

## Uso de um ADCP para Estimar Concentrações de Material Particulado em Suspensão para o Estuário da Lagoa dos Patos, Brasil

Rafael André Ávila\*, Osmar Olinto Möller Jr\*, Mauro Michelena Andrade\*

rafaelandreavila@gmail.com; dfsomj@furg.br; mauromichelena@yahoo.com.br

Recebido: 02/09/13 - revisado: 20/10/13 - aceito: 13/01/14

### RESUMO

Estuários, por definição, são sistemas costeiros bastante complexos. A conexão com o oceano e todos os efeitos relacionados com esta característica realçam a importância do estudo e conhecimento desses sistemas. O material particulado em suspensão (MPS) é um elemento importante existente na circulação estuarina, cuja distribuição é totalmente dependente da hidrodinâmica e tem relação direta com diversos aspectos na circulação estuarina. Neste trabalho foi aplicada uma metodologia de conversão do retroespalhamento do sinal acústico de um ADCP SONTEK de 1,5 MHz de frequência em concentrações de MPS para a área estuarina da Lagoa dos Patos, uma laguna de grande extensão localizada no sul extremo sul do Brasil. Os dados foram coletados por sete cruzeiros realizados na área de estudo de fevereiro a outubro de 2012. Os resultados mostraram uma boa correlação obtida no processo de calibração ( $r^2 = 0,75$ ) e uma boa concordância entre os dados *in situ* e os dados estimados. No entanto, na correlação entre as séries *in situ* e estimadas pela reta de calibração ( $r^2 = 0,66$ ) foi observado um melhor ajuste para concentrações mais baixas. Esse problema foi devido a procedimento de calibração pontual (falta de um instrumento óptico para calibração) e a dinâmica e distribuição do MPS na área de estudo durante o período das amostragens. Além disso, a equação de conversão obtida foi aplicada em dados acústicos coletados em um levantamento de curta duração realizado em 2010 na área de estudo com o mesmo ADCP, com o objetivo de se calcular taxas de exportação de MPS. Os resultados demonstraram boa concordância com os perfis de velocidade do ADCP, mas o problema relativo à calibração produziu alguns dados espúrios (concentrações muito elevadas de MPS). Em conclusão, este estudo produziu bons resultados para a área de estudo, mas de forma a aprimorar os resultados obtidos uma pesquisa detalhada sobre o MPS deve ser aplicada, principalmente em relação ao processo de calibração.

**Palavras-chave:** Material particulado em suspensão, perfiladores acústicos por efeito Doppler, estuário da Lagoa dos Patos.

### INTRODUÇÃO

Ao longo de regiões costeiras ao redor do mundo encontram-se sistemas costeiros altamente complexos conectados ao mar, onde diversos elementos e propriedades interagem entre si. Esses sistemas são os estuários, ambientes dinâmicos de transição entre o continente e o oceano onde a água marinha é mensuravelmente diluída pela água oriunda da descarga dos rios. Nos sistemas estuarinos, propriedades físicas, químicas e geológicas interagem com elementos biológicos produzindo uma vasta rede de interações com diferentes relações de causa e efeito em variadas escalas temporais (PRITCHARD, 1955; PERILLO, 1995; DYER, 1997; MIRANDA *et al.*, 2002). Esse ambiente são, em via de regra, mais

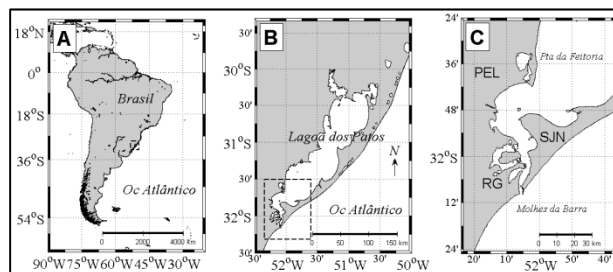
produtivos do que as áreas adjacentes (rios e oceano), pois devido às suas características morfológicas e hidrodinâmicas tendem a aprisionar elementos provenientes da drenagem continental (POSTMA, 1967; MEADE 1972), estimulando a produção primária e reações químicas dentro do corpo estuarino (SCHELSKE & ODUM, 1961; TURNER & MILLWARD, 2002). Além disso, os estuários estão sujeitos a trocas diretas com o oceano e sob constante influência de diferentes forçantes que controlam a hidrodinâmica, como a descarga fluvial, marés e ventos (LEPAGE & INGRAM, 1988; WANG & TOWNEND, 2012; HEARN & ROBSON, 2002). Os estuários são locais de escoamento de diversos elementos da drenagem continental e entre eles está o material particulado em suspensão (MPS), o qual, por definição, corresponde a todas as partículas existentes nas águas tanto de rios como marinhas com tamanho superior a 45  $\mu\text{m}$ . O MPS é constituído tanto de material biológico (plâncton, carapaças e resíduos orgânicos) como por sedimentos. A dinâmica do MPS é bastan-

