PROBLEMAS NA ESTIMATIVA DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO ASSOCIADOS À ELABORAÇÃO DA CURVA-CHAVE PARA SENSOR DE TURBIDEZ

Albert Teixeira Cardoso[1]; Masato Kobiyama[2] & Fernando Grison[3]

RESUMO – O objetivo do presente trabalho foi avaliar os problemas na estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) associados à elaboração e extrapolação da curva-chave de sedimentos com base em dados monitorados. A partir de amostras foram criadas duas equações de curva-chave através do método de regressão, uma linear (R^2=0,97) e outra potencial (R^2=0,85). As equações geraram resultados parecidos para baixos valores de turbidez, porém aproximadamente a partir de 20 NTU as estimativas começaram a divergir. Para analisar a influência da curva-chave na estimativa da carga de sedimento em suspensão as equações foram utilizadas na série de dados de turbidez do período de 16 de dezembro de 2011 a 13 de junho de 2012. Esta série foi dividida em eventos com altos e baixos valores de CSS. Constatou-se que os eventos com altos valores, apesar de menos frequentes, transportaram 92,10% e 88,07% do sedimento em suspensão no período, com o uso de regressão linear e potencial, respectivamente. Embora os percentuais foram semelhantes, o valor da carga total transportada foi diferente. Para diminuir o erro nos resultados é necessária a coleta de amostras que representem toda a variação de CSS que ocorre na exutória da bacia.

ABSTRACT – The objective of the present study was to evaluate the problems in estimating suspended sediment concentration (SSC) related to the establishment and extrapolation of the calibration curve based on monitored data. From the samples, two calibration curve equations were fitted by regression method, a linear (R^2 = 0.97) and a potential (R^2 = 0.85). The two equations gave similar results for low turbidity values, but from about 20 NTU the estimates started to diverge. In order to assess the influence of calibration curve on establishment of suspended sediment load, the equations were used in a turbidity dataset recorded during the period December 16, 2011 to June 13, 2012. The dataset was grouped in events with high and low SSC values. The high values events, although less frequent, transported 92.10% and 88.07% of the suspended sediment in the measured period estimated with the linear and potential regression, respectively. Although the rates are similar, the value of transported total load is highly different. For the purpose of reducing the error in calibration curve results it is important to collect samples which can better represent the variation in the SSC of the basin outlet.

[1]Mestrando do Programa de Pós-graduação em Eng. Ambiental - UFSC. e-mail: albertcardoso@hotmail.com
[2]Professor Associado do Programa de Pós-graduação em Eng.Ambiental - UFSC. e-mail: kobiyama@ens.ufsc.br
[3]Doutorando do Programa de Pós-graduação em Eng. Ambiental - UFSC. e-mail: fernando@ens.ufsc.br

Palavras-chave: Sedimento em suspensão, turbidez, curva-chave de sedimentos.

1. INTRODUÇÃO

A quantificação de sedimentos em rios é importante por vários motivos como: tratamento de água para abastecimento, irrigação, navegação, geração de energia elétrica; além dos estudos geomorfológicos, costeiros, transporte de contaminantes e nutrientes, análises de impacto do uso do solo, trabalhos que estimam a carga de sedimento transportada para o oceano. (Prestegaard, 1988; Huggitt & Lu, 2000; Kothyari *et al*., 2002; Peart *et al*., 2005; Neal *et al*., 2006). O transporte de sedimento em suspensão normalmente representa a maior parte da carga total transportada nos canais naturais. Além disso, o sedimento em suspensão também é considerado um componente importante dentro dos processos hidrológicos, geomorfológicos e ecológicos dos rios (Gao & Josefson, 2012). Portanto, nos estudos relacionados a sedimentos, é fundamental estimar a concentração de sedimento em suspensão (CSS).

Uma das características da CSS em rios é a sua rápida alteração no tempo, principalmente em bacias menores, onde existe uma rápida resposta hidrossedimentológica (Walling & Weeb, 1981, Orwin &Smart, 2005). Desta forma, é necessário realizar o monitoramento com alta frequência de amostragem de sedimentos em suspensão durante eventos de chuva (Clifford *et al*., 1995). Porém, além de ser operacionalmente complicado, isso também aumenta muito o custo relacionado ao monitoramento, tanto para coleta quanto para análise das amostras (Lewis, 1996, Minella *et al*., 2008). Uma solução que vem sendo muito utilizada para resolver essa questão é o monitoramento automático da turbidez da água por meio de sensores de turbidez conectados em dataloggers (Sun *et al*., 2001; Orwin &Smart, 2005; Vestena *et al*., 2007; Minella *et al*., 2008).

Um problema relacionado ao uso do sensor de turbidez é que o equipamento possui sensibilidade ao tamanho da partícula, a forma e a composição do material em suspensão. Assim, o sensor de turbidez tem sua sensibilidade prejudicada na presença de partículas maiores, como areia (Lewis, 1996; Carvalho *et al*., 2004). Outro problema é que, conforme Sun *et al*. (2001), o monitoramento através do sensor de turbidez geralmente requer o desenvolvimento de uma adequada relação estatística entre os valores de turbidez e os valores de CSS, ou seja, o estabelecimento de uma curva-chave. Para isso são necessárias coletas de amostras de sedimentos em suspensão que representem a variação de CSS que ocorre em toda a área de uma determinada seção transversal. Todavia, a coleta de amostras durante picos de vazão é tarefa difícil de ser realizada, por apresentar perigos durante a amostragem ou por questões de deslocamento e logística

da coleta. Desta maneira, na maioria dos estudos é necessário realizar a extrapolação da curva-chave, o que deve ser realizado de maneira cautelosa, tendo conhecimento de suas implicações.

