

Procedimentos para Calibração de Perfiladores Acústicos de Corrente por Efeito Doppler para a Determinação da Concentração de Material Particulado em Suspensão na Água

Alexsandro R. Zaleski, Carlos A. F. Schettini

Centro de Ciências Tecnológicas, da Terra e do Mar – CTTMar/Universidade do Vale do Itajaí
arzaleski@gmail.com; guto@univali.br

Recebido: 10/05/05 revisado: 13/09/05 aceito: 29/03/06

RESUMO

Por mais de uma década os Perfiladores Acústicos de Correntes por efeito Doppler (PACD) vêm sendo comumente utilizados para fazer medições de correntes. Eles fornecem perfis de corrente com excelente resolução temporal e espacial. Nos PACDs convencionais, a amplitude do sinal acústico refletido é armazenada na memória do equipamento para o controle da qualidade dos dados e assim determinar a precisão das medições de velocidade. No entanto, estas informações possuem uma relação direta com a concentração do material particulado em suspensão (MPS) na água, o que faz destes equipamentos potentes ferramentas no monitoramento do MPS. O presente trabalho relata alguns experimentos realizados para calibrar um PACD convencional para se obter informações sobre o MPS na água. Devido ao grande volume de amostragem destes equipamentos, a calibração somente pode ser realizada em campo. O modelo calibrado foi um Aquadopp Profiler® da marca Nortek™, com uma frequência de trabalho de 1 MHz. A calibração do PACD foi realizada no estuário do Rio Itajaí-açu com a utilização de um turbidímetro de retro espalhamento ótico e amostras de água para determinação gravimétrica do MPS. As calibrações demonstraram boa concordância entre as informações coletadas pelo turbidímetro ótico e pelo PACD e foram geradas equações para se converter as informações acústicas coletadas pelo PACD em informações de MPS na água para este estuário.

Palavras-chave: Estuário, Sedimentos, Perfilador Acústico de Correntes por efeito Doppler.

INTRODUÇÃO

A maior parte do material produzido pelo intemperismo das rochas continentais é transportada através dos rios até alcançarem o fundo dos oceanos. Estes materiais consistem de sedimentos finos e grosseiros e materiais dissolvidos, sendo também importante a contribuição antropogênica através de efluentes rurais, domésticos e industriais. A água dos rios carrega os sedimentos para os estuários, e a partir destes para as plataformas continentais, e destas para as bacias oceânicas (UNESCO, 1988).

Material Particulado em Suspensão (MPS) é definido como sendo aquele material que é retido em filtro de micro poros de aproximadamente 0,4 – 0,5 m. Materiais menores são considerados dissolvidos (Eisma, 1993). Quando o MPS é lançado através dos estuários para as plataformas continentais, entra em um ciclo de deposição – ressuspensão –

transporte até sair da região de maior influência da energia de ondas e correntes, com sua deposição em águas mais profundas (Wright & Nittrouer, 1995).

A física associada à dinâmica e ao transporte do MPS é conceitualmente bastante simples: o material permanecerá em suspensão caso a força vertical para cima, causada pela turbulência do meio, seja maior do que a força peso para baixo (Dyer, 1986). Contudo, os processos associados com a formação das partículas são bastante complexos, uma vez que o MPS é constituído de sedimentos inorgânicos finos (argila e silte) e matéria orgânica formando flocos (Eisma, 1986). Os flocos, por sua vez, são grandemente influenciados pela sua composição e por diversos fatores, dentre os quais a composição biogeoquímica da matéria orgânica (Kranck, 1984), mineralogia dos argilo minerais (Postma, 1980) e o grau de turbulência do meio (Burban *et al.*, 1989).

O transporte, deposição e suspensão de sedimentos em rios, estuários e baías são de grande importância para se entender a condição geral destes complexos sistemas. Os sedimentos finos carregam nutrientes e materiais potencialmente tóxicos e o transporte destes indica a maneira pela qual estes materiais são redistribuídos no sistema costeiro (Dyer, 1986). Além disso, a deposição de sedimentos em canais e portos requer dragagens periódicas a fim de se manter estas áreas navegáveis. O primeiro impacto advindo da dragagem é a ressuspensão de sedimentos para a coluna de água, assim a compreensão da dinâmica do MPS também recai na avaliação dos impactos ambientais causados por este tipo de atividade.

TÉCNICAS PARA DETERMINAR A CONCENTRAÇÃO DO MPS NA ÁGUA

Existem quatro métodos principais para se estimar a concentração do MPS em ambientes costeiros: (A) método gravimétrico; (B) método ótico; (C) método acústico e (D) método nuclear (não discutido – ver Eisma, (1993) para detalhes).

Método Gravimétrico

A maneira direta de obter a concentração do MPS na água é através do uso de amostradores de água feitos de materiais inertes (e.g. garrafas de Niskin), seguido de uma análise gravimétrica. Esta análise consiste em filtrar um volume conhecido de água com membranas de micro poros de massa previamente determinada. Após a filtração os filtros são colocados em uma estufa para a retirada de toda a umidade e posteriormente pesados. Sendo a massa do filtro e a massa do filtro com o material filtrado conhecidas, a massa do material presente na amostra é encontrada. Sendo o volume filtrado conhecido, extrapola-se a concentração de MPS com dimensão de massa.volume^{-1} , e.g., mg.l^{-1} .

