



UTILIZAÇÃO DO ACOUSTIC DOPPLER PROFILER - ADP PARA A ESTIMATIVA DE TURBIDEZ NO RIO VACACAÍ MIRIM

ALINE SCHUCK¹; JULIO CESAR RECH¹; HELENÉSIO CABRAL²; JOÃO BATISTA DIAS DE PAIVA³; DANIELA GUZZON SANAGIOTTO⁴

Resumo---Os equipamentos chamados ADP (Acoustic Doppler Profiler) estão sendo amplamente utilizados na hidrometria para determinação de vazões. Seu funcionamento é baseado no princípio do efeito Doppler, emitindo/recebendo ondas sonoras pelas correntes d'água, em função da concentração de sedimentos suspensos - CSS. Considerado equipamento moderno e dinâmico, pesquisadores buscam relacionar a medição de vazão com sedimentos pelo equipamento visando otimizar tempo e diminuição de equipamentos em campo. Outra pesquisa evolutiva é a relação entre medições de CSS correlacionadas à turbidez, assim medições com sondas fixas poderiam registrar dados instantâneos e em longos períodos com/sem precipitação. Investigando sobre o assunto esta pesquisa foi realizada no rio Vacacaí-Mirim em Santa Maria - RS e verificou a utilização do uso dos ecos medidos pelo ADP comparando diretamente com as informações sobre turbidez. Esta pesquisa ganha estímulos após verificar que a literatura indica boa correlação entre CSS e turbidez, possibilitando a substituição dos parâmetros. Após as investigações de campo, relacionando o eco com a turbidez, é apresentado resultados promissores, com boa correlação entre eco e a turbidez, aplicando ajuste linear (96%) e exponencial de (87%) demonstrando que a maioria dos valores calculados não superaram as duas vezes o valor medido. No entanto, ressaltamos a necessidade de novas pesquisas correlacionadas com o tema.

Abstract---The Acoustic Doppler Profilers (ADP) are being widely used for determining the hydrometric stream flow. Its operation is based on the principle of the Doppler effect, sending / receiving sound waves depending on the concentration of suspended sediment - CSS. Considered dynamic and modern, it is being used to relate flow measurements with sediment to optimize time and decrease of field equipment. Another aspect is the development of relationship between turbidity measurements and CSS over long periods with / without precipitation. Investigating on the matter, this research was conducted in the river Vacacaí-Mirim in Santa Maria - RS and found that the use of echoes measured by ADP compared directly with information on turbidity, similarly as reported in the literature. After field investigations relating echos with turbidity, promising results were obtained, with good correlation between the turbidity and echo by applying linear (96%) and exponential (87%) regressions, showing that most of the calculated values do not exceeded 2-fold the measured ones. However, the authors emphasize the need for further research on the topic.

Keywords: Turbidity, Suspended Sediment Concentration - CSS and Acoustic Doppler profiler-ADP.

¹ Professores da Universidade do Contestado – UnC, Campus de Concórdia - SC.

² Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM - RS.

³ Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria-UFSM.

⁴ Professora Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade de Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS - RS.

INTRODUÇÃO

Os estudos relacionados à sedimentologia tem se intensificado no Brasil nas últimas décadas devido aos problemas observados, principalmente nas regiões mais habitadas do Centro ao Sul do País (BELLINASSO, 2002). Isso se deve a interferência antrópica e natural, devido ao mau uso dos solos, originando diversos problemas, entre eles a erosão, com depósitos em locais indesejáveis e assoreamentos de rios, lagos e reservatórios (TEIXEIRA et al., 2009; PEREIRA, 2010).

Conhecer a quantidade de sedimentos é de grande importância para gerenciamento de bacias hidrográficas e corpos d'água. Para isso existem vários métodos para a medição da descarga em suspensão, do leito ou total e estes são classificados em indiretos. Neste contexto, os pesquisadores buscam alternativas para a quantificação dos sedimentos transportados, para que o processo seja mais ágil, mais preciso e também barato.

Os equipamentos chamados comumente de ADCP/ADP (Acoustic Doppler Current Profiler/ Acoustic Doppler Profile), ou simplesmente de Perfiladores Acústicos de Corrente por Efeito Doppler (PACED) são mundialmente conhecidos no meio hidrológico. Utilizados para medir as velocidades das partículas presentes nas correntes de água em diferentes profundidades, permitem determinar as áreas das seções transversais de rios, através do somatório dos perfis de corrente obtidos em tempo real, resultando nas vazões escoadas (GAMARO, 2006).

O aparecimento dos medidores acústicos Doppler, possibilitou a medição de vazão em uma única travessia na seção do rio, através do registro contínuo do perfil da seção e das velocidades do escoamento. Como este equipamento avalia a velocidade de deslocamento das partículas presentes na água, através do efeito Doppler, criaram-se expectativas de que este aparelho pudesse fazer o mesmo com a medição de sedimentos, ao transformar o retorno do eco em uma leitura de sedimentos de forma quantitativa (BENSI, 2006; GAMARO, 2008; DORNELLES, 2009).

Para a quantificação dos sedimentos suspensos transportados ao longo dos cursos d'água são utilizadas metodologias convencionais que requerem uma grande demanda da mão de obra, durante a realização das coletas amostrais de água e sedimento. A utilização do ADP como uma possível substituição para as metodologias tradicionais torna-se uma medição rápida e prática para obtenção de informações precisas e descritivas.

Outra possível substituição evidenciada nos últimos anos para as coletas de sedimentos em suspensão refere-se à turbidez, obtidas através dos equipamentos ópticos, como os turbidímetros. Esses equipamentos calibrados em laboratório e campo possibilitam ampliar a quantidade de dados medidos, com relativa facilidade em relação aos amostradores mecânicos principalmente em

períodos de cheias, onde ocorrem os maiores fluxos de transportes de sedimentos (MERTEN et al., 2012).