Segundo Lewis (1996), Sun *et al.* (2001) e Gao (2008), a relação entre CSS e turbidez pode ser linear ou não linear. Se as propriedades físicas das partículas em suspensão permanecerem constantes, então a relação tende a ser linear. Ekern (1977 apud Sun *et al.*, 2001, p. 228), encontrou uma relação linear para valores de CSS abaixo de 100 mg L^{-1} e outra não linear para valores maiores que este. Assim, torna-se fundamental a escolha da relação que melhor represente o comportamento dos sedimentos em suspensão, pois a partir desta relação serão gerados os valores para toda a série de dados do sensor de turbidez.

Desta forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar os problemas na estimativa de sedimentos em suspensão associados à elaboração e extrapolação da curva-chave de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio dos Bugres (BHRB) no município de Rio Negrinho – SC.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A área do presente estudo é uma pequena bacia hidrográfica denominada Bacia Hidrográfica do Rio dos Bugres. A bacia possui uma área de 66,41 km² e localiza-se no município de Rio Negrinho, região Norte do estado de Santa Catarina entre as latitudes 26°14'19"e 26°26'25" S e as longitudes 49°36'7 "e 49°19'1" (Figura 1). A

Tabela **1** apresenta algumas características morfológicas da BHRB. Várias pesquisas na BHRB já foram realizadas (CARDOSO *et al.*, 2012; MOTA *et al.*, 2011), pois esta bacia é considerada a futura fonte de abastecimento de água do município. Assim, visando assegurar as condições de potabilidade da água na bacia, foi criada em 1998 a Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio dos Bugres, pela prefeitura municipal de Rio Negrinho.

2.2 Coleta de dados

O monitoramento hidrossedimentológico vem sendo realizado na exutória da BHRB através de sensores de nível e turbidez ligados a um datalogger que registra os dados enviados pelos sensores com frequência de 10 minutos. No monitoramento de nível é utilizado um transdutor de pressão marca Waterlog (modelo H-3121) e no monitoramento de turbidez um sensor de turbidez FTS (modelo DTS-12). Por possuir um limpador automático do leitor óptico este sensor de turbidez tem a vantagem de necessitar de baixa manutenção. Este dispositivo ajuda a evitar problemas de

incrustações e, segundo o fabricante, permite que o aparelho realize leituras precisas, entre a faixa 0 - 1.600 NTU, por no mínimo 12 meses sem necessidade de manutenção.

Para o presente estudo foram utilizados dados do período entre dezembro de 2011 e junho de 2012, com um total de mais de 25 mil registros de turbidez e nível.

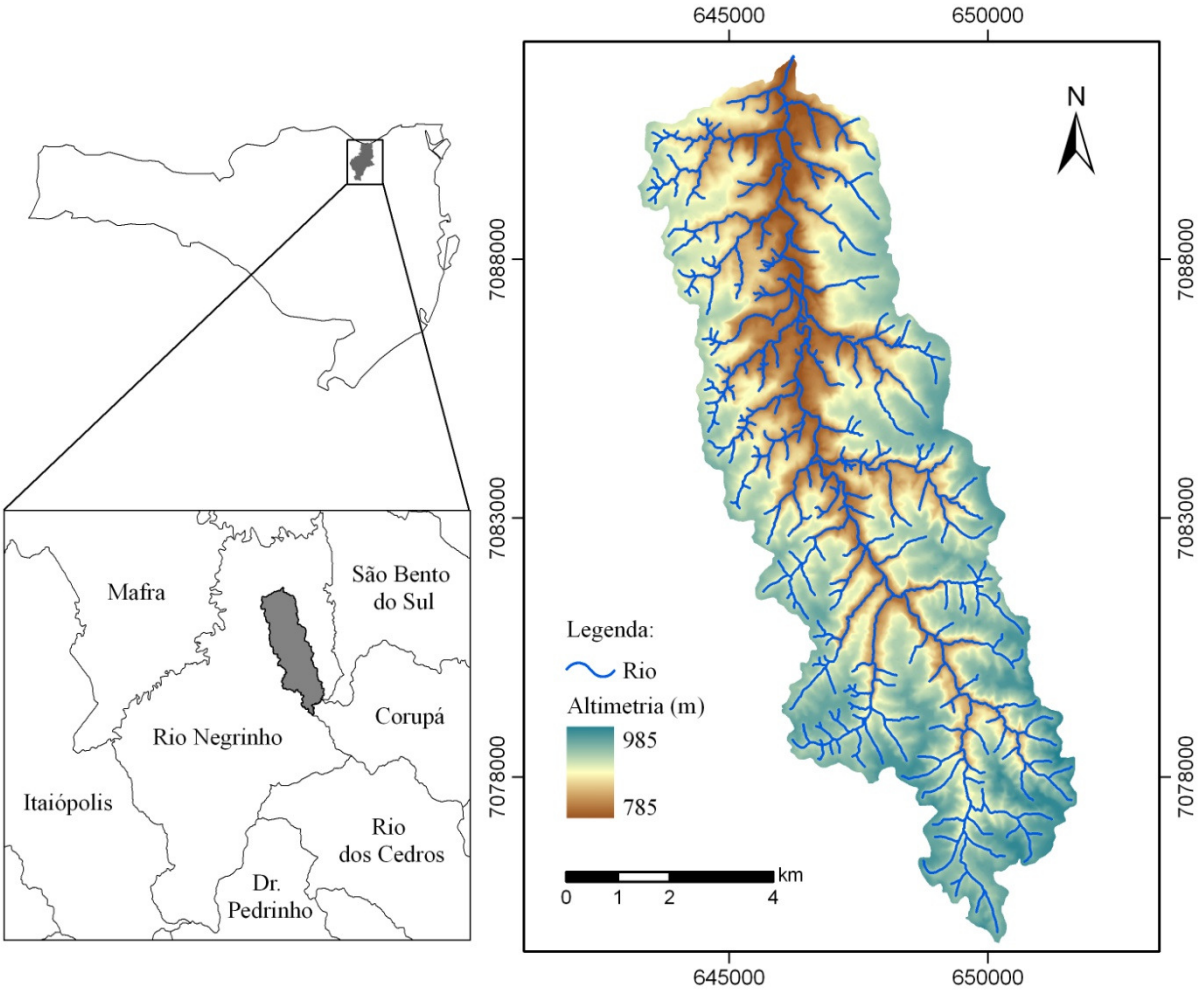

Figura 1 – Bacia Hidrográfica do Rio dos Bugres.