Este método permite a identificação do material em suspensão, incluindo a composição química, distribuição do tamanho das partículas em suspensão, forma das partículas, e outras propriedades físicas e químicas como densidade dos grãos. Estas análises se dão em laboratório e necessitam de equipamentos especiais além de requererem muito tempo a partir da amostragem até o resultado final. A amostragem em si pode causar perturbação no meio investigado, e geralmente proporciona pouca reso-

lução vertical e temporal. É um método laborioso e tende a mascarar feições de pequena escala devido a grande variabilidade das concentrações do MPS na água (Gartner, 2002). Outra limitação é a necessidade de filtrar grandes volumes em casos de baixa concentração de MPS a fim manter a precisão do método. Apesar de todas estas limitações este método ainda é o mais preciso, e por consequência é o utilizado como referência para calibrar outros equipamentos que medem o MPS indiretamente.

Método Ótico

Instrumentos óticos para se determinar a concentração do MPS como turbidímetros ou nefelômetros, que utilizam o Retro Espalhamento Ótico (REO) e os transmissômetros, que utilizam medições da atenuação da luz, são amplamente utilizados atualmente. O rápido desenvolvimento das tecnologias a laser e instrumentação ótica permitiu a construção de equipamentos relativamente pequenos e com baixo consumo de energia. Isto permitiu fazer medições da concentração do MPS com resolução muito superior às amostragens pontuais através das coletas de água, porém estas últimas ainda se fazem necessárias para a calibração dos sensores óticos.

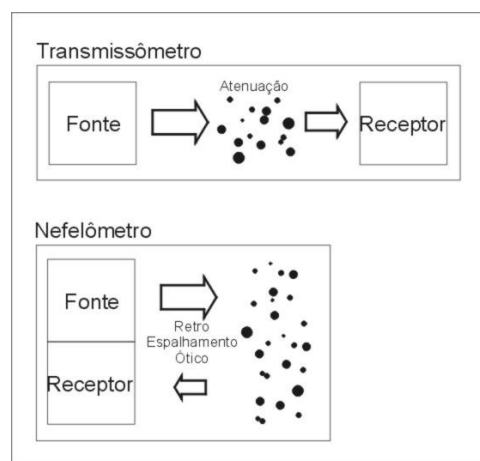


Figura 1 - Desenho esquemático do funcionamento de um transmissômetro e de um turbidímetro de retro espalhamento ótico.

Os transmissômetros medem a perda da intensidade de um feixe de luz em um trajeto determinado, onde o coeficiente de atenuação do feixe de luz alinhado pode ser calculado. Por outro lado, nefelômetros ou turbidímetros de REO medem o

espalhamento da radiação na faixa do infravermelho para um ângulo particular (Figura 1). O espalhamento é função do número, cor e tamanho de partículas em suspensão. A radiação infravermelha é mais utilizada uma vez que é rapidamente absorvida pela água, reduzindo a contaminação pela radiação solar.

Assumindo que a perda da intensidade do feixe de luz e o REO são diretamente relacionados ao MPS, ambos instrumentos podem ser utilizados para se estimar a concentração do MPS na água, uma vez realizada a calibração dos mesmos. Para tanto, as informações coletadas com o equipamento ótico são relacionadas com a concentração de MPS da água determinada através de análise gravimétrica.

Limitações dos métodos óticos

As informações coletadas pelos equipamentos óticos podem não apresentar relação com as concentrações de MPS (Hamilton, 1994). Métodos óticos são afetados pela presença de bolhas de ar, tamanho, forma e composição das partículas (Osborne *et al.*, 1994). Medições realizadas em uma certa área normalmente não possuem relação com medições realizadas em outras áreas. Os sensores estão sujeitos a organismos incrustantes e podem ser sensíveis as radiações solares. Perfis contínuos da concentração do MPS podem ser obtidos descendo e subindo o instrumento na coluna de água. Contudo, isto ainda não fornece resolução temporal suficiente para se verificar processos dinâmicos de ressuspensão em escala de segundos próximo ao fundo. Outro problema é que por se tratarem de sensores intrusivos, geram turbulência que pode degradar a resolução vertical, o que ainda pode ser amplificado devido ao balanço da embarcação. Maa *et al.* (1992), verificaram que um turbidímetro de REO respondeu diferentemente com variações de salinidade, talvez devido aos efeitos de floculação, variações na mineralogia da argila e viram também que o alcance operacional para argilas entre 0-1 g.l⁻¹ era muito menor do que para areias entre 0-20 g.l⁻¹, talvez porque os flocos são melhores refletoras da luz do que areias.

Vantagens dos sensores óticos

Apesar das limitações, os sensores óticos são precisos e confiáveis caso não estejam com incrustantes. São simples de usar e relativamente baratos, o que os torna bastante difundidos para se obter medições indiretas de MPS na água.