A avaliação da turbidez da água em escoamento é um dos métodos indiretos para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão. O turbidímetro faz a determinação quantitativa da turbidez, que pode ser correlacionada com a concentração do material em suspensão (GUIMARÃES, 2010; DALBIANCO et al., 2012). Essa possível relação de turbidez com a CSS permite que se investigue a correlação também entre os dados acústicos obtidos pelo ADP com a turbidez.

De acordo com a pesquisa de Grutka *et al.* (2012) realizada no rio Vacacaí Mirim em Santa Maria, o coeficiente de determinação encontrado entre a Concentração de Sólidos Suspensos - CSS e a turbidez na estação Menino Deus IV é satisfatória, com R^2 de 0,997 o que possibilita a investigação da relação turbidez e ecos medidos. Esta correlação alta entre os dados de CSS e a turbidez incentivou esta pesquisa a buscar a correlação do eco medido e a turbidez.

Assim, este trabalho visa à correlação do eco medido de um ADP e a turbidez na estação Menino Deus IV, no rio Vacacaí Mirim em Santa Maria - RS, fundamentando assim, a base para pesquisas futuras sobre as aplicações dessas metodologias nos cursos d'água com as características semelhantes aos testes de CSS e/ou que possuam instaladas sondas para registros de turbidez.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim está localizada na região central do Estado do Rio Grande do Sul abrangendo áreas de cinco municípios, Santa Maria, Restinga Seca, Itaara, São João do Polêsine e Silveira Martins. Tem o seu percurso natural em paralelo com a bacia hidrográfica do Vacacaí e em contexto geral, dentro a hidrografia do estado é considerada de pequeno porte, mas de grande importância econômica para a região.

Está situada entre as coordenadas geográficas 53°46'30'' a 53°49'29'' de longitude Oeste e 29°36'55'' a 29°39'50'' de latitude Sul, abrangendo uma área total de 1.145,7 km² (BELING, 2010). A figura 1 ilustra a localização da bacia no perante a demarcação do estado do Rio Grande do Sul.

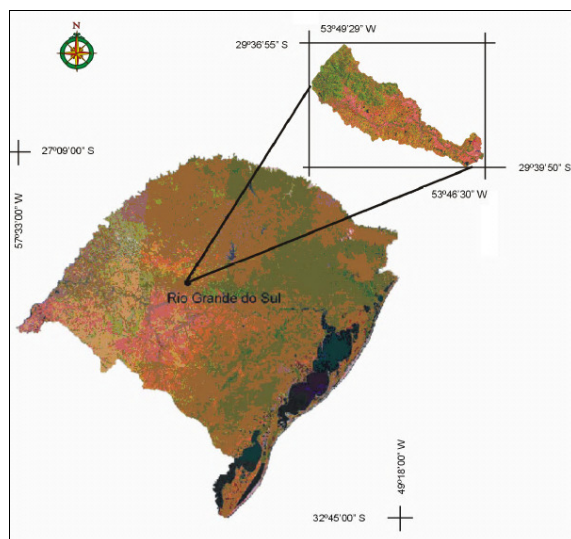


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica Vacacaí- Mirim. Fonte: Casagrande (2004).

O rio Vacacaí Mirim tem sua nascente no município de Itaara, seguindo em direção à região do município de Santa Maria. No bairro Campestre do Menino Deus está localizado a estação fluviométrica e hidrossedimentométrica Menino Deus IV - MD IV (figura 2).



Figura 2 - Estação fluviométrica e hidrossedimentométrica MD IV.

A estação é monitorada pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (GHidros) da UFSM e está localizada nas coordenadas geográficas 29°39'29'' de latitude Sul e 53°47'24'' de longitude Oeste com área de drenagem de 18,796 km².

Segundo Medeiros *et al.* (2012) a bacia hidrográfica MD IV é caracterizada como rural e possui indícios de degradação ambiental, devido a retirada da cobertura vegetal e agricultura em locais próximos aos cursos d'água, com predomínio de 53,56% de mata nativa e 37,26% de campo.

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Acoustic Doppler Profiler – ADP

O ADP utilizado para os experimentos é fabricado pela empresa americana Sontek YSI. O modelo utilizado no experimento é o *River Surveyor S5*, que possui uma combinação de medição de velocidade pelo efeito Doppler aliada a um conjunto de softwares compatíveis com o sistema *Windows*, permitindo a visualização e coleta de dados em um computador portátil. O software de processamento dos dados é o *River Surveyor Live*. Para o funcionamento do equipamento, é necessária a conexão do módulo de alimentação e comunicação (PCM - *Power and communication module*) ao ADP e pela opção *Bluetooth* se transmite informações do equipamento durante as medições para um computador ou aparelho celular (SONTEK, 2009). A figura 3 ilustra o equipamento durante as medições de vazão na MD IV.



Figura 31 - Travessia com ADP na estação MD IV, durante períodos de cheias.

O software *River Surveyor Live* em sua face de abertura, quando o ADP é deslocado de uma margem a outra apresenta o perfil transversal da seção. Este perfil é composto por inúmeras verticais com registros de velocidades, conforme ilustrado na figura 4-a. Cada vertical é composta por inúmeras células que apresentam tamanhos e registros de ecos variados (figura 4-b). Com o

perfil transversal do rio Vacacai Mirim será possível identificar as verticais e os ecos medidos para comparar com dados de turbidez.