Tabela 1 – Características morfológicas da bacia.

Características Morfológicas da BHRB			
Área	A	km²	66,41
Perímetro	P	km	51,04
Comprimento	L	km	22,94
Largura	B	km	2,89
Nº de canais	N	–	217
Comprimento total de canais	Lc	km	161
Densidade de Rios	$\Sigma N.A^{-1}$	km^{-2}	3,27
Densidade de Drenagem	$\Sigma Lc.A^{-1}$	km^{-1}	2,42

(Fonte: CARDOSO *et al.*, 2012).

Entre os meses de janeiro e junho de 2012 foram realizadas as coletas de 10 amostras de sedimento em suspensão na exutória da BHRB, com uma frequência de amostragem de aproximadamente 15 dias. As coletas foram feitas com o auxílio do amostrador USDH 48, de uso a vau (Figura 2). Como metodologia de coleta, utilizou-se a técnica de amostragem por integração na vertical em 3 pontos da seção transversal do exutório (1/4, 1/2 e 3/4 da largura). Após coletadas, as amostras foram analisadas em laboratório através do método de filtração, que foi descrito por Carvalho (2008).

Figura 2 – Coleta de amostras para análise de sedimentos em suspensão.

2.3 Estabelecimento das curvas-chave e análises estatísticas dos resultados

Para o estabelecimento das curvas-chave de sedimento foram traçados os 2 tipos de tendência mais comumente utilizados na calibração de sensores de turbidez, ou seja, uma regressão linear e uma potencial.

$$CSS = aT + b \quad (1)$$

$$CSS = cT^{d} \quad (2)$$

onde CSS é a concentração de sedimento em suspensão (mg L^{-1}); *T* é a turbidez (NTU); e *a,b, c* e *d* são os coeficientes de ajuste.

As equações de regressão linear e de regressão potencial foram criadas a partir das 10 amostras coletadas em campo. Os coeficientes de determinação (R^2) das equações foram comparados. Foi realizada uma investigação da sensibilidade do R^2 através da retirada de amostras para cada equação, com o intuito de verificar sua influência no valor do R^2 gerado.

As equações foram extrapoladas para gerar resultados de CSS até o valor máximo de turbidez encontrado na série de dados, que foi de 1600 NTU. Os resultados provenientes das duas equações foram então comparados e analisados estatisticamente.

Foram analisados um total de 25851 dados, turbidez e nível, registrados pelo datalogger. A partir da série de dados registrada pelo sensor de turbidez foram separados eventos com altos e baixos valores. As equações, juntamente com os valores de vazão obtidos pela curva de descarga líquida da exutória da BHRB, foram utilizadas para analisar estes eventos. As CSS geradas pelas equações para ambos os tipos de eventos, assim como os dados de vazão e a carga de sedimentos em suspensão gerados foram analisadas estatisticamente através dos dados de médias, desvio padrão, mínimo, máximo e coeficiente de variação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Elaboração das equações de regressão linear e potencial

Pelo fato de serem resultados preliminares, contando com 10 coletas realizadas, as amostras apresentaram pouca variação na CSS: entre 3,8 e 42,8 mg L^{-1} correspondestes a 1,3 e 37 NTU, respectivamente. A Figura 3 mostra a regressão linear e a regressão potencial, encontradas entre CSS e Turbidez, e suas equações de regressão são:

$$CSS = 1{,}1118\ T + 1{,}9092 \quad (3)$$

$$CSS = 2{,}4086\ T^{0{,}7509} \quad (4)$$

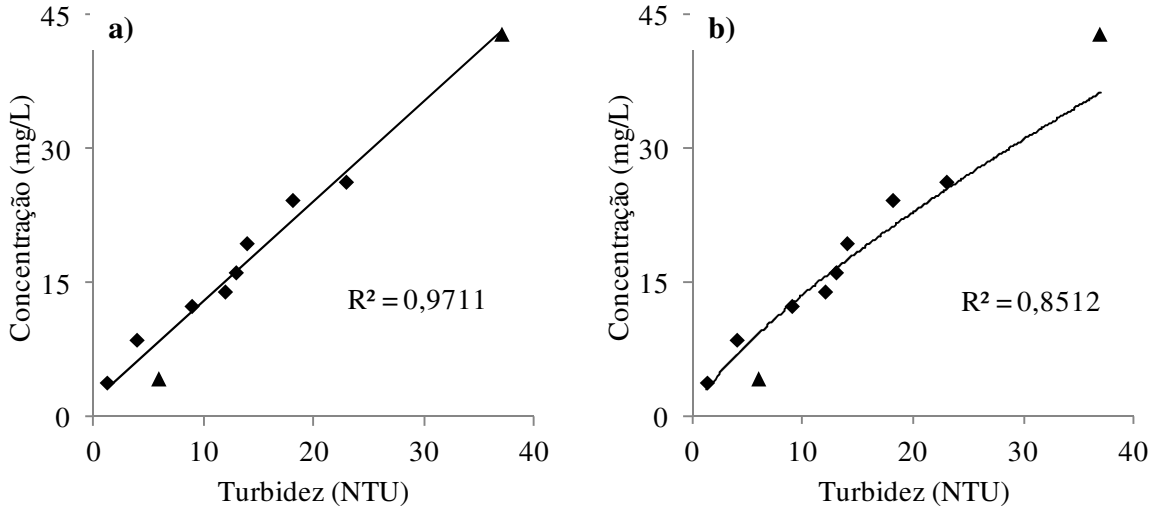

Figura 3 – Gráficos de regressão gerados com as amostras coletadas e R² a) linear b) potencial.

