



XXXIII

Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

CALIBRAÇÃO DE TURBIDÍMETRO PARA ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO EM UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA

André Pellegrini⁽¹⁾; Marcia Luciane Kochem⁽²⁾; Gilmar Luis Schaefer⁽²⁾; Jimmy Walter Rasche Alvarez⁽³⁾; Danilo Rheinheimer dos Santos⁽⁴⁾; Jean Paulo Gomes Minella⁽⁴⁾; Fabiano Elias Albugeri⁽²⁾; Elci Gubiani⁽²⁾

⁽¹⁾ Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Bolsista do CAPES, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS, CEP: 97105-900, andre.pellegrini@yahoo.com.br; ⁽²⁾ Bolsista de Iniciação Científica do Departamento de Solos e aluno (a) do Curso de Agronomia da UFSM; ⁽³⁾ Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFSM; ⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos da UFSM.

Resumo – A quantificação de sedimentos em suspensão é essencial no monitoramento e estudos hidrossedimentológico em bacias hidrográficas. O objetivo do trabalho foi testar diferentes procedimentos de calibração de um turbidímetro, no intuito de estimar a concentração de sedimento em suspensão por turbidimetria, em uma pequena bacia hidrográfica. As calibrações foram feitas com auxílio de uma curva de solução sintética; da relação da concentração de sedimento em suspensão e a turbidez amostrada em três eventos; e de quatro curvas obtidas por diferentes concentrações, dispersão e uma com seleção na granulometria do sedimento coletados por um amostrador integrado (torpedo). A turbidimetria pode ser utilizada para estimativa de CSS desde que devidamente calibrada. Os sedimentos coletados pelo torpedo permitiram estudar vários procedimentos de preparo de curvas servindo para constatar problemas e os cuidados a serem tomados em uma calibração.

Palavras-Chave: turbidez, erosão hídrica, sedimentologia.

INTRODUÇÃO

A pressão antrópica acelera a erosão hídrica do solo, causando danos ao ambiente, sendo maior, se houver a aplicação irracional de insumos agrícolas.

Os sedimentos em suspensão são partículas muito finas, com predomínio da fração argila, com alta capacidade de transporte e potencial poluidor. Se os sedimentos forem oriundos de locais com elevada carga de pesticidas ou fertilizantes, e chegar aos cursos e reservatórios d'água, o mesmos irá desorver moléculas e íons afetando a qualidade dos mananciais.

A quantificação dos sedimentos em suspensão, em bacias hidrográficas é fundamental, pois reflete as taxas erosivas causadas pela energia da chuva e da enxurrada sobre as diferentes proporções de uso do solo e tipos de manejos aplicados (Minella, 2008a). Amostragens do sedimento em suspensão feitas diretamente no exutório da bacia são essenciais para a quantificação e determinação da qualidade dos sedimentos. Contudo, o acompanhamento contínuo, por amostragem direta, demanda elevado custo em

recursos humanos ou mesmo na aquisição de amostradores automáticos eficientes.

Alternativamente, o monitoramento hidrossedimentológico pode ser feito por alguns equipamentos como: amostradores de nível ascendente e descendente; amostrador de sedimento integrador e por turbidimetria. As medidas de turbidez poderão ser empregadas para proporcionar dados contínuos de concentração de sedimentos em suspensão (CSS), para o cálculo de sedimentos transportados.

A avaliação da turbidez do escoamento apesar de ser um método indireto para a determinação da CSS tem sido utilizada com sucesso (Lewis, 2002; Schoellhamer, 2002). No método nefelométrico, pelo qual um feixe de luz que incide sobre a amostra tem parte dos raios luminosos refratados pelas partículas em suspensão, enquanto que o restante do feixe atravessa a solução. O sistema medidor é acionado pelos raios refratados que, por sua vez, estão em função das partículas em suspensão na amostra. A turbidez é causada pela presença de materiais orgânico, mineral e biológico em suspensão na água de diferentes dimensões, cores, forma e transparência (Ziegler, 2002).