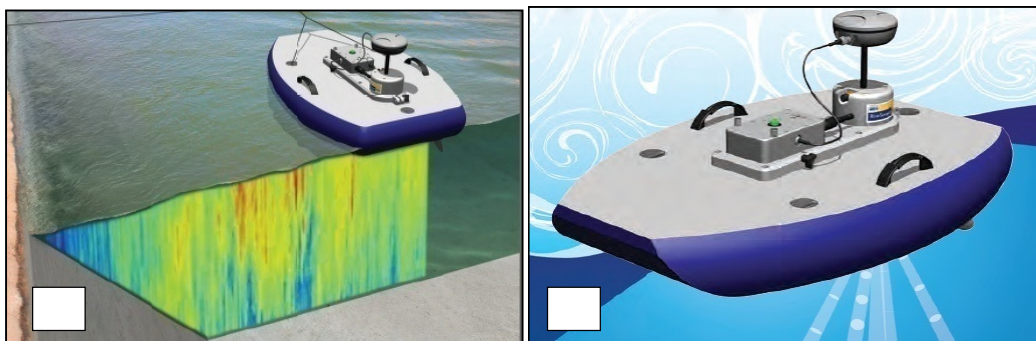


Figura 4 - O ADP em funcionamento: (a) travessia na seção analisada; (b) emissão dos ecos inclinados.

Sonda digital- turbidez

A sonda digital responsável pelo registro de turbidez foi instalada dentro da água, nas proximidades da margem esquerda do rio, distante 1,20 m dessa margem e está localizada à cerca de 0,10 m do leito do rio para superfície. A sonda digital DTS 12 registra de forma programada a turbidez de 10 em 10 minutos e esses dados são armazenados no equipamento chamado de Data logger⁵ HDL-1. Na figura 5 é possível identificar a localização da sonda do turbidímetro, devido à baixa profundidade da lâmina d'água na seção MD IV.



Figura 5 - Localização da sonda do turbidímetro na estação MD IV.

⁵ Equipamento capaz de armazenar leituras realizadas por outros instrumentos de medição desde que estes transmitam a informação de alguma forma (analógica ou digital). Os dados adquiridos são visualizados posteriormente com a utilização de um computador com um software específico de processamento.

Neste estudo, considerou-se em todas as amostragens o posicionamento fixo da sonda a 0,10 m a partir do leito do rio, mesmo que em determinado período chuvoso possibilitasse alguma alteração na profundidade devido à movimentação das pedras no leito. Uma observação importante, a cada período pré-determinado e após os períodos de chuvas, os arquivos com dados de turbidez eram extraídos do equipamento Data logger para um computador e era verificado o estado de conservação da palheta rotativa da sonda (verificação se havia galhos presos, etc.). A palheta rotativa é responsável pela limpeza da lente do sensor a cada 10 minutos.

A sonda DTS-12 possui faixa de medição de 0-1500 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) e uma resolução de 0,01 NTU. Duas etapas básicas foram realizadas para a calibração dos equipamentos, a primeira envolveu a utilização de uma substância padronizada, a Formazina, para o teste dos equipamentos e para confirmar a eficiência do sensor e da estabilidade. Já a segunda consiste na relação de sedimentos em suspensão e a turbidez registrada em campo.

MÉTODOS

Segundo o estudo de Grutka *et al.* (2012) o coeficiente de determinação encontrado entre a CSS e a turbidez na estação MD IV, no rio Vacacaí é satisfatória, com R^2 de 0,997 o que possibilita a investigação da relação turbidez e ecos medidos. Assim, foram correlacionados a turbidez (registro pontual) e os ecos registrados na célula referente à mesma localização da sonda DTS 12. As informações de turbidez registradas pela sonda DTS 12 são armazenadas pelo equipamento Data logger e posteriormente serão relacionadas diretamente com o eco captado pelos transdutores do ADP, resultantes do mesmo ponto. Na figura 6 é possível identificar os ecos captados pelo equipamento em diferentes profundidades.

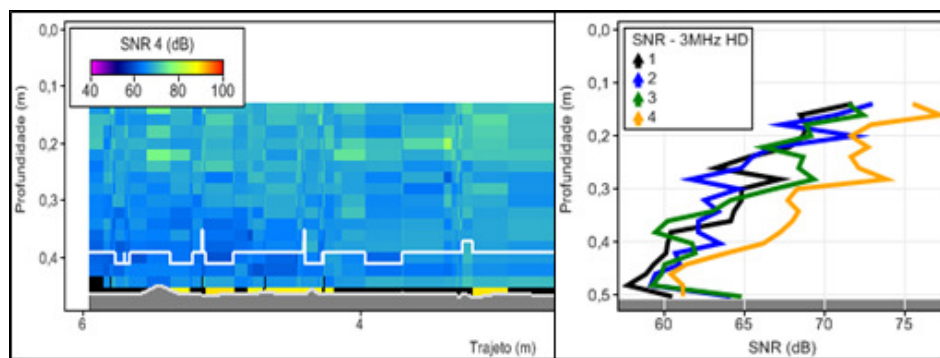


Figura 6- Ecos gravados pelo transdutor 4, durante uma amostragens.

Na figura 7 é ilustrado perfil do rio, a localização da sonda DTS 12, e os dados de registro de ecos pelos ADP.

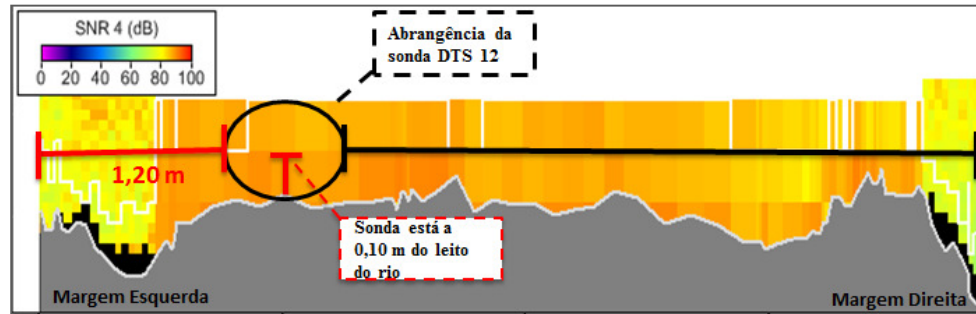


Figura 7- Ilustração da localização da sonda e os feixes acústicos registrados pelo ADP.