Alcance das medições óticas do MPS

Valores extremamente altos de MPS têm sido inferidos usando-se instrumentos óticos, embora em escalas temporais baixas e com baixa precisão (Hamilton *et al.*, 1998). Nittrouer *et al.* (1986), usaram transmissômetros para inferir concentrações de MPS da ordem de 544 mg.l⁻¹, baseados em calibrações de laboratório com lama do Rio Amazonas. Resoluções consideradas “boas”, com diferenças inferiores à 25% das amostras de água, foram obtidas até concentrações de 100 mg.l⁻¹, sendo que a partir destas concentrações os instrumentos não eram mais sensíveis o suficiente. Kineke & Sternberg (1992) utilizaram um turbidímetro miniatura para medir concentrações de 0-320 g.l⁻¹ em lama fluida na plataforma do Rio Amazonas. A resposta era aproximadamente linear para MPS < 10 g.l⁻¹, e aumentava exponencialmente para MPS > 36 g.l⁻¹. Alguns resultados diferenciaram-se bastante das calibrações, talvez devido aos sensores que se incrustaram de lama fluida. A não linearidade e a incrustação causam ambigüidades que podem somente ser resolvidas através de calibrações *in situ* para cada caso (Hamilton *et al.*, 1998).

Método Acústico

Os turbidímetros de Retro Espalhamento Acústico (REA) consistem de sensores remotos, não intrusivos, que possibilitam estimar perfis de MPS na água com alta resolução espacial e temporal. O uso de técnicas acústicas para se monitorar sedimentos em suspensão possivelmente foi realizado primeiramente por Jansen (1978, *apud* Hamilton *et al.*, 1998), onde o objetivo era detectar o movimento de seixos através do som produzido pela colisão dos grãos. Este método passivo forneceu informações quantitativas limitadas sobre as concentrações, mas poderiam ser utilizados para se examinar o começo do movimento dos sedimentos, e alertar para o acionamento de outros equipamentos, e.g., fotografia. Técnicas ativas onde se enviam pulsos acústicos à coluna da água atualmente nos permitem estimar as concentrações do MPS através do Retro Espalhamento Acústico (REA).

PACD

O Perfilador Acústico de Correntes por efeito Döppler (PACD) consiste em um sensor remoto desenvolvido para medir correntes. Uma de suas principais vantagens é que com este equipamento é possível obter um perfil das correntes em vários

estratos da coluna de água, resultando em informações com excelente resolução espacial e temporal (Figura 2).

Os PACDs medem a velocidade da água através de um princípio físico chamado efeito Doppler acústico. Este afirma que se uma fonte sonora está em movimento em relação a um receptor, a frequência do som no receptor é diferente daquela emitida pela fonte sonora. A maioria dos PACDs disponíveis no mercado possuem transdutores monostáticos, ou seja, o mesmo transdutor emite e recebe o sinal acústico. Desta forma o movimento percebido por estes equipamentos não será do transdutor ou receptor, e sim do agente refletor do som. O som não é refletido pela água em si, mas por partículas suspensas nela. Estas partículas podem ser sedimentos, organismos vivos como fito ou zooplâncton e ainda bolhas de ar (Sontek, 1997).

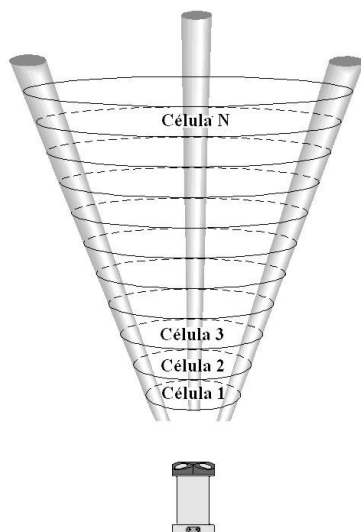


Figura 2 - Desenho esquemático das células de medição de um PACD. (modificado de Sontek, 1997)

Quando um PACD usa múltiplos feixes acústicos apontados em direções diferentes, ele consegue perceber diferentes componentes da velocidade. Por exemplo, se o PACD aponta um feixe para o leste e outro para o norte, ele irá medir as componentes leste e norte das correntes. Se o PACD aponta os feixes em outras direções, relações trigonométricas podem converter a velocidade das correntes em componentes norte e leste (RD Instruments, 1996).

PACD e o Material Particulado em Suspensão

Inicialmente os PACDs foram desenvolvidos para medir a velocidade das correntes, porém eles também podem fornecer informações sobre a quantidade e o tipo do material presente em suspensão na água. Nos PACDs convencionais, a amplitude do sinal acústico refletido é armazenada na memória do equipamento para o controle da qualidade dos dados e assim determinar a precisão das medições de velocidade. No entanto, estes dados possuem uma relação direta com a concentração do MPS na água, entre as concentrações de 1 até 10000 mg.l⁻¹ segundo um fabricante (Nortek, 2001).

Os primeiros estudos utilizando turbidímetros de Retro Espalhamento Acústico (REA) para estimar concentração de MPS geraram resultados qualitativos, e.g., Hess & Bedford (1985), Flagg & Smith (1989) e Heywood *et al.* (1991). Experimentos de laboratório objetivando calibrar sistemas acústicos para medir concentração de sedimento em suspensão foram realizados por Thorne *et al.* (1991). Thevenot *et al.* (1992) *apud* Gartner, (2002), desenvolveram parâmetros de calibração como parte de um estudo para o monitoramento do material dragado próximo a praia de Tylers – Virginia, EUA, a partir de um PACD banda Larga. Holdaway *et al.* (1999) em seu estudo compararam o método ótico com o método acústico, utilizando um PACD de 1 MHz e um transmissômetro. Flagg & Smith (1989) relacionaram o REA de um PACD instalado no fundo marinho com a concentração de zooplâncton na coluna de água. Heywood *et al.* (1991) estimaram a abundância de zooplâncton a partir de um PACD instalado numa embarcação e Zhu *et al.* (2000) e Kaneda *et al.* (2002) ainda verificaram o ciclo diário de migração vertical na coluna de água realizado pelo zooplâncton no Japão. Segundo Gartner (2002), estudos recentes como, por exemplo, Byrne & Patino (2001), Land & Jones (2001) e Gartner & Cheng (2001), descrevem técnicas para estimar séries temporais de MPS a partir de PACDs convencionais disponíveis no mercado. Alvarez & Jones (2002) demonstram em seu estudo a versatilidade de um PACD convencional, observando os componentes hidrodinâmicos que influenciam no fluxo de sedimento em suspensão no golfo da Califórnia.