Observa-se na Figura 3 que os valores de R² para a regressão linear e a regressão potencial são de 0,9711 e 0,8512, respectivamente. Para estes dados e neste intervalo de variação de NTU, a equação linear apresenta melhor ajuste. Para avaliar a variação de R^2 foi realizada uma verificação simples com estes dados. Os mesmos métodos de regressão já utilizados foram aplicados novamente, porém foram retiradas duas amostras para verificar esta variação. As amostras retiradas foram as mesmas para a regressão linear e potencial, foram aquelas representadas com pontos triangulares na Figura 3. A primeira amostra retirada foi a de 42,8 mg L^{-1} para regressão linear, Figura 4 (a), e potencial, Figura 4 (b). Comparado com os valores de R² da regressão realizada com todas as amostras verifica-se que ambas tiveram este coeficiente reduzidos. Também foi retirada a amostra de 4,2 mg L^{-1}, na regressão linear (Figura 4 (c)) e na regressão potencial (Figura 4 (d)). Embora, com a retirada desta amostra, a regressão linear tenha apresentado apenas uma pequena melhora comparado a Figura 3 (a), em torno de 1,7%, na regressão potencial observou-se um aumento significativo no valor de R², próximo a 14,6%, quando comparado ao valor da Figura 3 (b). Entretanto, apesar de apresentar este aumento significativo no valor de R², observou-se que em ambas estas verificações, assim como na regressão realizado com todas as amostras, o ajuste foi melhor para equação de regressão linear. Todavia, estes testes demonstram como o número reduzido de amostras coletadas pode tornar a determinação da curva-chave mais suscetível a erros. Esses resultados confirmam parcialmente o resultado obtido por Ekern (1977 apud Sun *et al.*, 2001, p. 228), que encontrou uma relação linear para valores de turbidez menores. Entretanto, apenas o fato de apresentar um melhor R² com estes dados não significa que a Equação 3 seja a que melhor se ajusta como curva-chave para todos os valores.