\*Laboratório de Oceanografia Costeira e Estuarina, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande

te variável em estuários e pode ser relacionada com diferentes aspectos: hidrodinâmica (POSTMA, 1967; NAUDIN&CAUWET, 1997; UNCLESSET al, 2002; CIFFROY et al, 2003; MITCHELL, 2005), atenuação e dispersão da luz (POSTMA, 1961; BUNT et al, 1999; DEVLIN et al, 2008; ASTORECA et al, 2012; PHILIPPART et al, 2012), índices de salinidade e distribuição de organismos (GUINDER et al, 2005; SCHETTINI& MIRANDA, 2010). Portanto o estudo da dinâmica do MPS em estuários é de suma importância para o melhor conhecimento dos sistemas estuarinos. Tanto em áreas estuarinas como oceânicas o MPS é obtido geralmente pela filtração de amostras de água através de filtro de celulose ou fibra de vidro. Porém esta metodologia não é totalmente prática e requer muitos cuidados e tempo, o que nem sempre é possível, principalmente em campo. Um método relativamente novo e que se mostra bastante efetivo é o uso de perfiladores acústicos por Efeito Doppler (ADCP) para a obtenção de estimativas de MPS. Esses instrumentos medem a velocidade de partículas na água através do efeito Doppler e tem sido largamente utilizados em estudos hidrológicos e oceanográficos. Os ADCPs operam de forma similar a sondas acústicas, gerando pulsos através de um transdutor. Esses pulsos ao atingir as partículas na água retornam ao transdutor produzindo estimativas de velocidades de correntes através da frequência Doppler, assumindo a velocidade das partículas como igual à da corrente. Além dos dados de velocidade e direção de correntes, baseado no princípio de operação, os ADCP podem fornecer dados de ecobatimetria (embora em baixa resolução), altura e direção de ondas e de nível. Os dados acústicos dos ADCPs também podem ser utilizados como estimativas de concentração de MPS, uma vez que a medida do retroespalhamento desse sinal é proporcional à quantidade de partículas na água. Os modelos de ADCPs disponíveis no mercado operam em variadas frequências, as quais estão relacionadas com a distância percorrida pelo pulso acústico no meio. Aparelhos de baixa frequência de operação são usados em áreas de oceano aberto em grandes profundidades, pois o pulso acústico é capaz de percorrer grandes distâncias com baixa atenuação. Entretanto, a resolução do sinal de retorno é baixa quando comparada com aparelhos de alta frequência. Esses últimos são melhor aplicados em estudo em locais de baixas profundidade (áreas costeiras ou estuários), devido à alta atenuação do sinal acústico. Entre os estudos que utilizam ADCPs para se estimar MPS, Gartner (2002) e Kim & Voulgaris (2003) fornecem informações à respeito dos princípios e fundamentos teóricos do método. Os trabalhos de

Gartner (2004), Hoitink&Hoekstra, (2005), Merckelbach (2006) e Wall et al (2006) demonstram a aplicabilidade desta metodologia em estuários e áreas costeiras.

## ÁREA DE ESTUDO



**Fig. 1 - Em (A) a América do sul e a localização da Lagoa dos Patos (retângulo tracejado); (B) visão ampla da Lagoa dos Patos com detalhe para a área estuarina; em (C) a área estuarina com detalhes para os Molhes da Barra, Ponta da Feitoria, Canal de São Gonçalo e os municípios de Rio Grande (RG), São José do Norte (SJN) e Pelotas (PEL) localizados às margens do estuário.**

O estudo neste artigo foi realizado para a área estuarina da Lagoa dos Patos, uma laguna de grande extensão localizada no extremo sul do Brasil (fig. 1). A Lagoa dos Patos é um local de grande importância socioeconômica e corresponde ao habitat de diversas espécies (SEELIGER et al, 1998; SEELIGER& ODEBRECHT, 2010). A morfologia da área lagunar é composta principalmente por bancos de areia e sandspits (ANTIQUERA et al, 2004; ANTIQUERA& CALLIARI, 2005). A área estuarina corresponde à parte sul na laguna, desde a desembocadura (Molhes da Barra) até as proximidades de uma área conhecida com a Ponta da Feitoria (DELANEY, 1965). O estuário da Lagoa dos Patos, segundo Pritchard (1952), pode ser classificado com um estuário de barra ou lagoa costeira, o qual está conectado ao oceano Atlântico por um canal estreito, através do qual as trocas entre a laguna e o oceano ocorrem em variadas escalas temporais (FERNANDES et al., 2002; GARCIA et al, 2003; FERNANDES et al 2004; MÖLLER et al 2007). De acordo com Kjerfve (1986) e Fairbridge (1980), a Lagoa dos Patos é classificada com uma laguna estrangulada. Essa característica tem um papel importante na hidrodinâmica, processos de mistura e trocas com o oceano, gerando altas velocidades de correntes, principalmente em fluxos de vazante em períodos de alta descarga flu-