Limitações do PACDs

A maior parte dos PACDs convencionais é mono frequência, ou seja, possuem uma única frequência de trabalho, (e.g. 1 MHz, 3 MHz, 5 MHz),

o que implica em algumas limitações quando se deseja obter informações sobre o MPS na água. Segundo Gartner (2002), a utilização de sistemas acústicos mono frequência para se estimar MPS possui duas limitações. A primeira é uma limitação comum a qualquer instrumento mono frequência (ótico ou acústico). Estes equipamentos não conseguem distinguir entre a variação no tamanho das partículas e na concentração do MPS. Desta forma, mudanças na distribuição do tamanho das partículas em suspensão podem ser interpretadas como mudanças na concentração do MPS. A segunda limitação é associada à relação entre a frequência do equipamento e a distribuição do tamanho das partículas. Para um certo tamanho de partícula, frequências acústicas distintas apresentam diferentes sensibilidades. O pico de sensibilidade é verificado quando $k \cdot a = 1$, onde “k” é o número de onda acústica ($2\pi/\lambda$) e “a” é o raio da partícula. A tabela 1 mostra o tamanho de partícula onde ocorre o pico de sensibilidade para as frequências comuns de trabalho dos PACD’s convencionais. A partir desta limitação, PACD’s com uma certa frequência são apropriados para trabalhar em um certo intervalo de tamanho de partículas. Por exemplo, para um sistema de 1,2 MHz, diâmetros de partículas de 400, 40 e 4 μm correspondem a razões “circunferência / comprimento de onda” de 1, 0,1 e 0,01 respectivamente. Assim este sistema acústico é mais apropriado para distribuições de tamanho de partículas da ordem de dezenas até centenas de micrômetros (Gartner, 2002).

Tabela 1 - Tamanho de partícula onde ocorre o pico de sensibilidade para as frequências comuns de trabalho dos PACDs mono frequência convencionais (Nortek, 2001).

Frequência (MHz)	Diâmetro da partícula para $k \cdot a = 1$
10,0	50 μm
3,0	160 μm
1,5	320 μm
0,5	960 μm

Além destas duas limitações deve também ser considerada a questão das camadas superficiais. Estas camadas sofrem diretamente a influência de ventos e ondas, o que faz com que nelas exista uma grande concentração de bolhas de ar. Estas bolhas, tal como outros materiais em suspensão, também refletem o som proveniente de equipamentos como os PACDs, gerando assim informações incertas sobre

a concentração do MPS nestas camadas (Libicki *et al.*, 1989 *apud* Hamilton *et al.*, 1998).

Vantagens do TREA

A principal vantagem em se utilizar um turbidímetro de REA é a resolução espacial e temporal obtida. Em regiões costeiras, eles podem fornecer perfis de praticamente toda a coluna de água com excelente resolução temporal e espacial, além de não serem intrusivos. Informações sobre velocidade de correntes também são obtidas sem a necessidade de um sensor extra no caso de PACDs convencionais. Certos instrumentos possibilitam verificar a localização do fundo quando montados a uma embarcação, ou a superfície quando fundeados. Na possibilidade de utilizar sensores multi frequências, é possível estimar o tamanho médio de grão (Battisto, 2000).

MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo Nortek (2001), para obter informações sobre MPS na água, as informações acústicas devem antes sofrer algumas correções. Estas correções envolvem os seguintes passos:

- I. Transformar os dados de amplitude acústica de “contagens” (unidade logarítmica interna do equipamento) para potência sonora em decibéis (dB).
- II. Normalizar os dados, ou seja, torná-los independente da profundidade em que foram coletados.

I. A amplitude acústica armazenada pelo PACD está na unidade de “contagens”, e o fator escalar para a transformação em dB corresponde a 0,43. Existe também a necessidade de subtrair o valor de ruído do equipamento “r”. Assim, a amplitude corrigida (Amp_c) fica:

$$Amp_c = 0,43(Amp - r) \quad (1)$$

Onde “Amp” é o parâmetro gravado na memória do PACD e “r” a intensidade de ruído do mesmo, sendo r o valor de Amp enquanto o equipamento opera no ar.

II. Para normalizar os dados e deixá-los independentes da profundidade que foram coletados é necessário adicionar os termos de dispersão geométrica à amplitude corrigida.