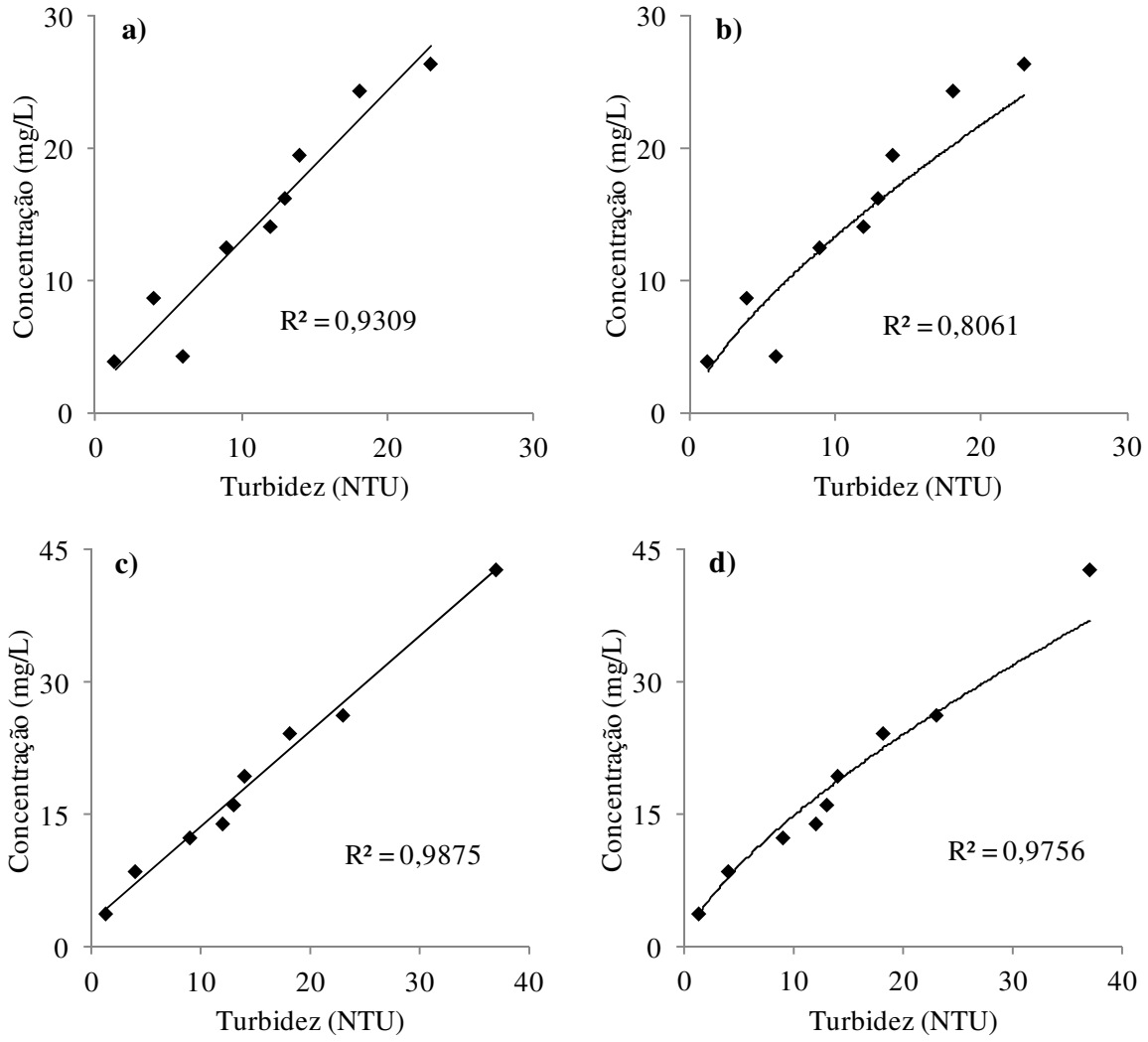

Figura 4 – Nova curva-chave: a) regressão linear sem amostra 42,8; b) regressão potencial sem amostra 42,8; c) regressão linear sem amostra 4,2; d) regressão potencial sem amostra 4,2.

3.2 Extrapolação das equações

As equações foram extrapoladas até o valor máximo de turbidez registrado durante o período de monitoramento, que foi de 1600 NTU (Figura 5). Na Figura 5 (a), observa-se que, para baixos valores (<50 NTU), a diferença nos valores das equações é pequena. Todavia, à medida que os valores de NTU aumentam, a diferença nos resultados de CSS também aumenta. Para o valor de 1600 NTU os valorem chegam a apresentar uma variação de 1167,4 mg L^{-1}, sendo 1780,8 mg L^{-1} para equação linear e 613,4 mg L^{-1} para a potencial. Isso acontece porque as equações foram geradas pelas amostras com valores baixos de CSS.

A Figura 5 (b) é uma parte da Figura 5 (a), focando a região que possui amostras. Nessa imagem se comprova que para valores de turbidez baixos os resultados das Equações (3) e (4) se tornam muito parecidos. Entre os valores de turbidez de 3 a 14 NTU a Equação (4) gera os valores de CSS levemente acima daqueles da Equação (3).

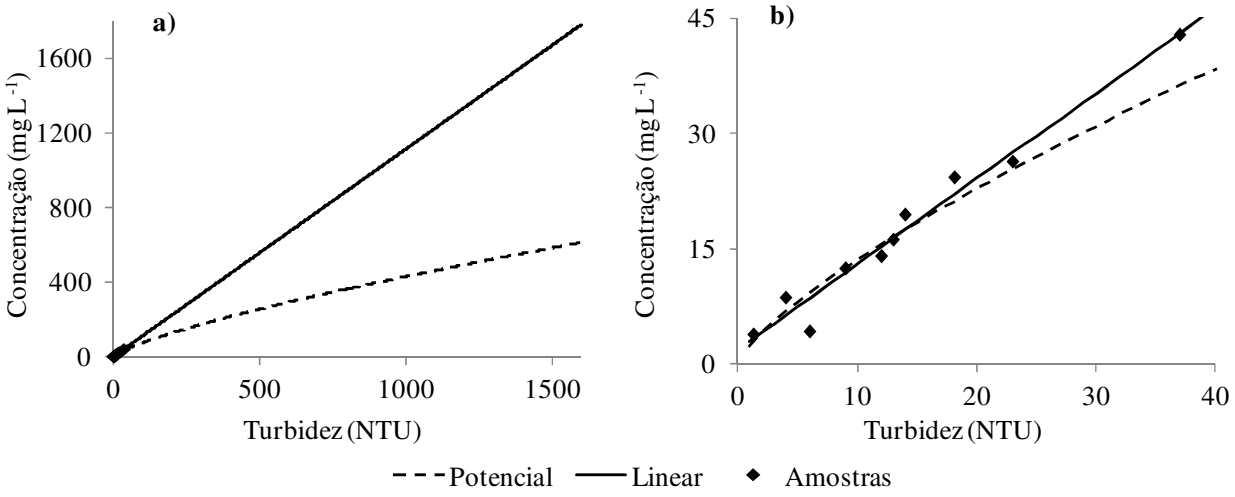

Figura 5 – Extrapolação das Curvas-chave. (a) Extrapolação até o valor de 1600 NTU; (b) Regressões na faixa amostrada.

A Figura 6 apresenta os valores gerados de CSS através das duas equações de curva-chave para dois eventos, um de baixa e outro de alta magnitude de turbidez. Na Figura 6 (a) observa-se que para valores de concentração abaixo de 20 mg L^{-1} os resultados são muito parecidos. Porém, quando os valores de CSS ultrapassam os 20 mg L^{-1} a curva-chave que utiliza a equação linear apresenta valores mais elevados, aumentando gradativamente esta diferença a medida que os valores de CSS aumentam. A Figura 6 (b) evidencia ainda mais a diferença entre os resultados das equações.