vial. A dinâmica do MPS na área de estudo é condicionada pela relação entre a descarga fluvial e o vento, sendo essas as principais forçantes que controlam a circulação (MÖLLER&CASTAING, 1999; FERNANDES *et al*, 2002). A média anual de descarga fluvial para a Lagoa dos Patos é de  $2400 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , com fortes variações devido à efeitos de ENSO (VAZ *et al*, 2006). A descarga fluvial é a principal forçante na circulação do estuário quando acima de  $3000 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Quando essa está abaixo desse valor o vento se torna a forçante principal (MÖLLER *et al*, 2001). A descarga fluvial é o fator responsável pela distribuição do MPS na área lagunar, sobretudo na porção norte onde estão localizados os principais tributários e em períodos de moderada e alta descarga dos rios (PAIM &MÖLLER, 1986). Por outro lado, na área estuarina a dinâmica do MPS é influenciada principalmente pelos processos de ressuspensão e de dinâmica costeira, bem como de atividade portuária (HARTMANN&SCHETTINI, 1991). De acordo com o estudo de Calliari *et al* (2009), a concentração média de MPS na área lagunar pouco excede  $10 \text{ mg.l}^{-1}$ , enquanto que na área estuarina ela pode chegar a  $100 \text{ mg.l}^{-1}$ , devido à acumulação de sedimentos sinos pela intrusão salina, o que também foi verificado por Hartmann (1996). Em relação ao material exportado para o oceano, o estudo realizado por Marques *et al* (2010) encontrou uma estimativa de MPS de  $1.3 \times 10^7 \text{ ton/ano}$ , baseada na aplicação de um modelo numérico.

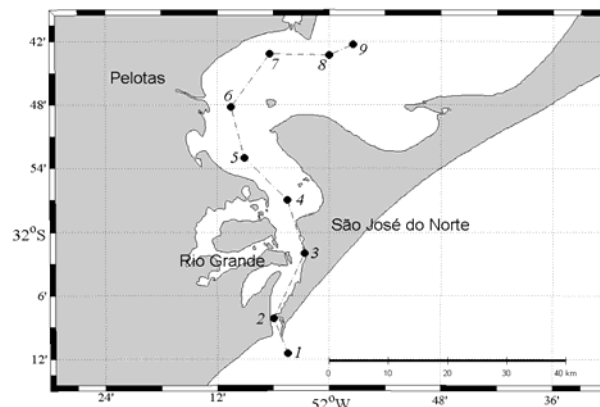
## OBJETIVO

Baseado na distribuição do MPS na área de estudo, o objetivo deste trabalho foi aplicar uma metodologia que permita obter estimativas de concentrações de MPS a partir de medidas de retroespalhamento do sinal acústico de um ADCP. A mesma foi aplicada para a área estuarina da lagoa dos Patos, em dados coletados através de sete cruzeiros realizados em 2012. Esse artigo é baseado na já mencionada importância do papel do MPS para as áreas estuarinas, bem como no fato de que não há qualquer tipo de estudo dessa natureza para a área de estudo. A aplicação dessa metodologia de conversão é aplicada na hipótese de que todo o retroespalhamento acústico medido no estuário da Lagoa dos Patos é devido às partículas em suspensão, as quais são compostas tanto por material biológico como por sedimentos. Posteriormente a equação de conversão obtida foi utilizada para o cálculo de estimativas de transporte de MPS através de dados coletados na

desembocadura no estuário da Lagoa dos Patos em uma campanha de curta duração com o mesmo ADCP.

## METODOLOGIA

### Amostragens em campo



**Fig. 2 - Localização das estações realizadas durante os cruzeiros no estuário da Lagoa dos Patos; No primeiro dias as amostragens eram feitas de 1 a 9 e no segundo de 9 a 1; A linha tracejada representa um detalhamento aproximado do canal de navegação.**

Os dados utilizados neste trabalho foram concentrações de MPS *in situ* e amplitude do sinal acústico de um ADCP SONTEK, coletados na área de estudo em sete cruzeiros realizados de Fevereiro à Outubro de 2012 à bordo da lancha *Larus* pertencente à Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Cada cruzeiro teve aproximação de aproximadamente dois dias e as amostragens foram realizadas em nove pontos localizados no estuário, ao longo do canal de navegação (fig. 2). As amostragens foram feitas desde a desembocadura (Molhes da Barra) até o limite da área estuarina (Ponta da Feitoria), cobrindo uma distância de aproximadamente 75 km. No primeiro dias as estações eram realizadas se iniciando pela área da desembocadura (ponto um) indo até o fim da área estuarina (ponto nove). No segundo dia as estações eram realizadas nos mesmos pontos, porém no sentido oposto. Cada estação teve duração de aproximadamente 30 minutos, variando em função das mudanças de profundidade. A distância percorrida, o número de estações feitas e a quantidade de amostras coletadas variaram devido a problemas técnicos e disponibilidade de tempo. A tabela 1 apresenta as informações relativas a cada cruzeiro.