No entanto, o êxito na validação dos resultados só é possível por meio de calibração. Minella (2008b) estudando a relação da turbidez com a concentração de sedimentos em suspensão constatou que quando a calibração foi feita com os solos amostrados da bacia ocorreu a superestimação da CSS, enquanto que a melhor calibração foi obtida com as amostras coletadas durante eventos de chuva, e o material proveniente do amostrador torpedo apresentou comportamento intermediário, sendo uma alternativa eficiente de calibração.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo ajustar a calibração de um turbidímetro, testando diferentes formas de dispersão e granulometria para a composição de curvas de calibração de sedimentos coletados pelo torpedo e também comparar o ajuste obtido em três eventos de diferentes magnitudes amostrados em uma Pequena Bacia Hidrográfica (PBH).

MATERIAL E MÉTODOS

A PBH deste estudo está localizada no assentamento Alvorada, município de Júlio de Castilhos, RS. A área é de 1,39 km², as distribuições de usos são de 14,9 % de mata,

reflorestamento e áreas úmidas; 42,0% de lavouras, 37,1 % de pastagens e pousio, e os 6,0 % restante entre sedes de propriedades, açudes, subsistência e estradas. O sistema produtivo do local de estudo está baseado na integração lavoura-pecuária, com o cultivo de soja sob plantio direto (verão) e de pastoreio extensivo de azevém (inverno). A composição granulométrica média da bacia, na camada de 0 a 20 cm, é de 60,7; 18,1 e 21,2 % de areia, silte e argila, respectivamente.

A determinação de turbidez foi feita com o uso de um sensor acoplado a um datalogger, modelo SLPNV 2000, com armazenamento eletrônico dos dados a um intervalo de leituras de 5 minutos. Este está constantemente dentro da lâmina do curso d'água, suspenso a 20 cm do fundo do canal, protegido por um tubo de PVC rígido. A primeira etapa da calibração é a transformação dos pulsos elétricos (mV) medidos pelo aparelho em unidade nefelométrica de turbidez. Para isso foi utilizada uma solução padrão de calibração composta de micro esferas de 0,2 μm , (*AMCO Clear Turbidity standard for Analite-GFS Chemical*) com concentração de 40, 100, 400, 800, 1000 e 3000 NTU (nephelometric turbidity unit).

Na calibração do aparelho para transformar a turbidez (NTU) em CSS, foi utilizada dois procedimentos:

1º - (a) Relação de leituras obtidas pelo aparelho e a CSS amostrada com um coletor manual do tipo USDH-48, durante três eventos. Os eventos utilizados para a calibração tiveram diferentes características e foram amostrados em: 21/02/2010 com três (3) horas de escoamento superficial (ES) e vazão de pico de 1,79 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; 31/07/2010 com cinco (5) horas de ES e vazão de pico de 0,24 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; e no dia 01e 02/09/2010 um evento composto, com seis picos e recessões, durante trinta (30) horas, e vazão máxima de 0,79 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$. A quantificação direta de CSS foi pelo método de evaporação (Carvalho, 2008).

2º - Montagem de curvas com sedimento coletado por um amostrador denominado “torpedo”. O amostrador foi instalado à jusante do sensor de turbidez e permaneceu submerso a linha d'água do canal. Suas dimensões são de aproximadamente 100 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro, foi construído de PVC. Possuía um bico de entrada e outro na saída, com aproximadamente 5 cm para fora e também para dentro do tubo, com diâmetro do orifício de 4 mm. Desta forma uma pequena alíquota de água mais sedimentos foi amostrada e ao percorrer o interior do amostrador ocorreu a deposição e acúmulo dos sedimentos, compondo uma amostra integrada no tempo (6 meses). Após a retirada do sedimento do torpedo foi feita a secagem em estufa a 105°C. A partir deste ponto foi possível construir as curvas através da pesagem do sedimento e acondicionamento em recipientes (> 500 ml) para transporte a campo da seguinte forma: (b) Sedimento < 106 μm sem dispersão prévia – foi peneirado o sedimento (seco) retirando a fração maior que areia muito fina e posterior foi composto uma curva com diferentes concentrações de 25, 50, 70, 125, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 850, 1000, 1500, 2000 e 2500 mg l^{-1} ; (c) Sedimento disperso com Agitação +