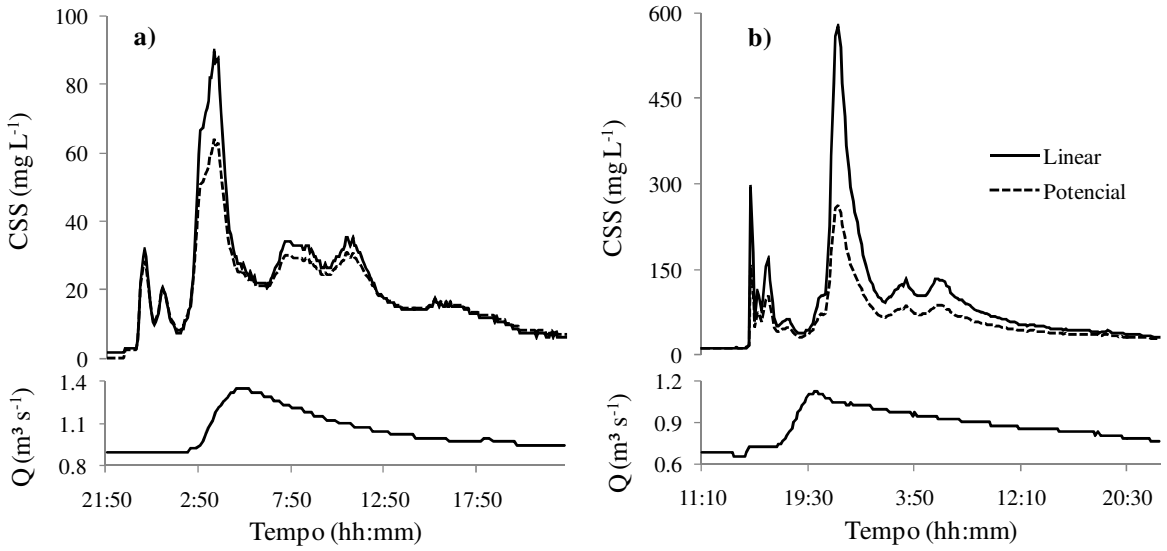

Figura 6 - CSS através das duas equações de curva-chave. (a) Resultados para um evento com baixa turbidez; (b) Resultados para um evento com alta turbidez.

3.3 Análise de eventos de turbidez e da carga de sedimentos em suspensão transportada

A série de dados de turbidez e vazão utilizados no presente estudo está apresentada na Figura 7. O presente trabalho considerou altos os valores maiores que 150 NTU. Com este critério, foram identificados 5 eventos com a alta turbidez, sendo marcados por linhas pontilhadas e pelos números de 1 a 5. Além disso, como dentro de cada evento selecionado existe mais de 1 pico de turbidez, esses picos foram agrupados de modo que o tempo entre eles não ultrapassasse 5 dias.

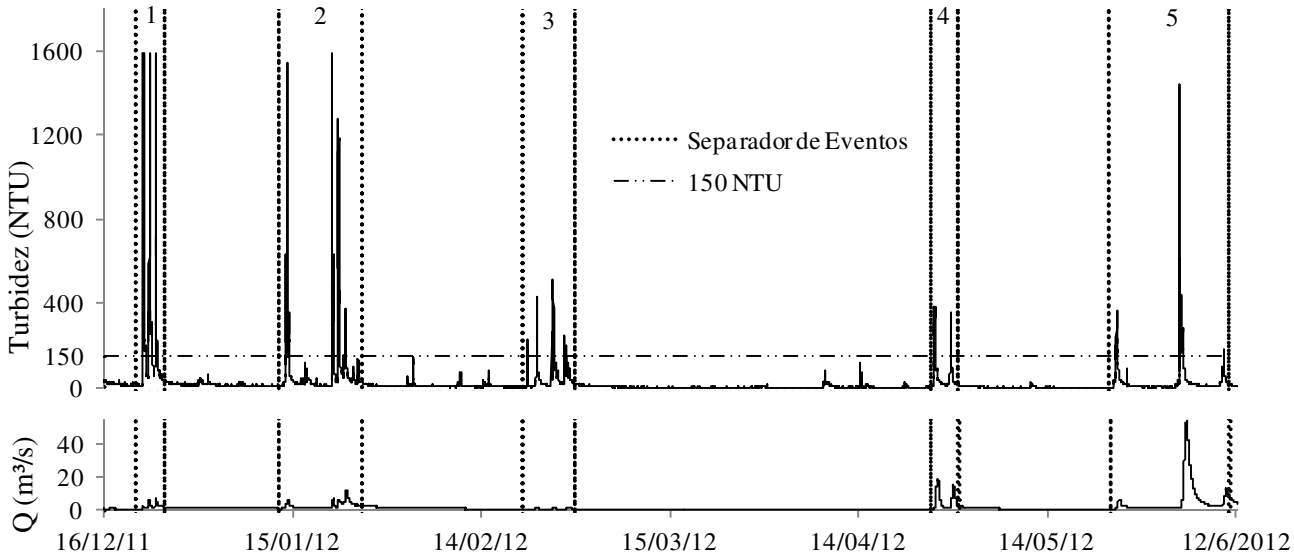

Figura 7 – Registro de turbidez e vazão durante o período de 16/12/11 à 13/06/12

Somados, os eventos de turbidez selecionados representam apenas 26,44% do tempo total do período. Entretanto estes eventos são importantes, pois a maior parte da carga total de sedimentos em suspensão é transportada por eles. Para comprovar esta afirmação foram empregados os valores de turbidez nas Equações 3 e 4 e estes valores foram multiplicados pela vazão, para saber a carga total de sedimentos em suspensão transportada. Constatou-se que os eventos são responsáveis por transportar 92,10% e 88,07% do sedimento total em suspensão no período, com o uso de regressão linear e potencial, respectivamente, (

Tabela **2**). Os valores de porcentagem podem ser considerados semelhantes. Mas os valores totais de sedimentos são bem diferentes, sendo 1445 t e 950 t.

Tabela 2 – Carga total de sedimento em suspensão transportada.