**Tabela 1 - Informações de cada cruzeiro.**

Cruz.	Data	Estações	Amostras
1	9 e 10 de Fevereiro	13	25
2	8 e 9 de Março	16	31
3	15 e 16 de Maio	14	27
4	23 e 24 de Maio	16	31
5	10 e 11 de Julho	15	29
6	30 e 31 de Agosto	15	29
7	4 e 5 de Outubro	16	31

## COLETA DE ÁGUA E OBTENÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE MPS

Em cada estação as amostras de água foram coletadas para superfície, meio e fundo. Uma garrafa de Niskin de 5 litros presa a um cabo graduado e acionada por mensageiro foi utilizada para coleta em meia água e fundo e possíveis inclinações eram anotadas para a determinação da profundidade atingida pela garrafa. Em superfície a coleta de água foi feita por um balde preso a um cabo. Após a coleta as amostras de água eram levadas a um equipamento de filtração instalada na própria embarcação. Para a obtenção das concentrações foi utilizado uma bomba de pressão a vácuo, filtros de acetato de celulose Milipore de 45 µm e 47 mm de diâmetro pré-pesados em laboratório por uma balança de precisão, recipientes para filtração e provetas de 50 e 200 ml para medição do volume filtrado. A filtração, feita à bordo, e as concentrações, obtidas em laboratório, foram feitas de acordo com a metodologia descrita em Baumgarten *et al.*, (2010).

## AMOSTRAGEM COM ADCP

O ADCP utilizado foi um SONTEK de 1,5 MHz de frequência do tipo rebocado, com três transdutores orientados 25° em relação ao eixo vertical e deslocados 120° entre si, capaz de realizar medições até 23 metros de profundidade mais uma distância em branco (SONTEK, 2000). Esse aparelho está acoplado a um dispositivo de flutuação e opera com os transdutores orientados para baixo. Para as medições no estuário o instrumento foi configurado para medir com 23 células mais 1 m de distância em branco, cobrindo a maior profundidade verificada no canal estuarino (cerca de 20 m na área dos Molhes da Barra). Durante as estações o ADCP perma-

necia no mesmo ponto coletando dados. O dado de saída utilizado foi a amplitude do sinal acústico, expresso em uma unidade logarítmica chamada *counts* (um *count* = 0,43 dB), medido em cada célula do ADCP.

## CONVERSÃO DO SINAL ACÚSTICO EM CONCENTRAÇÕES DE MPS

A conversão do sinal acústico em concentrações de MPS é baseada na relação existente entre a intensidade do retroespalhamento e a quantidade de partículas na coluna d'água. Assim, a medida do retroespalhamento pode ser usada para estimar concentrações de MPS e considerando as duas propriedades como proporcionais elas podem ser correlacionadas em uma única frequência do pulso acústico (GARTNER, 2002). Na aplicação dessa metodologia neste trabalho, se assume que a concentração de qualquer tipo de partículas em suspensão é a fonte de retroespalhamento do sinal acústico, descartando interações entre número de onda e tamanho de partículas (GUERRERO *et al.*, 2011). O método é baseado na equação do sonar (URICK, 1975), a qual ilustra a intensidade do sinal recebido pelo transdutor considerando as possíveis perdas devido à atenuação, dissipação, retroespalhamento e espalhamento geométrico (FISCHER & SIMMONS, 1977; CLAY & MEDWIN, 1977). A equação do sonar relaciona o retroespalhamento ao sinal recebido pelo transdutor ou eco acústico (EA), levando em conta a intensidade do sinal emitido pela fonte emissora (FA) e as perdas durante a propagação do sinal na ida e volta ao transdutor (2PA). Todos os termos são medidos em decibéis (i.e., na forma logarítmica). A equação aqui apresentada é uma forma simplificada da equação do sonar, de acordo com Gartner (2004) e Guerrero *et al.* (2011) e é apresentada em termos do retroespalhamento acústico (RA):

$$RA = EA + 2PA - FA$$

RA representa o retroespalhamento acústico, o qual é o sinal emitido pelos objetos ou partículas existentes no meio. Essa é uma medida indireta, obtida descontando-se as perdas do sinal acústico previstas do sinal registrado pelo aparelho, que no caso é o ADCP. Neste trabalho foi aplicada a metodologia descrita em SONTEK (1997) para se obter o retroespalhamento do sinal acústico do ADCP utilizado nas medições no estuário da Lagoa dos Patos. A amplitude do sinal registrada pelo aparelho dada em

*counts* foi convertida para decibéis e o retroespalhamento foi obtido se subtraindo as perdas previstas na propagação do sinal na ida e volta ao transdutor. As perdas são devido à distância percorrida, espalhamento geométrico e atenuação:

$$PA = -20 \times \log_{10} \left( \frac{D}{\cos(\phi)} \right) - 2 \times \alpha \times \left( \frac{D}{\cos(\phi)} \right)$$