2ml NaOH 6% - não foi alterada a granulometria, mas foi agitado por 10 horas uma solução de 98 ml de água destilada, 2 ml de hidróxido de sódio (NaOH) para dispersão e suspensão por maior tempo do material e uma quantidade equivalente de 6, 12,5 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 e 3200 mg l^{-1} . No campo foi adicionado mais 400 ml de água obtida no riacho local. (d) Sedimento disperso com Agitação – similar ao tratamento anterior, mas sem a dispersão química; e (e) Sedimento sem dispersão prévia – a concentração de sedimento foi a mesma dos últimos dois tratamentos, composta pela introdução de 500 ml de água obtida no riacho local. Procedeu-se ao revestimento das amostras por um recipiente de coloração preto fosco, e a agitação para homogeneização da amostra foi similar para todos os tratamentos e posteriormente foi inserido o sensor para leitura (obtida em mV).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira calibração foi feita para transformação dos valores de leitura do turbidímetro, de mV para NTU, utilizando a curva de substância padrão. O sensor apresentou ótimo coeficiente de determinação, para o ajuste a um polinômio de segundo grau (Figura 1a). Pela sequência de aferições foi observada uma pequena redução proporcional aos valores em todos os pontos, possivelmente atrelado ao tempo de uso da bateria, desta forma alerta-se para verificações periódicas de voltagem e substituição anual da mesma, conforme recomendação do fabricante. Também cabe ressaltar que a utilização de mais um ou dois pontos na parte inicial da curva poderia ajustar melhor a turbidez aos valores observados, visto a maior ocorrência de CSS nessa faixa de turbidez.

A calibração utilizando solos da bacia não foi testada, porque já foi comprovada que a mesma superestima os valores (Minella, 2008b).

A utilização de sedimento acumulado no amostrador “torpedo” possui a vantagem de obtenção de material com características químicas e físicas similares ao transportado em suspensão, além da montagem de uma curva com pontos de alta CSS, que somente ocorre em eventos raros e de difícil amostragem direta. A construção das curvas com diferente forma de dispersão e uma com granulometria selecionada foi importante para a calibração local, mas também na divulgação de possíveis alterações que possam comprometer a utilização da turbidimetria.

De modo geral, os tratamentos que não foram modificado a granulometria, superestimaram os valores preditos (Figura 3 c;d;e), pois com maior conteúdo de areia do material há menor proporção de argila e consequentemente material em suspensão obtendo menor valor de turbidez para altas CSS. Com relação a agitação prévia do material foi possível observar aumento na dispersão (Figura 1 b), desta forma sugere-se que a agitação deva ser feita pelo menos por período maior ou igual ao tempo de concentração da bacia, simulando as condições do movimento turbulento e também para separação de partículas que possam estar agrupadas pelo processo de secagem. A utilização de dispersante químico apresentou ampliação da turbidez, ajustando-se ao evento de alta vazão e concentração de sedimento (Figura 4 – 21/02/2010). A presença do material grosseiro que em

outros eventos de baixa vazão não permitiram bons ajustes, por superestimar, podem ser utilizados para compor a calibração para vazões altas, visto que nestes pontos ocorre aumento da capacidade de transporte e suspensão de material pesado. Ainda com relação a dispersão química, pode ser um artifício para permanência em suspensão por mais tempo, principalmente do sedimento fino, mas ressalta-se que o material orgânico que compõem a amostra pode se alterar por ação do NaOH, alterando a coloração da amostra. Desta forma sugere-se que novos testes sejam feitos, com outros produtos, principalmente em baixas concentrações e aplicado proporcionalmente à quantidade de sedimento.

A seleção do material mais fino ($< 106 \mu\text{m}$) permitiu que a turbidez apresentasse melhor ajuste à baixas CSS (Figura 1b) e também bom coeficiente angular entre predito e observado (Figura 3b). Mas quando foi aplicada a equação calibrada (Tabela 1) aos eventos (Figura 4) o tratamento não obteve bons resultados.