Após a aplicação dos cálculos para a estimativa de turbidez, é necessário avaliar a eficiência da conversão utilizada. Baseando-se na razão de discrepância definida por Van Rijn (1984) formou-se a seguinte equação:

$$r = \frac{C_{\text{estimada}}}{C_{\text{medida}}} \quad (1)$$

Sendo:

C_{estimada} é a concentração estimada pela amostragem acústica;

C_{medida} é a concentração medida através de amostragens mecânicas ou ópticas;

A avaliação é feita com base na porcentagem dos resultados obtidos que resultam dentro de uma determinada faixa de variação de r , chamada de fator. A relação entre o fator e a faixa de variação entre C_{estimada} e C_{medida} , esta descrita na tabela 1:

Tabela 1 - Fator e faixa de variação de r conforme Terabe (2003):

r	Fator 1,25	Fator 1,5	Fator 2,0	Fator 3,0	Fator 5
	0,8 a 1,25	0,75 a 1,5	0,5 a 2,0	0,33 a 3,0	0,2 a 5,00

Os pesquisadores Terabe (2003) e Dornelles (2009) aplicaram essas faixas relacionando a proximidade dos resultados entre as concentrações medidas e estimadas. Terabe (2003) considerou somente a faixa do fator 2 como limite entre seus resultados e Dornelles usou os fatores 1,5; 2,0 e

3,0 excluindo uma faixa bem restritiva no caso, o fator 1,25 e a outra bem abrangente, o fator 5. Neste trabalho serão aplicadas as faixas restritivas para as amostragens de eco medido e CSS e também para eco medido e turbidez, os fatores restritivos serão então: 1,5; 2,0; e 3,0.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dados de turbidez e ecos medidos

A partir de quatro medições realizadas com o ADP na estação fluviométrica MD IV, pode-se comparar os valores registrados do eco medido com os valores de turbidez, conforme pode ser observado na tabela 2. Os registros dos dados apresentados são provenientes de períodos distintos, com e sem precipitações, em que é possível verificar os comportamentos distintos de turbidez em relação às cotas.

Tabela 2 - Resultados das medições de turbidez e eco.

Data das medições com ADP e a sonda DTS 12	Altura da Sonda a partir do leito do rio (m)	Profundidade Total registrada pelo ADP (m)	Registros de Turbidez (NTU)	Transdutores (dB)				Média dos Transdutores (dB)
				1º	2º	3º	4º	
22/11/2011	0,1	0,32	10,0	47,3	48,9	50,7	47,4	48,6
	0,1	0,30	9,6	48,6	46,9	45,9	48,9	47,6
	0,1	0,28	9,6	51,8	48,7	47,1	49,8	49,4
	0,1	0,29	8,9	48,8	48,8	48,3	47,3	48,3
	0,1	0,29	8,8	45,9	46,4	44,7	50,8	47,0
24/01/2012	0,1	0,33	71,5	61,0	61,8	61,4	64,2	62,1
	0,1	0,33	60,8	64,1	64,1	63,7	65,2	64,3
	0,1	0,33	60,0	60,0	61,9	61,4	62,0	61,3
	0,1	0,33	38,8	59,6	62,3	60,3	65,8	62,0
30/05/2012	0,1	0,49	50,0	71,0	74,0	68,0	75,0	72,0
	0,1	0,48	53,1	70,0	73,0	71,0	76,0	72,5
	0,1	0,34	53,1	76,0	76,3	76,1	79,6	77,0

Data das medições com ADP e a sonda DTS 12	Altura da Sonda a partir do leito do rio (m)	Profundidade Total registrada pelo ADP (m)	Registros de Turbidez (NTU)	Transdutores (dB)				Média dos Transdutores (dB)
				1°	2°	3°	4°	
	0,1	0,43	50,0	69,0	72,0	69,0	72,0	70,5
	0,1	0,49	53,7	68,0	71,0	71,0	73,0	70,8
	0,1	0,37	48,5	83,1	79,9	70,0	74,0	76,8
	0,1	0,36	51,0	80,1	82,9	79,1	80,0	80,5
	0,1	0,35	47,5	75,9	78,6	77,6	81,1	78,3
	0,1	0,36	47,5	69,2	66,2	64,4	78,2	69,5
	0,1	0,35	47,5	72,2	77,3	79,9	86,8	79,1
	0,1	0,35	47,5	67,0	69,0	66,0	72,0	68,5
02/07/2012	0,1	0,94	12,1	51,4	52,1	55,2	57,9	54,2
	0,1	0,94	14,1	52,8	58,3	49,7	58,0	54,7
	0,1	0,95	45,0	50,5	53,5	57,0	58,6	54,9

Os registros de turbidez variaram entre 8,8 e 71,5 NTU, as variações dos ecos medidos estão entre 47,0 a 80,5 dB e as cotas entre 0,28 e 0,95 m. Na data 30/05/12 foram realizadas várias medições com o ADP e com o turbidímetro, iniciando com as cotas entre 0,49 m e finalizando a medição com cota de 0,35 m (cota de recessão da vazão do rio). Os ecos captados pelo equipamento variaram entre 68,5 e 80,5 dB.