O ângulo do transdutor ( $\phi$ ) é  $25^\circ$ , conforme informado no manual do aparelho e o coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) é 0,68 (SONTEK, 1997). A distância (D) se refere à profundidade de cada célula medida pelo ADCP, da superfície ao fundo. Dada as configurações do aparelho para medições no estuário D variou de 1 à 23 m. Dessa forma o retroespalhamento foi obtido por:

$$RA = (0,43 \times A) - PA$$

Portanto, RA se refere ao retroespalhamento, corrigido em relação à distância ao se descontar os valores de PA e A é a medida da amplitude do sinal medida pelo aparelho (foi utilizada a média da medida dos três transdutores), todos referentes a cada célula de medição do aparelho. A amplitude do sinal acústico é a medida do eco acústico (EA) corrigido pela medida da intensidade do sinal emitido pela fonte (FA) e representa a magnitude da reflexão acústica da água (DEINES, 1999; SONTEK 2000; GARTNER, 2004). Uma vez obtido o retroespalhamento relativo a cada célula, a calibração consistiu em associar os valores do mesmo aos valores das concentrações de MPS *in situ* nos mesmos níveis (profundidades). Como mencionado anteriormente, as profundidades onde as concentrações foram obtidas foram corrigidas pela inclinação do cabo da garrafa. Com ambas as séries associadas, foi determinado o ajuste linear entre os valores de retroespalhamento do ADCP e o logaritmo das concentrações *in situ*, obtendo-se assim o coeficiente de determinação  $r^2$  e os coeficientes de regressão linear a e b. De acordo com Gartner (2002), o retroespalhamento é linearmente proporcional ao logaritmo das concentrações *in situ*:

$$C_{est} = 10^{(RA \times a + b)}$$

Portanto,  $C_{est}$  é a série de MPS estimada (em miligramas por litro) a partir do retroespalhamento do sinal acústico do ADCP, obtidos pelos coeficientes a e b.

## CÁLCULO DE MPS EXPORTADO EM UMA SEÇÃO PRÓXIMA À DESEMBOCADURA

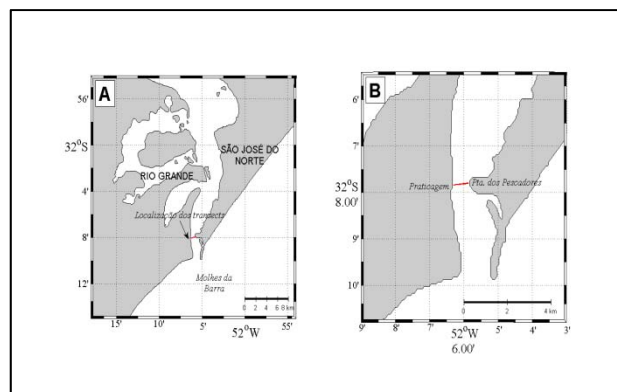


Fig. 3 - Em (A) visão geral da área da desembocadura do estuário, com detalhes para o local dos transects; em (B) a trajetória dos transects, desde o píer da estação de Praticagem à Ponta dos Pescadores tendo uma distância de aproximadamente 850 metros.

A equação de conversão obtida pela regressão linear entre os valores de concentração *in situ* e os respectivos valores de retroespalhamento do sinal acústico foi utilizada para se estimar a quantidade de MPS médio exportado para o oceano. Para tal foram utilizados dados coletados em uma campanha de curta duração realizada em 7 de Setembro de 2010 através de uma seção próxima à desembocadura do estuário da Lagoa dos Patos, entre a estação de Praticagem da Barra e a Ponta dos Pescadores (Fig. 3). Os dados utilizados foram amplitude do sinal acústico, velocidades e direção de correntes e descarga líquida da seção transversal, coletados em 19 transects feitos com o mesmo ADCP usado nas amostragens em 2012. As concentrações de MPS foram calculadas como médias pontuais da seção a partir dos dados de retroespalhamento acústico ( $C_{média}$ ) e a descarga foi utilizada como a soma da descarga medida em cada perfil vertical ( $Q_{total}$ ). Os valores de exportação (em quilogramas por segundo) foram comparados aos perfis de velocidade verticais médios em cada transect medidos pelo aparelho. A quantidade de MPS exportado foi calculado baseado nas metodologias de Miranda et al (2002) e de Hartmann (1996):

$$MPS_{exp} = Q_{total} \times C_{média}$$

RESULTADOS

Calibração

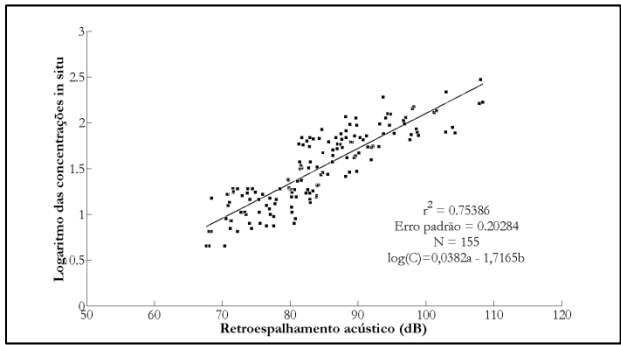


Fig. 4 - Regressão linear entre o logaritmo das concentrações *in situ* de retroespalhamento do ADCP. Aqui foram utilizados os dados localizados dentro do intervalo de dois desvios padrão acima e abaixo da reta de ajuste, resultando em um conjunto de N=155 dados, 48 dados a menos do que a série total de N= 205 amostras como mostrado na tabela 1.

