CSS ou, ainda, respostas diferentes de turbidez para quantidades iguais de CSS. Para melhor avaliar essa questão, são apresentadas na Tabela 1 as diferentes respostas do sensor ao sinal de turbidez para as mesmas concentrações de sedimentos, considerando as diferentes faixas



granulométricas analisadas (areia grossa, areia média, areia fina, silte e silte+argila).

Pode-se observar, por exemplo, que para pequenos valores de CSS (em torno de 10 até 100 mg.L⁻¹) não existem grandes diferenças nas leituras de turbidez do sensor para as classes granulométricas das areias grossa, média e fina; ou seja, para uma mesma CSS têm-se respostas semelhantes de turbidez. No entanto, na medida em que a CSS aumenta, essas diferenças de leitura do sensor tendem a tornar-se mais evidentes (CSS>300 mg.L⁻¹).

Por outro lado, para sedimentos mais finos (silte e mistura silte+argila), as leituras de turbidez diferem bastante daquelas observadas para a classe das areias, das menores as maiores CSS ensaiadas. Para CSS=10 mg.L⁻¹ de silte ou de silte+argila, por exemplo, tem-se uma resposta de turbidez equivalente a uma CSS em torno de 100 mg.L⁻¹ para a classe das areias; enquanto para uma CSS=300 mg.L⁻¹ para a classe silte tem-se uma resposta do sensor equivalente a uma CSS próxima de 3.000 mg.L⁻¹ para as areias.

Observa-se, portanto, que uma mesma CSS pode resultar em diferentes leituras do sensor de turbidez, conforme a granulometria analisada. Da mesma forma, um mesmo valor de turbidez pode estar relacionado a diferentes CSS, quando se compara a resposta do sensor nos extremos das classes de material fino (silte ou silte+argila) e grosso (areias). Em contrapartida, para materiais de mesma classe granulométrica (areias grossa, média e fina), é possível obter respostas semelhantes de leitura de turbidez para uma mesma CSS (sobretudo para baixos valores de CSS) e respostas um pouco diferenciadas quando a CSS está mais elevada. Há de se considerar, todavia, a possibilidade da influência de variações da

forma da partícula de sedimento sobre os resultados de leitura de turbidez registrados neste experimento.

Desse modo, os resultados demonstram que a resposta do sensor é bastante influenciada pelo tamanho da partícula de sedimento transportada, ainda mais quando se considera a possibilidade de presença dos extremos granulométricos da partícula de sedimento em um mesmo evento. Isso sugere que as variações no percentual de cada granulometria presentes no sedimento transportado em um dado evento (e também de um evento para outro) podem resultar em respostas bastante diferenciadas dos valores de turbidez registrados pelo sensor, o que, por sua vez, pode se revelar em dificuldade na construção das curvas de calibração do instrumento.

Assim sendo, o erro decorrente do emprego de um sensor óptico como técnica alternativa para estimativa da CSS depende da CSS e das propriedades do sedimento transportado, sobretudo pela variação temporal e espacial do tamanho da partícula. Dessa maneira, antes de implantar essa tecnologia alternativa para determinação da CSS, é fundamental estudar e caracterizar a dinâmica dos sedimentos na bacia. Deve-se, portanto, procurar identificar quais propriedades dos sedimentos apresentam maiores variações, quais são suas magnitudes e quais fatores afetam essas variações. Em especial, devem ser investigadas as alterações geradas por mudanças nos regimes de vazão. É de extrema importância que se busque analisar os sedimentos transportados por uma ampla gama de vazões, em diferentes épocas do ano, para que seja possível a caracterização correta do regime atuante e do tipo de partícula transportada quando se constrói a relação turbidez-CSS.

Quando se opta por utilizar sensor de turbidez para o monitoramento da concentração de sedimentos, é relevante ponderar também algumas questões práticas. Uma delas é a possibilidade de decaimento da capacidade de identificação do sinal ao longo do tempo, podendo as leituras de turbidez cair para valores próximos a zero após algum tempo de operação *in situ*, o que poderia limitar a utilização das curvas de calibração já elaboradas para o sensor. O fabricante do sensor empregado nesta pesquisa sugere que, anualmente, o sensor óptico seja encaminhado para uma verificação de sua calibração e capacidade de leitura.

Outra questão a ser considerada é a limpeza periódica (manual ou automática) das lentes dos sensores ópticos, para evitar o acúmulo de matéria orgânica e outros componentes que poderiam afetar as leituras de turbidez. Nos ensaios realizados, os sensores foram configurados para limpeza das lentes antes de cada leitura realizada, mas não são todas as marcas que oferecem tal opção.