A presença de material grosseiro proporcionou menor quantidade de material em suspensão apresentando pior ajuste, principalmente a baixo de 120 NTU ou menor que 500 mg l^{-1} . Isso pode ser observado pela presença de retas na escala logarítmica (Figura 1 b). Embora não foi testado neste trabalho, parece ser que a seleção de sedimentos com diferentes granulometrias devem ser proporcionais a vazão do evento, pelo menos separando em duas ou três classes.

A calibração utilizando eventos subestimou os resultados preditos, principalmente em maior CSS (Figura 2 a), mas apresentou os melhores ajustes nos eventos dos dias 31/07/2010 e 02/09/2010 (Figura 4), por serem eventos de baixa vazão. A utilização de maior número possível de amostras coletadas diretamente de CSS e sua relação com a turbidez é o procedimento mais confiável (Minella, 2008). Esse autor utilizando 8 eventos totalizando 458 amostras, atingindo um $r^2 = 0,86$. Com o presente trabalho foi possível coletar três eventos (muito distintos) atingindo 82 pares de dados, com um $r^2 = 0,66$ (Figura 1 c). Desta forma, espera-se que o ajuste melhore com mais eventos a serem coletados, minimizando as incertezas. Pois, também podem ser observados bons ajustes da turbidez para com a CSS em eventos individuais (Figura 2).

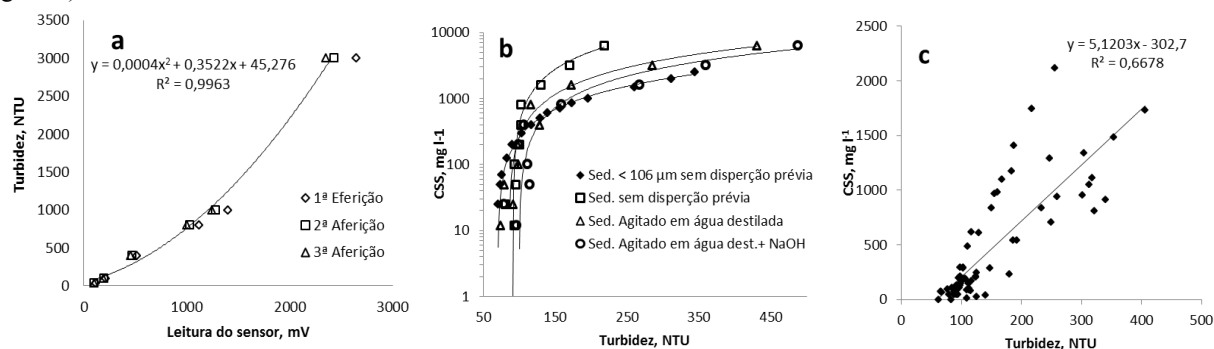


Figura 1. Obtenção da equação polinomial média (a) de três leituras, da relação de leituras do sensor (mV) para unidade nefelométrica de turbidez (NTU); (b) relação da concentração de sedimento obtido por diferentes procedimentos de montagem e NTU; e (c) relação da concentração de sedimentos em suspensão observado (CSS) de três eventos (CSS – Turb. 3 eventos) e NTU.

CONCLUSÕES

1. A turbidimetria pode ser utilizada para estimativa da CSS desde que devidamente calibrada, com solução padrão e métodos que se ajustem ao observado.
2. O método de amostragem por integração (torpedo) possibilita a obtenção de material para testes de calibração, além de simular eventos de alta CSS.
3. A granulometria do sedimento amostrado deve ser ajustada à vazão.
4. A dispersão prévia por agitação deve ser utilizada sugerindo um tempo mínimo igual ou maior ao tempo de concentração da bacia.
5. A dispersão química deve ser melhor estudada.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/CNPq pelo suporte financeiro (processo nº 574371/2008-7).