Para esta mesma data, percebe-se de acordo com a recessão volumétrica do rio, que os registros dos ecos medidos também diminuem, indicando que a concentração de sedimentos presentes na água esta influenciando na passagem de luz e o resultando também na diminuição da turbidez. Entre as datas apresentadas, no dia 02/07/2012 foram registradas cotas do rio bem acima das cotas das outras medições, entre 0,94 e 0,95 m. Já os registros de turbidez apresentaram nessas duas cotas, valores bem distintos de 12,1 e 45,0 NTU para uma média de 54,0 dB, sem muita dispersão. Essa diferença é atribuída possivelmente a alguma falha no processo experimental, como a presença de bolhas da água. Ressalta-se que para as demais campanhas, não se observou essa discrepância de valores.

A partir da instalação de sondas de turbidez na estação MD IV no rio Vacacaí Mirim, tornou-se possível registrar a variabilidade temporal dos fluxos de sedimentos suspensos. Entretanto a sonda registra informações de turbidez em um único ponto e pode gerar incertezas de dados, quando estes são estimados para toda a seção, principalmente quando o rio apresenta perfil de velocidades diferentes (MOORE *et al.*, 2011).

Outra observação para esta etapa, sendo ressaltada por Guerrero *et al.* (2011b) que tanto a sonda de turbidez e os transdutores do ADP, sofrem interferências nas coletas de dados quando há presença de bolhas de ar na água. Este fator durante as medições pode afetar diretamente os resultados, o que pode explicar os problemas na avaliação da turbidez no dia 02/07/2012, em que se registraram em cotas semelhantes, valores de turbidez de 12 e 45 NTU.

Equações de ajustes para as amostragens de turbidez

As aplicações dos ajustes para os dados de turbidez diferem da etapa anterior realizada em laboratório para CSS. Neste caso, mantiveram-se todos os dados medidos originais, sem o uso das médias, ou seja, valores de turbidez para uma mesma posição representando a repetição da medição na mesma posição para diferentes intervalos de tempo. Todos os dados obtidos foram ajustados e resultaram em equações para estimar a turbidez em função do eco medido.

O primeiro ajuste apresentado é a equação 2, refere-se ao ajuste linear entre a turbidez e o eco medido apresentado na figura 8-a (R^2 de 0,582):

$$Tu = 1,366 * Eci - 48,23 \quad (2)$$

Sendo:

Tu= Turbidez estimada na célula número i (NTU);

Eci= intensidade do eco correspondente à célula de número i (dB);

A figura 8-a apresenta a equação linear ajustada aos dados de eco medido e de turbidez, também é ilustrada uma linha tracejada indicando o possível comportamento dos dados para valores de turbidez mais altos que aos dados medidos. Já na figura 8-b, pode-se verificar o bom ajuste obtido pela equação quando comparadas a turbidez medida com a calculada em função do eco registrado pelo ADP.

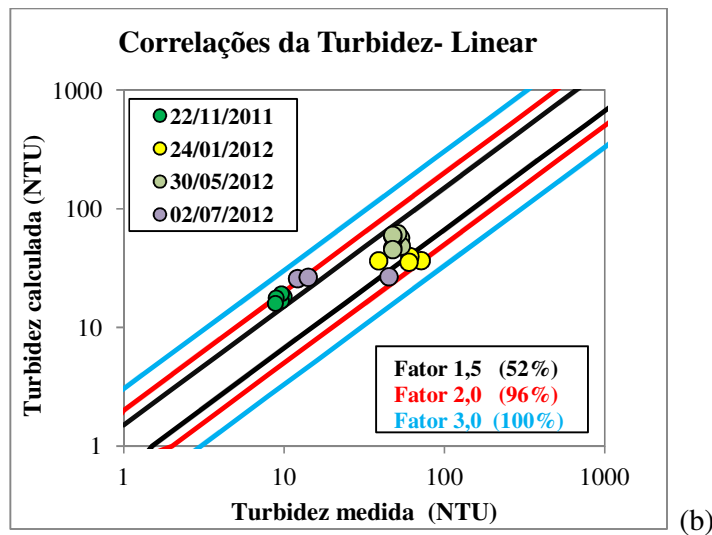
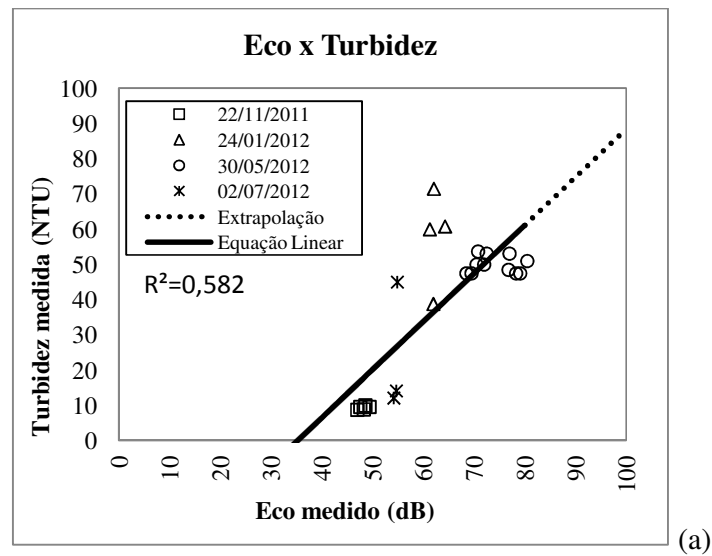


Figura 8 - Curva de ajuste aplicada aos dados (a) ajuste linear (b) correlação dos dados obtidos de turbidez medida e calculada.

Outra equação ajustada para estes dados é a exponencial apresentada na figura 9. A equação exponencial apresentou coeficiente de determinação de 0,670. Esse ajuste exponencial descrito na figura 9-b é exibido na equação 3.

$$Tu = 0,919 * \exp^{0,055 * Eci} \quad (3)$$

Sendo:

Tu= Turbidez estimada na célula número i (NTU);

Eci= intensidade do eco correspondente à célula de número i (dB);

Esta equação permite calcular valores superiores a 100 NTU para a turbidez. A figura 9-a apresenta a aplicação do ajuste exponencial e a figura 9-b a correlação entre a turbidez medida e a calculada.