Tabela 1 - Turbidez em função da concentração de sedimentos suspensos, para as classes granulométricas areia grossa, areia média, areia fina, silte e mistura silte+argila.

CSS (mg/L)	Turbidez (UNT)				
	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Silte	Silte+argila (<0,063)
10	5,16	4,94	5,93	19,69	14,84
30	7,95	7,56	10,42	44,00	22,39
50	12,31	12,66	19,94	76,51	40,26
70	13,16	8,04	12,88	99,34	54,50
100	19,62	15,30	22,66	139,75	75,95
300	22,57	33,19	40,88	402,51	229,71
500	-	67,52	78,64	635,71	348,03
700	-	81,37	112,32	845,96	464,02
1.000	114,59	124,06	171,27	1058,25	696,79
3.000	-	370,92	430,13	-	1600,95
5.000	-	686,12	831,10	-	-

CSS: concentração de sedimentos suspensos.

CONCLUSÕES

Foram avaliados os efeitos do tamanho da partícula e da CSS sobre a turbidez registrada por três sensores óptico-nefelométricos, com

iguais características ópticas e geométricas. As análises mostram que a CSS e o tamanho da partícula influenciam a energia dispersa e, conseqüentemente, as leituras de turbidez. A magnitude dessa influência é mais intensa para partículas de menor diâmetro, em razão da grande superfície de reflexão dessas partículas, com maior área superficial.

A sensibilidade dos sensores para uma dada CSS também é maior para partículas com diâmetros menores, indicando que as variações de CSS para partículas mais finas são mais facilmente identificadas pelos sensores, em comparação com aquelas ocasionadas por partículas mais grosseiras. Estas últimas, quando associadas a partículas mais finas, podem, inclusive, reduzir a sensibilidade do sensor em identificar as variações da CSS.

Assim sendo, conforme a distribuição granulométrica dos sedimentos transportados, podem ocorrer respostas semelhantes das leituras de turbidez para diferentes quantidades de CSS ou, ainda, respostas diferentes de turbidez para iguais valores de CSS. Para a classe das areias, essa variação nas leituras de turbidez para uma mesma CSS é mais evidente para maiores valores de CSS, enquanto para CSS

menores as repostas dos sensores ópticos assemelham-se. Por outro lado, para materiais mais finos (por exemplo: silte), as leituras de turbidez do sensor são equivalentes às respostas do sensor para CSS dez vezes menores nas classes das areias.

Sugere-se, por conseguinte, que sejam considerados, na elaboração da curva de calibração turbidez-CSS de sensores ópticos:

- calibração *in situ*, para consideração das variações ocasionadas pela interação dos diferentes fatores do ambiente;
- análise de diversos eventos, para consideração da variabilidade espacial e temporal do tamanho e da forma das partículas de sedimentação transportadas, ao longo do ano e para diferentes regimes de vazão, sendo possível então a representatividade da relação turbidez-CSS construída;
- verificações periódicas da estabilidade dos instrumentos a partir da utilização de substâncias de calibração padrão (ex: formazina), para identificação de perdas da capacidade de leitura do sinal e da necessidade de reenvio do equipamento ao fabricante para efetivação de possíveis correções.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984) *NBR 7181 - Análise Granulométrica de Solo*. Rio de Janeiro: ABNT. 13p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1995) *NBR 6.502 - Rochas e solos: terminologia*. Rio de Janeiro: ABNT. 18p.
- AFAN, H.A.; EL-SHAFIE, A.; YASEEN, Z.M.; HAMEED, M.M.; MOHTAR, W.H.M.W.; HUSSAIN, A. (2015) ANN Based Sediment Prediction Model Utilizing Different Input Scenarios. *Water Resources Management*, v. 29, p. 1231-1245.
- BLACK, K.P. & ROSENBERG, M.A. (1994) Suspended sand measurements in a turbulent environment: field comparison of optical and pump sampling techniques. *Coastal Engineering*, v. 24, p. 137-150.
- BOUKHRIS, Z.A.; KHANCHOUL, K.; BISSONNAIS, Y.L.; TOURKI, M. (2013) Prediction of sediment load by sediment rating curve and neural network (ANN) in El Kebir catchment, Algeria. *Journal of Earth System Science*, v. 122, n. 5, p. 1303-1312.
- CLIFFORD, N.J.; RICHARDS, K.S.; BROWN, R.A.; LANE, S.N. (1995) Laboratory and field assessment of an infrared turbidity probe and its response to particle size and variation in suspended sediment concentration. *Hydrological Sciences Journal*, v. 40, n. 6, p. 771-791.
- CONNER, C.S. & VISSER, A.M. (1992) A laboratory investigation of particle size effects on an optical backscatterance sensor. *Marine Geology*, v. 108, p. 151-159.
- DOWNING, J. (2006) Twenty-five years with OBS sensors: The good, the bad, and the ugly. *Continental Shelf Research*, v. 26, p. 2299-2318.
- FOSTER, I.D.L.; MILLINGTON, R.; GREW, R.G. (1992) The impact of particle size controls on stream turbidity measurement; some implications for suspended sediment yield estimation. *IAHS Publication*, n. 210, p. 51-62.
- FTS - FOREST TECHNOLOGY SYSTEMS. (2013) *DTS-12 SDI Turbidity Sensor: User Manual*. Victoria, B.C.: FTS. Rev. 19. 27p.
- HAIMANN, M.; LIEDERMANN, M.; LALK, P.; HABERSACK, H. (2014) An integrated suspended sediment transport monitoring and analysis concept. *International Journal of Sediment Research*, v. 29, n. 2, p. 135-148.
- HARRINGTON, S.T. & HARRINGTON, J.R. (2013). An assessment of the suspended sediment rating curve approach for load estimation on the Rivers Bandon and Owenabue, Ireland. *Geomorphology*, v. 185, n. 1, p. 27-38.
- HUDSON, R. (2001) Interpreting Turbidity and Suspended-Sediment Measurements in High-Energy Streams in Coastal British Columbia. *Forest Research Technical Report TR-008*, Research Section, Vancouver Forest Region. Vancouver: BCMOF. 16p.