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, N.O. Hidrossedimentologia prática. CPRM, Eletrobrás. Rio de Janeiro. 2008. 371p.
- LEWIS, J. (2002). Estimation of suspended sediment flux in streams using continuous turbidity and flow data coupled with laboratory concentrations, in: Proceedings of the Federal Interagency Workshop on Turbidity and Other Sediment Surrogates. Reno, NV, Appendix 2.
- MINELLA J. P. G.; WALLING, D.E.; MERTEN, G.H. (2008a). Combining traditional monitoring and sediment source tracing techniques to assess the impact of improved land management on catchment sediment yields. J. Hydrol. 348, 546 – 563.
- MINELLA, J. P. G., MERTEN, G. H., CLARKE, R. T., REICHERT, J. M. (2008b) Estimating suspended sediment concentrations from turbidity measurements and the calibration problem. Hydrol. Proc., v.22(12), p.1819-1830, 2008.
- SCHOELLHAMER, D.H. (2002). Use of optical properties to monitor turbidity and suspended-sediment concentration, in: Proceedings of the Federal Interagency Workshop on Turbidity and other sediment surrogates. Reno, NV, pp.15-16.
- ZIEGLER, A.C. (2002). Issues related to use of turbidity measurements as a surrogate for suspended sediment, in: Proceedings of the Federal Interagency Workshop on Turbidity and other sediment surrogates. Reno, NV, pp.9-14.

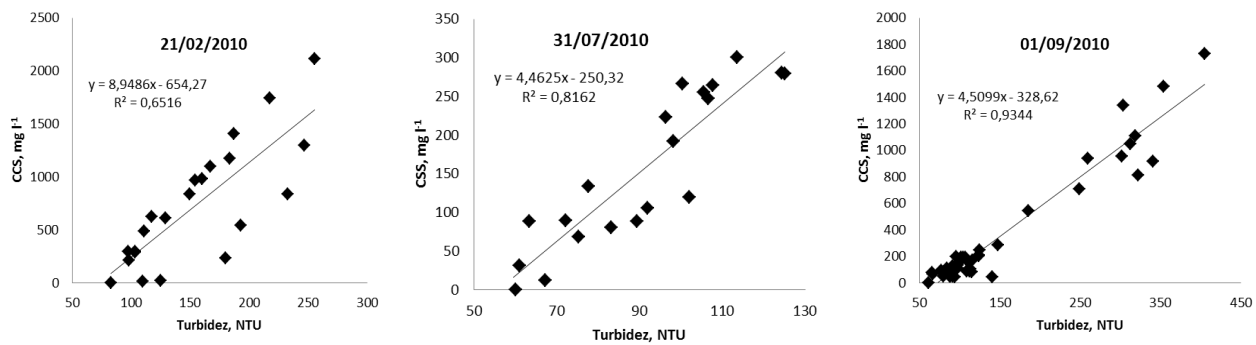


Figura 2. Relação entre a unidade nefelométrica de turbidez (NTU) e a concentração de sedimento (CCS) observado em três diferentes eventos amostrados na pequena bacia hidrográfica de Júlio de Castilhos – RS.