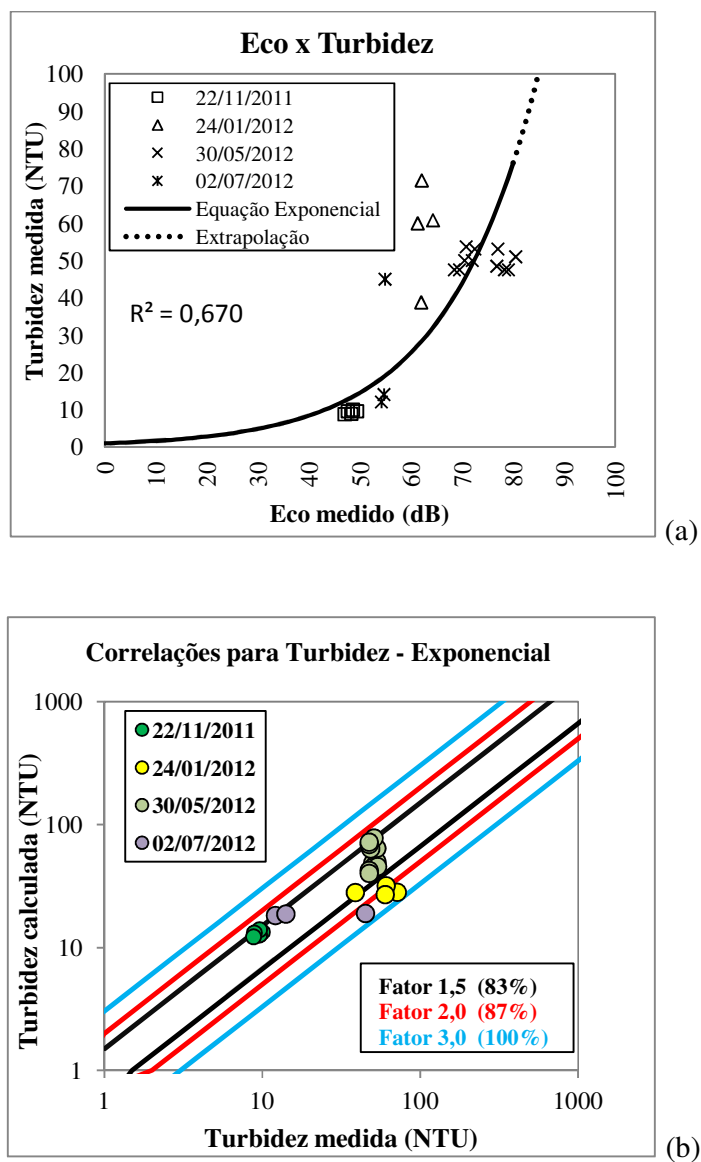


Figura 9 - Curva de ajuste aplicada aos dados (a) ajuste exponencial (b) correlação dos dados obtidos de turbidez verdadeira e calculada.

Os ajustes aplicados aos dados, linear e exponencial, apresentaram boa correlação entre os valores calculados e medidos de turbidez com coeficientes de determinação de 58% e 67% respectivamente. As figuras, 8-a e 9-a apresentam após as curvas, linhas tracejadas para representar as extrapolações acima dos valores máximos medidos para as equações (linear e exponencial). A turbidez máxima registrada para o ajuste linear é 65 NTU e para o ajuste exponencial 80 NTU. Os valores máximos medidos de turbidez em alguns estudos encontram-se entre 80 NTU para Chanson *et al.* (2008) e 130 NTU para Grutka *et al.* (2012), indicando que as equações devem ser aplicadas para determinados valores limitados de turbidez.

As extrapolações (linhas tracejadas) representadas nos gráficos necessitam de investigações mais detalhadas e este fato é reforçado por Moore *et al.* (2011) que relata que em períodos chuvosos ou de inundações, podem ocorrer altas concentrações de sedimentos transportados em rios, indicando a necessidade de mais informações de turbidez para diferentes cotas e concentrações de sedimentos.

A partir das correlações entre a turbidez medida e a estimada, todos os valores permaneceram dentro das faixas de restrições. Para a equação linear, as medições da data de 30/05/2012 estão 100% dos dados na faixa mais restritiva no Fator 1,5. Já para as datas 22/11/2011, 24/01/2012 e 02/07/2012 a turbidez calculada manteve-se em todas as faixas restritivas, com 96% dos dados na faixa do Fator 2,0 e 100% presentes no Fator 3,0. A correlação encontrada para o ajuste exponencial apresenta novamente bons resultados das medições referentes à data de 30/05/2012 e uma média geral de 83% dos valores calculados para o Fator 1,5. A média de correlação para os demais fatores são de 87% para o Fator 2,0 e 100% para o Fator mais abrangente, 3,0.

Guerrero *et al.* (2011b) utilizou-se de um aparato experimental de laboratório para realizar medições com um ADP (eco) e um turbidímetro, para quatro granulometrias e volumes diferentes de areias (finas e grossas) semelhantes as areias do rio Paraná, local onde Guerrero *et al.*, 2011a, iniciou suas pesquisas relacionadas ao tema. Os autores obtiveram bons resultados correlacionando estes valores para dois ADP testados com frequências diferentes. O ajuste e aplicação da equação obtida através dos valores registrados de turbidez possibilitaram reproduzir dados semelhantes aos medidos.

Esta pesquisa verificou boas correlações entre o eco medido e a turbidez (R^2 de 0,582 e 0,670). Isso também foi verificado por Guerrero *et al.* (2011b) com o uso de ADP com diferentes frequências em laboratório e por Chanson *et al.* (2008) para um ADV e medições em campo.