Deste modo, a amplitude acústica corrigida, aqui chamada de Retro Espalhamento Acústico (REA) fica:

$$REA = Amp_C + 20 \log_{10}(R) + 2 \alpha_w(R) + \dots + 20R \int \alpha_p dr \quad (2)$$

Onde R é a distancia ao longo do feixe acústico ($z/\cos(25^\circ)$), sendo que 25° é a inclinação do feixe acústico em relação à vertical, α_w é a absorção pela água em dB.m^{-1} e α_p é a atenuação por partículas em dB.m^{-1} .

O segundo termo a esquerda da igualdade é a correção geométrica da forma cônica do feixe acústico. O terceiro corrige o efeito da absorção da energia acústica na água, e é função da frequência do som, salinidade e pressão (Tabela 2). O quarto termo é a correção pela absorção pelas partículas, sendo normalmente ignorado (Nortek, 2001). Segundo Thorne et al. (1993 *apud* Alvarez & Jones, 2002) em concentrações baixas até 100 mg.l^{-1} a atenuação por partículas é desprezível.

Tabela 2 - Valores da absorção da energia acústica “ α ” através da água para diferentes frequências e salinidades (Nortek, 2001).

Frequência (MHz)	α (dB/metro) Sal = 0 psu	α (dB/metro) Sal = 35 psu
10,0	26,9	26,9
3,0	2,4	2,9
1,5	0,6	0,7
0,5	0,07	0,14

Depois de corrigidos os dados acústicos podem ser utilizados para se monitorar o MPS. Para transformar o REA em decibéis (dB) para concentração de MPS (mg.l^{-1} ou kg.m^{-3}) deve ser realizada uma série de calibrações. Estas calibrações podem ser simplesmente coletar amostras de água sobre o perfilador acústico em operação e depois relacionar diretamente os valores obtidos de MPS com os da-

dos acústicos processados (Thorne *et al.*, 1991; Holdaway *et al.*, 1999; Alvarez & Jones, 2002). Outra forma de fazer esta calibração é através da utilização de um turbidímetro ótico (transmissômetro ou nefelômetro) (Geyer *et al.*, 2001; Alvarez & Jones, 2002). A vantagem de se utilizar um turbidímetro ótico é que com ele é possível fazer perfis de toda a coluna de água obtendo um maior número de amostras com menor esforço.

Os turbidímetros de REO encontrados no mercado (e.b., D&ATM, SeaPointTM, etc.) fornecem os dados de turbidez da água em Unidade de Turbidez de Formazina (FTU: *formazin turbidity unit*) ou similarmemente Unidade de Turbidez Nefelométrica (NTU: *nephelometric turbidity unity*). Para converter estas unidades em valores de MPS (mg.l^{-1}) é necessário uma segunda calibração, na qual são obtidos pares de dados com o turbidímetro e de amostras de água para análise gravimétrica. Na sequência as informações do turbidímetro e de MPS das amostras de água são cruzadas para ajustar uma reta de calibração. Para concentrações até da ordem de 500 mg.l^{-1} comumente a resposta do sensor é linear com a concentração.

Calibração do Turbidímetro de Retro Espalhamento Ótico

Vinte amostras de água foram coletadas com um amostrador tipo Van Dorn na região costeira próxima a foz do estuário do Rio Itajaí-açu a 0,5 metro de profundidade, com medição simultânea com um turbidímetro de REO. O turbidímetro de REO utilizado neste trabalho é do marca *SeaPointTM* acoplado a uma sonda tipo CTD (acrônimo do inglês Conductivity, Temperature, Depth) modelo *SD 204* da marca *SAIV/ASTM*.

As informações de turbidez da água (REO) foram cruzadas com as informações de concentração de MPS obtidas a partir da análise gravimétrica das amostras de água coletadas, resultando numa equação linear (Nieves, 2004, Equação 3). A partir desta equação as informações de REO foram convertidas em informações de MPS na unidade de mg.l^{-1} .

$$MPS = 3,2410 + 2,3847 REO \quad (r^2 = 0,97) \quad (3)$$

Calibração do PACD Nortek Aquadopp Profiler

Os dados utilizados foram coletados no Rio Itajaí-mirim, afluente do Rio Itajaí-açu, como parte de um estudo da intrusão da cunha salina neste

afluente. No dia 26 de agosto de 2003 um PACD modelo *Aquadop Profiler*® de 1 MHz da marca *Nortek*™, foi fundeado no talvegue do canal do Rio Itajaí-mirim. O PACD foi configurado para coletar informações de correntes a cada 0,3 m da coluna de água, fazendo médias de 2 minutos a 1 Hz, em intervalos de meia hora. A sonda CTD com turbidímetro de REO acoplado foi configurada para coletar informações de salinidade, temperatura e turbidez da água a cada segundo. Com ela foram feitos perfis da coluna de água em vários pontos amostrais espalhados pelo rio, onde um destes pontos coincidia com o fundeio do PACD. Posteriormente, em ambiente MatLab, as informações coletadas pela sonda CTD foram convertidas de intervalos de tempo para intervalos de profundidade de 0,5 metro através de informações de pressão.

Devido à amostragem em diversos pontos, os perfis com o CTD sobre o PACD nem sempre coincidiram, havendo um lapso entre a coleta pelo PACD e o perfil de CTD, chegando até a 15 minutos. Outra correção de amostragem necessária é em relação ao referencial de nível na coluna de água entre os equipamentos. O PACD estava fundeado, tendo como referencial o fundo, e a sonda CTD tem como referencial a superfície, pois obtém informações de profundidade das amostras através do sensor de pressão. Desta forma, foram selecionados os perfis mais próximos no tempo, e através das informações de nível de maré durante a campanha (Figura 3), foram determinados os pares de informações entre o PACD e o REO. Posteriormente os dados foram interpolados gerando uma malha amostral igual para as informações do PACD e do TREO.