- KLEIZEN, H.H.; PUTTER, A.B. DE; BEEK M.V.D.; HUYNINK, S.J. (1995) Particle concentration, size and turbidity. Based on a presentation at the Filtech Europa 93 Conference in Karlsruhe, Germany on 19 October 1993, revised and expanded May 1995. *Filtration & Separation*, p. 897-901.
- LUDWIG, K.A. & HANES, D.M. (1990) A laboratory evaluation of optical backscatterance suspended solids sensors exposed to sand-mud mixtures. *Marine Geology*, v. 94, p. 173-179.
- MERTEN, G.H.; CAPEL, P.D.; MINELLA, J.P.G. (2014) Effects of suspended sediment concentration and grain size on three optical turbidity sensors. *Journal of Soils Sediments*, v. 14, p. 1235-1241.
- NAVRATIL, O.; ESTEVES, M.; LEGOUT, C.; GRATIOT, N.; NEMERY, J.; WILLMORE, S.; GRANGEON, T. (2011) Global uncertainty analysis of suspended sediment monitoring using turbidimeter in a small mountainous river catchment. *Journal of Hydrology*, v.398, n. 3-4, p. 246-259.
- PRUITT, B.A. (2003) Uses of turbidity by states and tribes. In: GRAY, J.R. & GLYSSON, G.D. *Proceedings of the Federal Interagency Workshop on Turbidity and Other Sediment Surrogates*. Nevada, April-30, May-2, 2002, U.S. Geological Survey Circular 1250, p. 31-46.
- SARI, V.; CASTRO, N.M.R.; KOBIYAMA, M. (2015) Estimativa da concentração de sedimentos suspensos com sensores ópticos: Revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, n. 4, p. 816-836.
- SHELLENBARGER, G.G.; WRIGHT, S.A.; SCHOELLHAMER, D.H. (2013) A sediment budget for the southern reach in San Francisco Bay, CA: Implications for habitat restoration. *Marine Geology*, v. 345, p. 281-293.
- SUTHERLAND, T.F.; LANE, P.M.; AMO, C.L.; DOWNING, J. (2000) The 2015 calibration of optical backscatter sensors for suspended sediment of varying darkness levels. *Marine Geology*, v.162, p. 587-597.
- TANANAEV, N.I. & DEBOLSKIY, M.V. (2014) Turbidity observations in sediment flux studies: Examples from Russian rivers in cold environments. *Geomorphology*, v. 218, p. 63-71.
- TENA, A.; BATALLA, R.J.; VERICAT, D.; LÓPEZ-TARAZÓN, J.A. (2011) Suspended sediment dynamics in a large regulated river over a 10-year period (the lower Ebro, NE Iberian Peninsula). *Geomorphology*, v. 125, n. 1, p. 73-84.
- VOUSDOKAS, M.I.; ALEKSIADIS, S.; GRENZ, C.; VERNEY, R. (2011) Comparisons of acoustic and optical sensors for suspended sediment concentration measurements under non-homogeneous solutions. *Journal of Coastal Research*, v. 30, n. 2, p. 160-164.