Grutka *et al.* (2012) relacionaram a CSS com a turbidez e obtive através de ajuste linear, um coeficiente de determinação 97%, no rio Vacacaí Mirim na estação MD IV. Nesta mesma estação, este trabalho buscou avaliar a utilização de ecos medidos e os dados de turbidez, apresentando até então, resultados satisfatórios para a correlação do eco medido e turbidez, apesar das poucas amostragens destes equipamentos em um mesmo período, o que instiga a novas pesquisas sobre este tema.

CONCLUSÕES

A segunda etapa investigativa, realizada em condições naturais de escoamento, buscou relacionar as medições com o ADP com a turbidez medido a 0,10 m a partir do fundo da seção do rio Vacacaí Mirim. A partir desta etapa da pesquisa pode-se concluir:

- A correlação entre o eco medido e a turbidez foi satisfatória, verificando-se a tendência de aumento de eco de retorno com o aumento da turbidez;
- Os ajustes das equações entre os dados de turbidez medidos e calculados indicaram a permanência de 96% para equação linear e 87% para exponencial entre as faixas restritivas do Fator 2,0. Significa que a turbidez calculadas a partir do eco não ultrapassam 2 vezes para mais ou menos o valor da turbidez medida, indicando que há relação entre os dados, entretanto há necessidade de maiores investigações.
- A partir destas informações é possível concluir que a comparação do eco medido pelo ADP com a turbidez é bastante promissora. Outros pesquisadores têm avaliado a relação entre a turbidez e a CSS, visando suprimir as coletas de água e sedimento. Os bons resultados encontrados nessa etapa do trabalho indicam que é possível estimar a turbidez, a partir do eco medido.

Assim, pode-se concluir que há indícios de uma relação direta entre o eco e a CSS, já que há estudos com bons resultados da relação entre turbidez e CSS (GRUTKA et al, 2012) e aqui nesse trabalho, se verificou boa correlação também entre eco e turbidez.

Ressalta-se que os resultados apresentados nesse trabalho representam uma contribuição ao estudo voltado a relacionar as medições feitas com o ADP com as CSS, sendo que os dados experimentais obtidos não permitem generalizar um comportamento para estimativa de CSS. Acredita-se que o monitoramento contínuo de uma estação fluviométrica, permitirá a construção de curvas chave que relacionem o eco com turbidez e CSS, válida para esta estação.

BIBLIOGRAFIA

BARBOSA, J. F. *Obtenção de perfis de concentração de sedimentos em suspensão nos rios da bacia amazônica a partir do sinal de retorno acústico (backscattering) de um perfilador doppler acústico de corrente (ADCP)*. 2005. 186 f. Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

BELING, F. A. *Hidrograma de projeto utilizando o Modelo Kinneros 2 em uma pequena bacia de encosta em Santa Maria*. 2010. 73 f. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BELLINASSO, T. B. *Monitoramento hidrossedimentométrico e avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica urbana de encosta*. 2002. 300 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil- Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

BENSI, M. *Aplicação do correntômetro acústico ADCP em ambientes marinhos e estuários do Ceará e Paraíba- nordeste do Brasil*. 2006. 134f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

CARVALHO, M de S. *Investigações sobre um perfilador acústico (ADCP) de faixa larga*. 1999. 118 f. Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Oceânica Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999, 118p.

CARVALHO, N. O; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. *Guia de práticas sedimentométricas*. Agência Nacional de Energia Elétrica- ANEEL. 154p. Brasília, 2000.

CASAGRANDE, L. *Avaliação do parâmetro de propagação de sedimentos do modelo de Williams (1975) na bacia do rio Vacacaí-Mirim com o auxílio de técnicas de geoprocessamento*. 2004. 226 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil- Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CASTRO, C.; BORGES, A. L. de O. *Correntes de turbidez em escala reduzida: caracterização reológica de suspensões compostas*. In: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – ENES, Foz do Iguaçu. Anais... Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Foz do Iguaçu- PR, 2012, 20p.

CHANSON, H.; TAKEUCHI, M.; TREVETHAN, M. *Using turbidity and acoustic backscatter intensity as surrogate measures of suspended sediment concentration in a small subtropical estuary*. Journal of Environmental Management- Elsevier, Australia, v.88, p. 1406-1416, 2007.

CHEN, C. *Power Law os flow resistance in open channels*. Menlo Park- California. United States of America, 1989.

DALBIANCO, L.; RAMON, R.; MINELLA, J. P. G.; BARROS, C. A. P. de; DIDONÉ, E. J.; KOCHER, M. L.; MERTEN, G. H. *Eficiência na estimativa da concentração de sedimentos em*

suspensão por diferentes estratégias amostrais na calibração de turbidímetros. In: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – ENES, Foz do Iguaçu. Anais... Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Foz do Iguaçu- PR, 2012, 19p.

DO VAL, L. A. A.; IDE, C. N.; RIBEIRO, M. L.; GONÇALVES, F. V. *Utilização de sonda de turbidez para a determinação da curva granulométrica de sedimentos finos.* In: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – ENES, Foz do Iguaçu. Anais... Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Foz do Iguaçu- PR, 2012, 14p.

DORNELLES, A. M. *Utilização de um perfilador acústico de correntes por efeito doppler (ADCP) para a estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (CSS).* 2009. 127 f. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental- Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GAMARO, P. E (Organizador). *Curso de medidores de vazão acústica Doppler- Apostila módulo básico.* Agência Nacional de Águas- ANA. Foz do Iguaçu, Paraná. 1ª ed, 40p., 2006.

GAMARO, P. E. M. *Verdades e mitos sobre medição de sedimento em suspensão com medidores acústicos doppler.* Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 8., 2008, Campo Grande-MS. 13p.