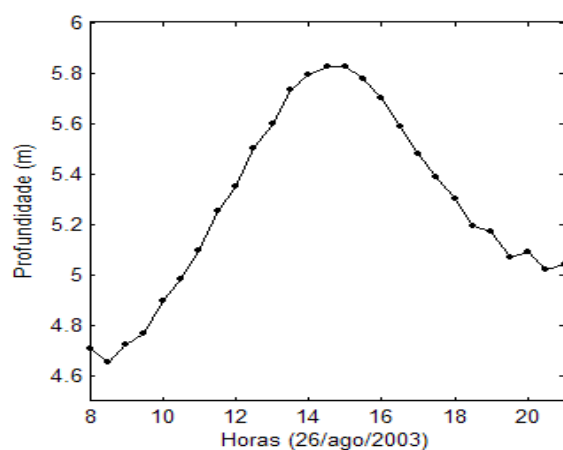


Figura 3 - Variação do nível da maré de sizígia durante o experimento no Rio Itajaí-mirim

As informações da camada superficial de 1,5 m de coluna de água foram excluídas devido aos efeitos de superfície, como ondulações e bolhas. Com os pares de dados acústicos e óticos equivalentes no tempo e no espaço, as informações foram cruzadas, gerando uma curva de calibração não linear (Figura 4), dada por

$$REO = 148,23 - 7,61 REA + 0,10 REA^2 \quad (r^2 = 0,86) \quad (4)$$

Após a calibração os dados acústicos do PACD foram transformados da unidade de potência sonora em dB para seu equivalente em turbidez em FTU (Equação 4), e posteriormente para concentração de MPS em mg.l⁻¹ utilizando a Equação 3. A Figura 5 apresenta a variação espaço-temporal do MPS no Rio Itajaí-mirim onde se pode notar a concordância satisfatória entre os resultados obtidos através do TREO e do PACD.

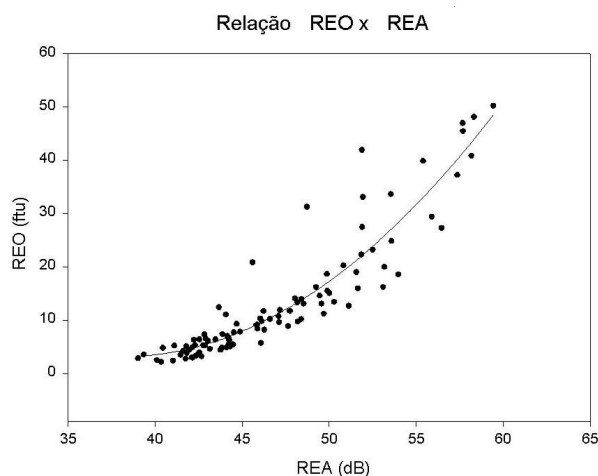


Figura 4 - Relação entre o REO obtido pelo TREO e o REA obtido pelo PACD Nortek Aquadop Profiler.

Calibração do PACD Sontek ADP

A calibração do PACD Sontek ADP foi realizada através de uma campanha ao longo do estuário do rio Itajaí-Açu, uma vez que este instrumento opera com visada para baixo a partir da embarcação. Em intervalos de distância de 1,5 Km foram realizadas aquisições simultâneas de TREO através da sonda CTD e de TREA através do PACD. Este último foi configurado para perfazer médias de 10 segundos à uma taxa de 2 Hz, com uma resolução vertical de 0,5 m.

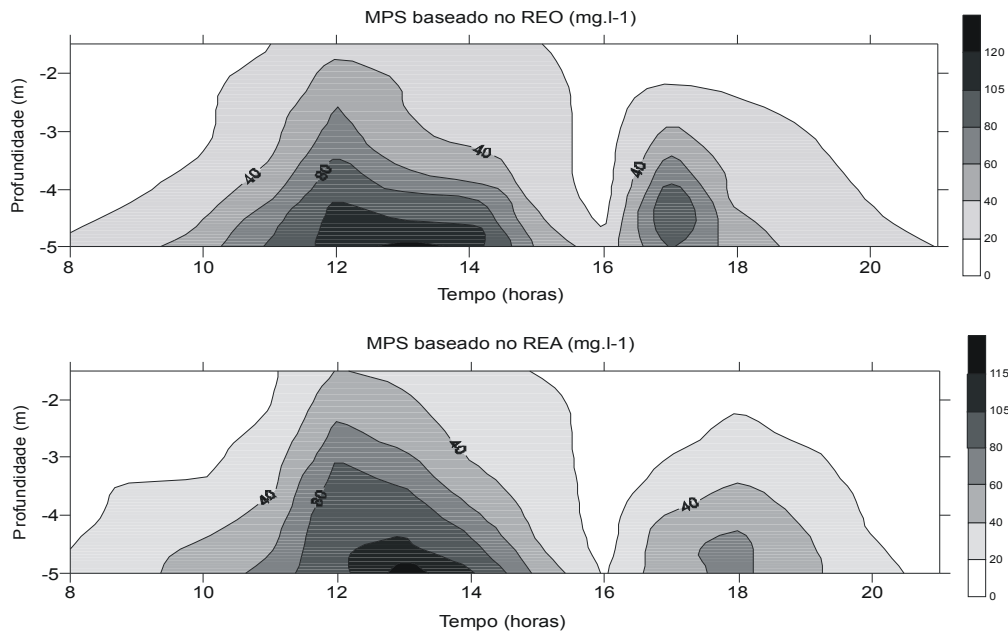


Figura 5 - Variação vertical/temporal da concentração do MPS no estuário do Rio Itajaí-mirim estimadas através do REO (em cima) e de REA (em baixo).