Eventos		Regressão Linear		Regressão Potencial	
		toneladas	%	toneladas	%
Alta Turbidez	Evento 1	268	18,56	125	13,21
	Evento 2	366	25,33	215	22,66
	Evento 3	32	2,19	23	2,40
	Evento 4	177	12,29	120	12,66
	Evento 5	488	33,75	353	37,16
	Sub-total	1331	92,10	836	88,07
Baixa Turbidez	Restante da série	114	7,90	113	11,93
Total		1445	100	950	100

Para evidenciar a variação dos resultados gerados pelas equações linear e potencial, o presente trabalho separou dois tipo de períodos: período com alta turbidez e período com baixa turbidez. Foram analisados um total de 6842 dados dos eventos com alta turbidez e 19009 dados do período restante, com baixa turbidez, além dos resultados para o período completo (Tabela 3). Para o período com baixa turbidez verificou-se que a equação linear apresentou valor máximo maior. Porém, em ambas as equações, a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação foram parecidos. Estes resultados demonstram a semelhança dos dados gerados pelas equações para este período. Para o período com alta turbidez os resultados gerados pelas equações tiveram maior variação. Estes resultados comprovam que, para valores de turbidez elevados, as equações geram valores com maior variação, tendo a equação linear apresentado uma maior variação dos resultados e também valores maiores.

A Tabela 3 também apresenta a análise estatística realizada com os dados de vazão durante o período com alta turbidez, com baixa turbidez e o período completo. Observa-se que o período com

baixa turbidez também apresentou vazões menores e uma variação menor destas vazões. Sendo o valor máximo registrado de 8,60 m³ s^{-1} e o mínimo de 0,42 m³ s^{-1}. Assim, nesses períodos, além de apresentar menor CSS a bacia também tem uma vazão menor e, consequentemente, uma menor produção de sedimentos. Por outro lado, o período com alta turbidez também apresenta vazões maiores que, somadas aos valores também maiores de CSS, fazem com que a maior parte do sedimento em suspensão da bacia seja transportada nesse período.

Tabela 3 – Estatística da variação de CSS e vazão em períodos de altos e baixos valores de turbidez.

Variável	Estatística	Período com Alta Turbidez		Período com baixa turbidez		Período Completo	
		Reg. Linear	Reg. Potencial	Reg. Linear	Reg. Potencial	Reg. Linear	Reg. Potencial
CSS (mg L^{-1})	N	6842		19009		25851	
	Média	64,9	41,5	9,6	9,5	24,2	17,9
	Desv. Padrão	142,3	58,6	8,6	7,2	77,5	33,8
	Mínimo	3,6	3,2	1,9	0,0	1,9	0,0
	Máximo	1773,0	611,4	382,1	192,6	1773,0	611,4
	Coef. Variação	219,2	141,4	90,2	75,9	319,9	188,4
Q (m³ s^{-1})	Média	3,75		0,84		1,60	
	Desv. Padrão	6,62		0,66		3,69	
	Mínimo	0,47		0,42		0,42	
	Máximo	53,70		8,60		53,70	
	Coef. Variação	176,90		79,10		228,55	

3.4 Associação de curvas-chave

Como observado, as equações (3) e (4) apresentam resultados similares para valores de CSS baixos. Avaliando pelo coeficiente R^2 verifica-se que a equação linear apresentou um ajuste um pouco melhor para as amostras utilizadas no desenvolvimento das curvas. Entretanto, na extrapolação da curva com o uso da equação linear, os valores gerados de CSS são bastante elevados. Assim, apesar de ter melhor ajuste para valores baixos de CSS a equação linear gera valores elevados durante picos de turbidez. Uma alternativa, caso seja necessária à criação de uma curva-chave com poucas amostras coletadas, como é o caso do presente estudo, é agregar as duas curvas-chave geradas. Esta agregação pode ser feita levando-se em consideração Ekern (1977 apud Sun *et al.*, 2001, p. 228), que encontrou ajustes lineares para valores até 100 mg L^{-1} e não lineares para valores maiores. Desta forma, até o valor de 100 mg L^{-1} utiliza-se a equação linear e a partir

deste valor é adotada a equação potencial. A Figura 8 (a) mostra as 2 curvas-chave de sedimentos já apresentadas e a curva-chave gerada a partir destas 2 equações. A Figura 8 (b) mostra apenas a curva chave gerada a partir da equação linear e da equação potencial. Esta nova curva-chave gera, para o valor de 1.600 NTU, uma CSS de 650 mg L^{-1}.