GAMARO, P. E. M.; MALDONADO, L. H.; LIMA, K. A. *Medição de carga de fundo pelo método acústico Doppler e aplicação da equação de dunas e rugas, em grandes rios com leito arenoso.* In: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – ENES, Foz do Iguaçu. Anais... Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Foz do Iguaçu- PR, 2012, 15p.

GARTNER, J. W. *Estimation os suspended solids concentrations based on Acoustic Backscatter Intensity: theoretical background.* In: *Turbidity and other sediment surrogates workshop, Proceedings.* Reno, United States of America, 2002.

GOMES, A. da S.; PAULETTO, E.A. *Manejo do solo e da água em áreas de várzea.* 1ª edição Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Clima Temperado. Pelotas/RS, 1999, 201p.

GRISON, F.; KOBIYAMA, M. *Uso do ADCP como ferramenta de apoio no traçado e extrapolação de curva-chave na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte.* 2008. 46 f. Trabalho de conclusão de curso da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2008, 46p.

GRUTKA, L.; ILHA, R.; SCHUCK, A.; RIZZARDI, A. S.; GUERRA, M.; PAIVA, J.B de. *Relação entre turbidez e concentração de sólidos suspensos na bacia hidrográfica contribuinte ao reservatório do rio Vacacaí-Mirim.* In: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – ENES, Foz do Iguaçu. Anais... Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Foz do Iguaçu- PR, 2012, 12p.

GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S da.; BOTELHO, R.G.M (organizadores). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e Aplicação.* 3ª Edição, editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro- RJ, 2007, 340 p.

JUNIOR, P. P. A.; KUWAJIMA, J. I.; MAUAD, F. F. *Erosão: principais tipos, consequências e formas de monitoramento e controle.* In: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos –

ENES, Foz do Iguaçu. Anais... Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Foz do Iguaçu- PR, 2012, 22p.

KOSTASCHUK, R.; SHUGAR, D.; BEST, J.; PARSONS, D.; LANE, STUART, L.; HARDY, R.; ORFEO, O. *Suspended sediment transport and deposition over a dune: Rio Paraná, Argentina*. Earth Surface Processes and Landforms, Wiley Inter Science, Canada, v. 34, p. 1605-1611, jan./mai. 2009.

MANZ, R.E.; SANTOS, I. dos; PAULA, E.V de. *Monitoramento automático do transporte de sedimento em suspensão por meio de turbidímetro de alta performance*. In: IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimento- ENES, Brasília. Anais... Associação Brasileira de Recursos Hidricos: Brasília-DF, 2010, 14 p.

MARCONDES, C. R. *Estudo de descarga sólida em suspensão nos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Sapucaí*. 2011. 78 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Energia-Energia, Sociedade e Meio Ambiente do Departamento de Engenharia de Energia Universidade Federal de Itajubá, Itajubá- MG, 2011.

MERTEN, G. H.; MORO, M.; MINELLA, J. P. G. *Estimativa de fluxo de sedimentos em rios através do uso da curva-chave e do sensor ótico de turbidez*. In: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – ENES, Foz do Iguaçu. Anais... Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Foz do Iguaçu- PR, 2012, 18p.

MOORE, S. A.; LE COZ, J.; HURTHER, D; PAQUIER, A. *On the application of horizontal ADCPs to suspended sediment transport surveys in rivers*. Journal Continental Shelf Research, França, 2011, 14p.

NOAA. *Natinal Oceanic Atmospheric Administration*. United State Departamentos Commerce. Acesso: 07 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.noaa.gov/>

NOGUEIRA, P. F.; CABRAL, J. B.P.; OLIVEIRA, S. F. *Análise da concentração dos sólidos em suspensão, turbidez e TDS nos principais afluentes do reservatório da UHE barra dos coqueiros-GO*. Revista Geonorte, Ed, especial, v. 3, nº 4 p. 485-494, 2012. Consultado: <http://www.revistageonorte.ufam.edu.br> em 01/10/2012.

OLIVEIRA, V. R. L.; RIGO, D. *Calibração de um perfilador acústico de correntes por efeito Doppler para estimação de concentração de material particulado em suspensão: uma aplicação no rio Doce, ES*. In: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – ENES, Foz do Iguaçu. Anais... Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Foz do Iguaçu- PR, 2012, 15p.

PAIVA, E. M. C. D. de; *Métodos de Estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas. (capítulo 13)*, In: *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. PAIVA, J. B. D. de/ PAIVA, E. M. C. D. de (Organizadores). Porto Alegre, ABRH, 2003, 628p.

PEREIRA, M. A. F. *Processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaço temporais no bioma mata atlântica*. 2010. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil- Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

RD. *Instruments. Acoustic Doppler Current Profilers. Principles of operations: a practical primer*. Second Edition. Publ. RDI, San Diego – EUA, 1996, 52 p.

RIOS, F.P.; FORMIGA, K. T. M.; ALVES, P.L.; OLIVEIRA, V.T de. Estudo comparativo entre métodos de medição de vazão em cursos d'água. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos- ABRH, Maceió. Anais... Associação Brasileira de Recursos Hídricos:, Maceió- AL, 2011.

ROTARU, E.; LE COZ, J.; DROBOT, R.; ADLER, M. J.; DRAMA, G. *ADcp measurements os suspended fluxes in banat rivers Romania*. 13p.

SARI, V.; PERREIRA, M. A.; CASTRO, N. M. dos R.; KOBİYAMA, M. *Calibração de sondas de turbidez em laboratório*. In: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – ENES, Foz do Iguaçu. Anais... Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Foz do Iguaçu- PR, 2012, 23p.

SCAPIN, J. *Caracterização do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano na cidade de Santa Maria- RS*. 2005. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil- Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SONTEK/YSI. *Manual do Sistema River Surveyor S5/M9 “Acoustic Doppler Profiler”*. Technical Documentation: 2009.