Tabela 2 - Dados relativos ao transects realizados na área da desembocadura do estuário da Lagoa dos Patos.

Transect	Hora	Q (m³/s)	MPS export. (kg/s)
1	12:07	11401,7	891,95
2	12:19	8468,8	625,89
3	12:26	11159,6	813,14
4	12:35	9391,9	659,96
5	12:59	10923,4	753,19
6	13:09	10218,7	703,80
7	13:21	10380,1	666,25
8	14:10	7564,2	526,45
9	14:21	7483,2	510,38
10	15:50	3416,5	215,25
11	16:01	1938,7	130,28
12	16:49	849,2	53,92
13	17:00	334	23,86
14	17:11	1811,5	111,23
15	17:24	409,8	28,78
16	18:18	953,2	70,92
17	18:30	1226,5	87,66
18	18:41:00	1784,2	126,31
19	18:53:00	2053	156,22

Para a obtenção da reta de calibração foram utilizados os valores logaritmos das concentrações de MPS obtidas pelos filtros e os respectivos valores de retroespalhamento do sinal acústico do ADCP (isto é, os valores de retroespalhamento do sinal acústico registrados pelos ADCP nas mesmas profundidades onde as concentrações foram obtidas). A regressão linear entre ambas as séries resultou em um  $r^2 = 0,75$ , com um erro padrão de 0,2028. Os coeficientes foram  $a = 0,0382$  e  $b = - 1,7165$  com 95 % de confiabilidade (fig. 4). Portanto a equação de conversão do retroespalhamento do sinal acústico de um ADCP SONTEK 1,5 MHz do tipo rebocado em concentrações de MPS para o estuário da Lagoa dos Patos é dada por:

$$C_{est} = 10^{(0,038 \times RA - 1,716)}$$

OBTENÇÃO DA SÉRIE DE MPS ESTIMADO

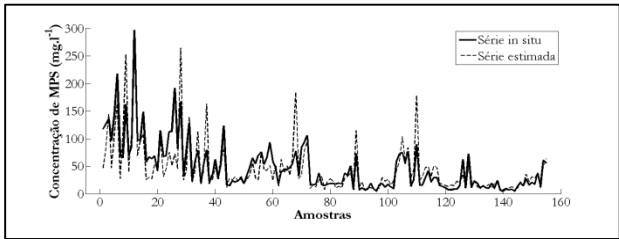


Fig. 5 - Comparação entre as séries de concentração de MPS obtidas no estuário e a série estimada pela equação. As séries foram construídas a partir dos dados utilizados na calibração sendo retirados os pontos localizados dois desvios padrão acima e abaixo da reta de ajuste.

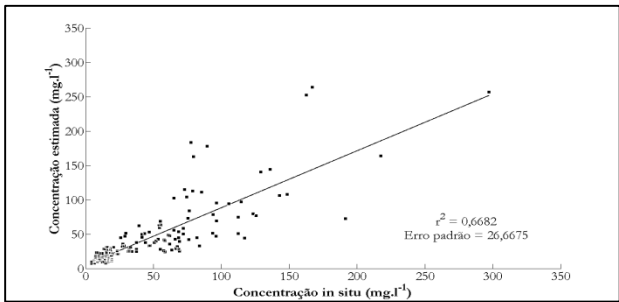


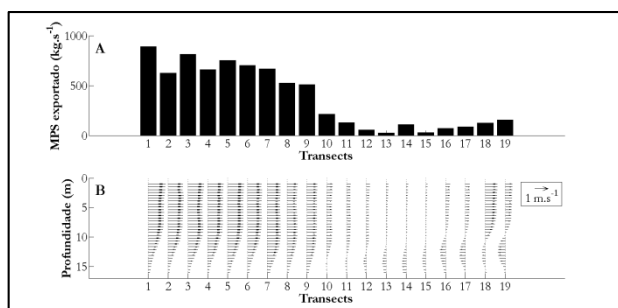
Fig. 6 - Regressão linear entre as séries estimada e *in situ* de MPS. O resultado demonstra um melhor ajuste para as concentrações inferiores a 100 mg.l<sup>-1</sup>.

A série estimada de MPS juntamente com a série obtida *in situ* está apresentada na fig. 5. É possível notar uma discrepância entre as séries para concentrações maiores. Esse fato também pode ser visto através da regressão linear entre as séries com

$r^2 = 0,66$  e erro padrão de 26,6675 (fig. 6), a qual demonstra um melhor ajuste para concentrações mais baixas.

## ESTIMATIVA DE MPS EXPORTADO NA SEÇÃO

A fig. 7a apresenta a quantidade estimada de MPS exportado em cada *transect* realizado na área desembocadura do estuário da Lagoa dos Patos, juntamente com os perfis médios de velocidade vertical, mostrados na fig. 7b. É notável que a quantidade de MPS exportado em cada medição é acompanhada diretamente pelos perfis de velocidade. A tabela 2 contém informações sobre cada um dos *transects*.