Diferente do processamento utilizado na calibração do PACD Nortek, ambos os instrumentos tem a superfície da água como referência. Uma vez que obtiveram amostras simultâneas, basta realizar uma interpolação dos perfis verticais de TREO e TREA para obtenção dos pares sinóticos.

A relação de turbidez a partir do REO em função do REA obtida neste experimento é apresentada na Figura 6. Esta relação foi melhor expressa pela equação.

$$REO = 5,5 \cdot 10^{-4} e^{0,1497 REA} \quad (r^2 = 0,70) \quad (5)$$

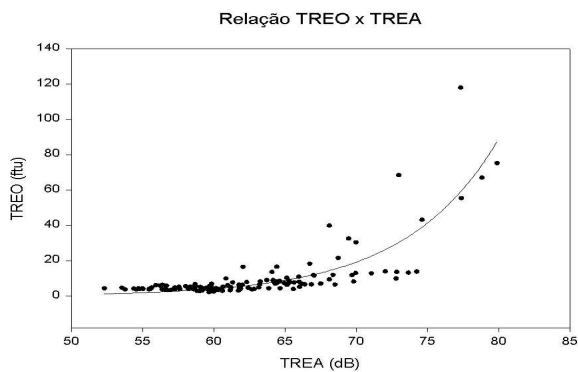


Figura 6 - Relação entre o REO obtido pelo TREO e o REA obtido pelo PACD Sontek ADP.

O coeficiente de explicação foi menor do que o obtido para a calibração do PACD Nortek. Isto é causado principalmente para valores de REA acima de 65 dB, quando passa a haver um maior espalhamento dos pontos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresenta um experimento para calibração de um PACD convencional para a obtenção de informações sobre a concentração de MPS na água em regiões estuarinas. O PACD se mostrou uma potente ferramenta na determinação e monitoramento do MPS na água, apresentando informações com excelente resolução espacial e temporal, além de fornecer informações de velocidade e direção de corrente.

A calibração realizada demonstrou boa concordância entre as informações de REO, obtidos através de um turbidímetro, e de REA, obtido pelo PACD. Além disso, a confiabilidade das estimativas pode ser aumentada com o emprego de informações sobre a distribuição do tamanho das partículas e coeficientes iterativos de atenuação por partículas em casos de altas concentrações de MPS.

Este trabalho teve um caráter preliminar para avaliar a confiabilidade da técnica de monito-

ramento do MPS na água através de PACDs. Os resultados obtidos são encorajadores para o aprimoramento dos procedimentos de calibração, os quais uma vez satisfatórios, permitirão obter novos níveis da compreensão da dinâmica de sedimentos em suspensão.