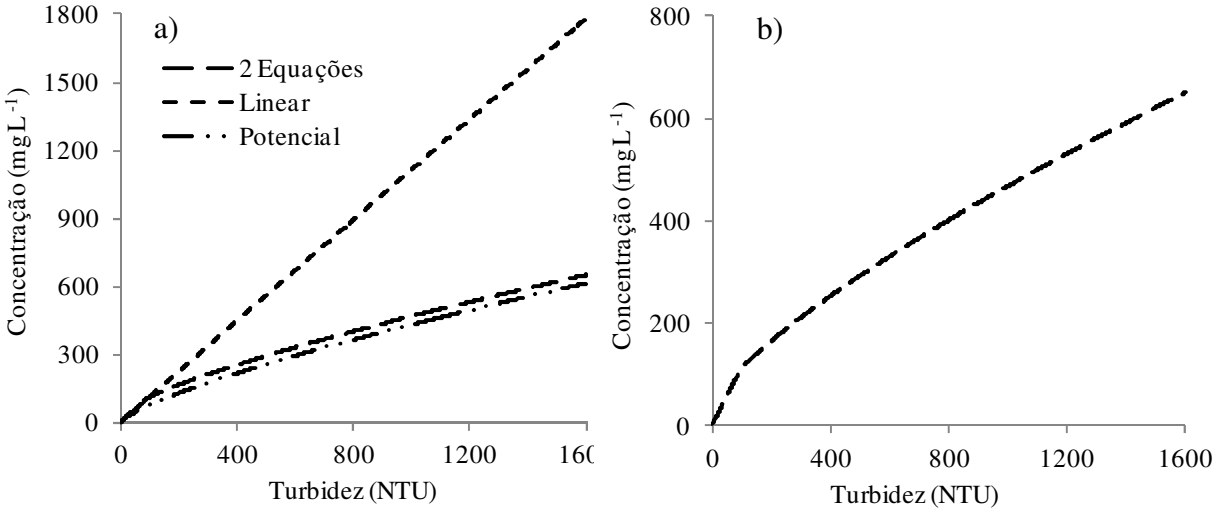

Figura 8 – Associação de Curva-chave (a) Curva-chave para equação linear, potencial e com a associação de ambas; (b) Apenas nova curva-chave.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A equação de regressão linear apresentou melhor ajuste, com R^2 de 0,9711 contra 0,8512 para a equação de regressão potencial. Todavia, através de verificação constatou-se que, devido ao número reduzido de amostras, a determinação da curva chave fica mais susceptível a erros, principalmente para valores maiores de turbidez. Recomenda-se, desta forma, coletar um número maior de amostras durante eventos em que a turbidez esteja elevada, a fim de ajustar melhor a curva-chave também para estes valores.

Os períodos com baixa turbidez aconteceram com maior frequência (>73% do tempo total). Entretanto a maioria dos sedimentos suspensos, 92,10% (com método de regressão linear) e 88,07% (com método de regressão potencial) foi transportada durante os eventos de maior turbidez e maior vazão. Assim, deve-se procurar estabelecer boas relações na curva-chave principalmente para elevadas concentrações de turbidez.

Por terem sido utilizados dados preliminares, ainda com poucas amostras de CSS, é difícil encontrar a equação que melhor estime os valores para toda a série de registro de turbidez. Assim torna-se fundamental a coleta de sedimentos dentro da maior variação possível, preferencialmente até o valor máximo registrado pelo sensor de turbidez.

AGRADECIMENTO

À CAPES, ao FINEP e ao CNPq pelos apoios financeiros e aos membros do Laboratório de Hidrologia da UFSC pelas discussões e críticas ao presente trabalho.

BIBLIOGRAFIA

CARDOSO, A.T.; GIGLIO, J.N.; KOBIYAMA, M.; GRISON, F. (2012). *Morfometria de bacias embutidas na gestão de bacias hidrográficas - Rio Negrinho, SC*. In: VII Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental. Criciúma: SBEA, Anais, CD-rom, pp. 10.

CARVALHO, K.S. de; PARANHOS, R.M.; PAIVA, J.B. (2004). *Limitações ao uso da relação entre turbidez e concentração de sedimento em suspensão em duas pequenas bacias em Santa Maria, RS*. In: XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica. São Pedro: IARH/AIPH.

CARVALHO, N. de O. (2008). *Hidrossedimentologia prática*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 599p.

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*. IAHS Publication. v.40, pp. 771–791.

GAO, P. (2008). *Understanding watershed suspended sediment transport*. Progress in Physical Geography, v. 32, n. 3, pp. 243-263.

GAO, P.; JOSEFSON, M. (2012). *Temporal variations of suspended sediment transport in Oneida Creek watershed, central New York*. Journal of Hydrology, v.426, pp. 17-27.

HUGGITT, D.L.; LU, X. (2000). *Determining variations in sediment yield in large rivers: an example of the Upper Yangtze*. IAHS Publication 263, pp. 19–28.

KOTHYARI, U.C.; JAIN, M.K.; RAJU, K.G.R. (2002). *Estimation of temporal variation of sediment yield using GIS*. IAHS Publication, v. 47, n. 5, pp. 693-706.

LEWIS, J. (1996). *Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation*. Water Resources Research, v. 32, n. 7, pp. 2299-2310.

MINELLA, J.P.G. *et al.* (2008). *Estimating suspended sediment concentrations from turbidity measurements and the calibration problem*. Hydrological Processes, v. 22, n. 12, pp. 1819-1830.

MOTA, A.A.; GRISON, F.; KOBIYAMA, M. (2011). *Análise da relação de propriedades do solo e da topografia com a sinuosidade do Rio dos Bugres por meio de Índice Topográfico*. In XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió: ABRH, Anais, CD-rom, pp. 15.

NEAL, C; NEAL, M.; LEEKS, G.J.L.; OLD, G.; HILL, L.; WICKHAM, H. (2006). *Suspended sediment and particulate phosphorus in surface waters of the upper Thames Basin, UK*. Journal of Hydrology, v.330, pp. 142–54.

ORWIN, J.F.; SMART, C.C. (2005). *An inexpensive turbidimeter for monitoring suspended sediment*. Geomorphology, v. 68, n. 1-2, pp. 3-15.

PEART, M.R.; KING, J.P.; RUSE, M.E. (2005). Sediment production by landslides in Hong Kong: two case studies. IAHS Publication v.291, pp. 29–36.

PRESTEGAARD, K.L. (1988). *Morphological controls on sediment delivery pathways*. IAHS Publication v.174, pp. 533–540.

SUN, H.; CORNISH, P.S.; DANIELL, T.M. (2001). *Turbidity-based erosion estimation in a catchment in South Australia*. Journal of Hydrology, v. 253, n. 1-4, pp. 227-238.

VESTENA, L.R.; LUCINI, H.; KOBIYAMA, M. (2007). *Monitoramento automático da concentração de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner/SC*. In: I Workshop Regional de Geografia e Mudanças Ambientais: Desafios da sociedade do presente e do futuro. Guarapuava: Ed. Unicentro, 2007. p.56 – 66.

WALLING, D.E.; WEBB, B.W. (1981). *The reliability of suspended sediment load data*. IAHS Publication v.133, pp. 177–94.