**Fig. 7 - Em (A) as quantidades de MPS médio (em  $\text{kg.s}^{-1}$ ) exportado na seção em cada *transect*; em (B) os perfis verticais médios de velocidade em cada *transect*; em ambas as figuras o oceano está localizado à direita.**

## DISCUSSÃO

Embora uma boa correlação tenha sido obtida é importante ressaltar dois pontos importantes sobre o procedimento de calibração e a dinâmica do MPS na área de estudo: 1) a amostragem pontual do MPS produziu desvios em relação aos valores de retroespalhamento do sinal do ADCP. Da série original de  $N = 203$  amostras (apresentados na tabela 1), 48 delas se mostraram longe da reta de ajuste, o qual representa um número considerável. Devido a esse fato a regressão entre as séries produziu um  $r^2 = 0,32$ . Assim, de modo a se obter uma correlação mais robusta, pontos localizados dois desvios padrão acima e abaixo dos valores da reta de ajuste foram removidos. Este é um procedimento que reduz o  $N$  amostral, porém torna a calibração mais confiável. Como demonstrado por Guerrero *et al.*, (2011) e Wall

*et al.*, (2006), este procedimento é necessário no caso da ausência de um instrumento de retroespalhamento ótico para a geração de perfis de MPS. Este mesmos autores ressaltam a importância de associação correta dos níveis de coleta de água com as garrafas com as células de medição do ADCP. A correspondência das profundidades é crucial para uma calibração confiável. Isto, entretanto é uma tarefa difícil no campo, apesar dos esforços, em virtude às oscilações devido à ondas, correntes e ventos. Inerente ao problema da calibração, a série estimada de MPS apresentou picos em relação à série *in situ* em concentrações acima de  $100 \text{ mg.l}^{-1}$ , e isso se refletiu na aplicação da equação de conversão para os dados obtidos em 2010. Alguns poucos dados demonstraram um aumento exponencial de concentração, com valores excessivos (em torno de  $1000 \text{ mg.l}^{-1}$ ), os quais também foram removidos. Ainda em relação à calibração, os baixos valores de concentração de MPS registrados nas coletas em 2012 certamente contribuíram para o pior ajuste nas maiores concentrações (a grande maioria das amostras foram inferiores a  $100 \text{ mg.l}^{-1}$ ); 2) Em relação à dinâmica do MPS no estuário da Lagoa dos Patos, sua distribuição bastante sujeita aos processos na desembocadura (ANTIQUEIRA & CALLIARI, 2005; HARTMANN & SCHETTINI, 1991) em períodos de baixa descarga fluvial, como no caso de 2012. Isso é uma característica comum à estuários rasos e com desembocadura estreita (UNCLES *et al.*, 2002), como a área de estudo. Além disso, as atividades do porto de Rio Grande tem influência sobre a dinâmica de curto período do MPS. Portanto, a grande variabilidade à qual está sujeita o MPS torna o procedimento de calibração mais crítico, sobretudo na ausência de perfis obtidos por calibração por instrumentos de retroespalhamento ótico.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método de conversão do retroespalhamento do sinal acústico se mostrou satisfatório para a área de estudo e os resultados e informações obtidas servem como base para estudo da mesma natureza no estuário da Lagoa dos Patos. Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos em uma série de cruzeiros com o objetivo de caracterizar a distribuição de diferentes propriedades na área de estudo. A disponibilidade de dados *in situ* de concentrações de MPS e de um ADCP (inicialmente utilizado para caracterizar condições de fluxo) permitiu a aplicabilidade de dados da metodologia de conversão. En-

tretanto, a recomendação é a utilização de instrumentos de retroespalhamento ótico para a produção de perfis de MPS, ao invés do uso de amostras pontuais. Isso torna a calibração mais confiável e a correlação mais robusta, sem a necessidade da aplicação de métodos estatísticos para a retirada de dados (manutenção do N amostral inicial). Outro ponto importante é a realização de amostragens em apenas um ponto (amostragem Euleriana) ao invés da amostragem espacial, para fins de aplicação de metodologias semelhantes. Também em trabalhos futuros seria importante o uso de técnicas de laboratório para se determinar a parcela mineral e granulometria, a qual tem relação com o pico de frequência acústica (THORNE & CAMPBELL, 1982). Por fim, os resultados neste trabalho se mostraram válidos, porém é necessária uma análise mais detalhada, principalmente em relação ao procedimento de calibração.

## AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de agradecer primeiramente à CAPES pelo fomento e à FINEP pelo financiamento do subprojeto número 4 da **REDE DE ESTUDOS HIDRODINÂMICOS, ECOLÓGICOS E DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE AMBIENTAL EM SISTEMAS AQUÁTICOS (REHMAN-SA)**, intitulado “*Fluxos de água, sal e sedimentos trocados entre o sistema lagunar Patos-Mirim e a zona costeira adjacente: cenários para manejo deste ambiente*”, o qual possibilitou a obtenção dos dados utilizados neste artigo. O autor agradece também ao oc. Marcos Abe pelo fornecimento dos dados obtidos em 2010, à tripulação da lancha *Larus* e todos que participaram das coletas em campo. Finalmente agradecimentos à SONTEK pelo fornecimento do material relativo à aplicação do método de conversão.