REFERÊNCIAS

- Alvarez, L. G. and Jones, S. E., 2002. Factors Influencing Suspended Sediment Flux in the Upper Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54, pp. 747-759.
- Battisto, G. M., 2000. Field measurement of mixed grain size suspension in the nearshore under waves. Master thesis, The Faculty of the School of Marine Science/The College of William and Mary in Virginia, 88p.
- Burban, P. Y., Lick, W., Lick, J., 1989. The flocculation of fine-grained sediments in estuarine waters. *Journal of Geophysical Research*, 94(C6) pp.8323-8330.
- Byrne, J. B. and Patino, E., 2001. Feasibility of using acoustic and optical backscatter instruments for estimating total suspended solids concentrations in estuarine environments. *Proceedings: 7th Fed. Interagency Sed. Conf.*, Reno, NV, p III-135-III138.
- Dyer, K. R., 1986. Coastal and estuarine sediment dynamics. New York, John Wiley and Sons, 342p.
- Eisma, D., 1986. Flocculations and de-flocculation of suspended matter in estuaries. *Netherlands Journal of Sea Research*, 20(1/3) pp. 183-199.
- Eisma, D., 1993. Suspended Matter in the aquatic environment. New York, Springer-Verlag, 315p.
- Flagg, C. N., and Smith, S. L., 1989. On the use of acoustic Doppler current profiler to measure zooplankton abundance. *Deep-Sea Research.*, Vol 36, No.3, pp. 455-474.
- Gartner, J. W., and Cheng, R. T., 2001. The promises and pitfalls of estimating total suspended solids based on backscatter intensity from acoustic Doppler current profilers. *Proceedings: 7th Fed. Interagency Sed. Conf.*, Reno, NV, p III-119-III126.
- Gartner, J. W. 2002. Estimation of suspended solids concentrations based on acoustic backscatter intensity: Theoretical background. *Turbidity and Others Surrogates Workshop*, april30 - may2nd, 2002, Reno, NV.
- Geyer, W. R., Woodruff, J. D., Traykovski, P., 2001. Sediment Transport and Trapping in the Hudson River Estuary. *Estuaries*, Vol. 24, No.5, pp. 670-679.
- Hamilton, L. J., 1994. Turbidity in northern Great Barrier Reef lagoon in the west season, march 1989. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 45, pp. 585-615.
- Hamilton, L. J., Shi, Z., Zhang, S. Y., 1998. Acoustic backscatter measurements of estuarine suspended cohesive sediment concentration profiles. *Journal of Coastal Research*, 14(4), pp. 1213-1224.
- Hess, F. R., and Bedford, K. W., 1985. Acoustic backscatter system (ABSS): the instrument and some preliminary results. *Marine Geology*, 66, pp.357-379.
- Heywood, K. J., Scrope-Howe, S., Barton, E. D., 1991. Estimation of zooplankton abundance from ship-borne ADCP backscatter. *Deep-Sea Research*, Vol 38, No.6, pp. 677-691.
- Holdaway, G. P., Thorne, P. D., Flatt, D., Jones, S. E., Prandle, D., 1999. Comparison between ADCP and transmissometer measurements of suspended sediment concentration. *Continental Shelf Research*, 19, pp. 421-441.
- Kaneda, A., Takeoda, H., Koizumi, Y. 2002. Periodic Occurrence of Diurnal Signal of ADCP Backscatter Strength in Uchiumi Bay, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55, pp. 323-330.
- Kineke, G. C., Sternberg, R. W., 1992. Measurements of high concentration suspended sediment using the optical backscatterance sensor. *Marine Geology*, 108, pp. 253-258.
- Kranck, K., 1984. The role of flocculation in the filtering of particulate matter in estuaries. In: Kennedy, V. S. (Ed.) The estuary as a filter. New York, Academic Press, pp. 159-175.
- Land, J. M., and Jones, P. D., 2001. Acoustic measurement of sediment flux in rivers and near-shore waters. *Proceedings: 7th Fed. Interagency Sed. Conf.*, Reno, NV, p III-127-III134.
- Maa, J. P. Y., Xu, J. P., Victor, M., 1992. Notes on the performance of an Optical backscatter sensor for cohesive sediments. *Marine Geology*, 104, pp. 215-218.
- Nieves, F., 2004. Relatório da Calibração do Sensor de Turbidez Seapoint do CTD-SD 204. Laboratório de Oceanografia Física, CTTMar/UNIVALI. Itajaí.
- Nittrouer, C. A., Curtin, T. B., DeMaster, D. J., 1986. Concentration and flux of suspended sediment on the Amazon continental shelf. *Continental Shelf Research*, 6, pp. 151-174.
- Nortek Technical Notes, 2001. Monitoring Sediment Concentration with Acoustic Backscattering Instruments. *Nortek technical note* No. 003. 5p.
- Osborne, P. D., Vincent, C. E., Greenwood, B., 1994. Measurements of suspended sand concentration in the nearshore: field intercomparison of optical and acoustic backscatter sensors. *Continental Shelf Research*, 14, pp. 159-174.

- Postma, H., 1980. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. In: Olausson, E., Cato, I. (Eds.) Chemistry and biogeochemistry of estuaries. New York, John Wiley and Sons, pp. 153-232.
- RD Instruments, 1996. Acoustic Doppler Current Profiler, Principles of operation: A practical primer. *RD Instruments*, San Diego, CA, USA, 54p.
- Sontek Technical Notes, 1997. Acoustic Doppler Profiler (ADP) principles of operation. *Sontek Inc.*, San Diego, CA, USA, 12p.
- Thorne, P. D., Vincent, C. E., Hardcastle, P. J., Rehman, S., Pearson, N., 1991. Measuring suspended sediment concentrations using acoustic backscatter devices, *Marine Geology*, 98, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 7-16.
- UNESCO. 1988. River inputs to ocean systems: status and recommendation for research. *Unesco Technical Papers in Marine Science*, No. 55. 25p.
- Wright, L. D. & Nittrouer, C. A., 1995. Dispersal of river sediments in coastal seas: six contrasting cases. *Estuaries*, 18(3) pp. 494-508.
- Zhu, Xiao-Hua, Takasugi, Y., Nagao, M., Hashimoto, E. 2000. Diurnal Cycle of Sound Scatters and Measurements of Turbidity Using ADCP in Beppu Bay. *Journal of Oceanography*, 56, pp. 559-565.

ADCP Calibration Procedures To Determine Suspended Particulated Matter Concentration In Water

ABSTRACT

Standard ADCPs record the amplitude of the reflected acoustic signals to allow verification of the accuracy of velocity measurements. This information is directly related to the concentration of Suspended Particulated Matter (SPM) in the water column, and ADCPs become powerful tools to monitor SPM concentrations. The present work describes a few experiments to calibrate a standard ADCP to estimate SPM concentration in the water. The calibrations were performed in Itajaí-Açu river estuary with an Optical Backscattering System (OBS). The OBS was calibrated to also measure SPM concentration in this estuary, through water samples followed by gravimetric analyses. The calibrations showed good agreement between the information obtained by the OBS and by the ADCP, despite frequency and particle size limitations. Equations to convert acoustic information obtained by the ADCP into SPM information were written for this estuary.

Key-words: Estuary, Sediments, ADCP.