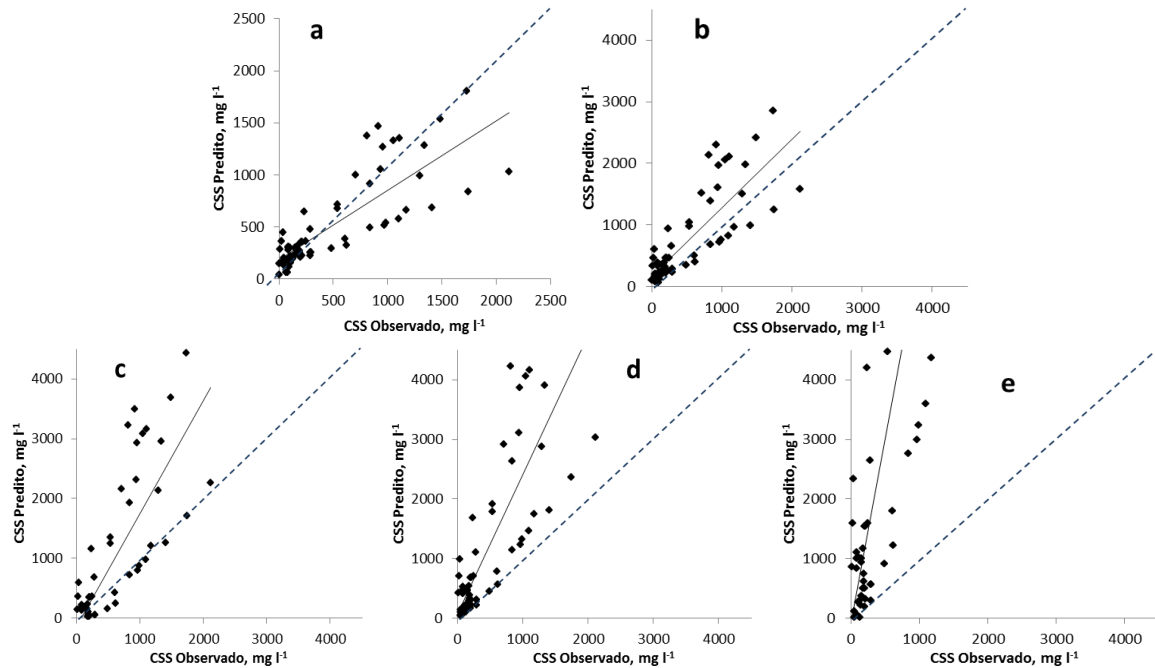


Figura 3. Relação entre concentração de sedimento observado e predito pelas equações de regressão: (a) dos três eventos (Figura 2 c); (b) sedimentos < 106 μ m sem dispersão prévia; (c) sedimento disperso com Agitação + 2ml NaOH 6%; (d) Sedimento disperso com Agitação; e (e) sedimentos sem dispersão prévia.

Tabela 1. Equações de regressão obtidas da relação de turbidez e concentração de sedimento em suspensão por diferentes de dispersão e granulometria dos sedimentos amostrado pelo torpedo.

Preparo da curva	Número de pontos	Equação	r^2
Sedimento < 106 μ m sem dispersão prévia	15	$y = 8,4866x - 590,56$	0,993
Sedimento disperso com Agitação + 2ml NaOH 6%	10	$y = 14,496x - 1445,$	0,9502
Sedimento disperso com Agitação	10	$y = 17,874x - 1526,6$	0,9873
Sedimento sem dispersão prévia	10	$y = 47,292x - 4316,8$	0,9766

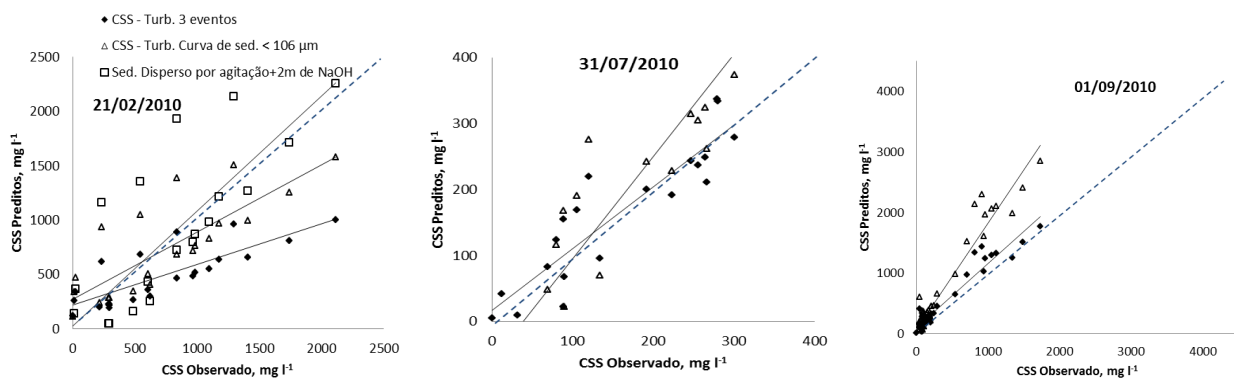


Figura 4. Relação entre concentração de sedimento observado e predito pela: equação dos três eventos (Figura 1 c); curva montada com sedimentos < 106 μ m (Figura 2b) e no dia 21/02/2010 também por dispersão química e física.