## REFERÊNCIAS

- ANTIQUEIRA, J. DE & CALLIARI, L. (2005). Características sedimentares da desembocadura da Laguna Dos Patos, 39–46. GRAVEL, ISSN 1678-5975, Novembro de 2005, N° 3, pp 39-46, Porto Alegre.
- ANTIQUEIRA, J. DE, CALLIARI, L. & FONTOURA, J. (2004). Geomorphologic evolution of a sand spit located in the mouth of a choked coastal lagoon. Lagoa dos Patos: Southern Brazil. Journal of Coastal Research, SI 39, pp 255-258, ICS 2004 (Proceedings) Brazil, ISSN 0749-0208.
- ASTORECA, R., DOXARAN, D., RUDDICK, K., ROUSSEAU, V. & LANCELOT, C. (2012). Influence of suspended particle concentration, composition and size on the variability of inherent optical properties of the Southern North Sea. Continental Shelf Research, 35, 117-128.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; ROCHA, J. M. B. & NIENCHESKI, L. F. H. (2010). Manual de análises em Oceanografia Química. Rio Grande : Ed. da Universidade Federal do Rio Grande, 2010. 2º ed.
- BUNT, J. A. C., LARCOMBE, P. & JAGO, C. F. (1999). Quantifying the response of optical backscatter devices and transmissometers to variations in suspended particulate matter. Continental Shelf Research, 19(9), 1199-1220.
- CALLIARI, L. J., WINTERWERP, J. C., FERNANDES, E., CUCHIARA, D., VINZON, S. B., SPERLE, M., & HOLLAND, K. T. (2009). Fine grain sediment transport and deposition in the Patos Lagoon–Cassino beach sedimentary system. Continental Shelf Research, 29(3), 515–529.
- CIFFROY, P., REYSS, J. L. & SICLET, F. (2003). Determination of the residence time of suspended particles in the turbidity maximum of the Loire estuary by 7Be analysis. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 57(4), 553-568.
- CLAY, C. S., & MEDWIN, H. (1977). Acoustical Oceanography: Principles and applications. John Wiley and Sons, New York.
- DEINES, K. L. (1999). Backscatter estimation using Broadband acoustic Doppler current profilers. *Proceedings of the IEEE Sixth Working Conference on Current Measurement (Cat. No. 99CH36331)*, 249–253.
- DELANEY, P. J. V. (1965). Fisiografia e geologia da superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. Publicação Especial da Escola de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (6) p.63.
- DEVLIN, M. J., BARRY, J., MILLS, D. K., GOWEN, R. J., FODEN, J., SIVYER, D. & TETT, P. (2008). Relationships between suspended particulate material, light attenuation and Secchi depth in UK marine waters. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 79(3), 429-439.
- DYER, K. R. (1997). Estuaries: A Physical Introduction. 2nd Ed. New York, John Wiley And Sons, 195 P.



- FAIRBRIDGE, R. W. (1980). The estuary: its definition and geodynamic cycle. in: OLAUSSON, E. & CATO I. (eds.). Chemistry and biogeochemistry of estuaries. New York, John Wiley and sons, p 1-35.
- FERNANDES, E. H. L. & DYER, K. R. (2002). The Patos lagoon hydrodynamics during an El Niño event (1998). Continental Shelf Research, 22, 1699-1713.
- FERNANDES, E. H. L., MARIÑO-TAPIA, I., DYER, K. R. & MOLLER, O. O. (2004). The attenuation of tidal and subtidal oscillations in the Patos Lagoon estuary. Ocean Dynamics, 54(3-4), 348-359.
- FISHER, F. H. & SIMMONS, V. P. (1977). Sound Absorption In Sea Water. J. Acoust. Soc. Am 62, 558-565, 1977.
- GARCIA, A. M., VIEIRA, J. P. & WINEMILLER, K. O. (2003). Effects of 1997-1998 El Niño on the dynamics of the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon Estuary (Brazil). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 57(3), 489-500.
- GARTNER, J. W. (2002). Estimation of suspended solids concentrations based on acoustic backscatter intensity: theoretical background. Turbidity and other sediment surrogates workshop. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:ESTIMATION+OF+SUSPENDED+SOLIDS+CONCENTRATIONS+BASED+ON+ACOUSTIC+BACKSCATTER+INTENSITY:+THEORETICAL+BACKGROUND#0>
- GARTNER, J. W. (2004). Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic *Doppler* current profiler in San Francisco Bay, California. Marine Geology, 211(3-4), 169-187.
- GUERRERO, M., SZUPIANY, R. N. & AMSLER, M. (2011). Comparison of acoustic backscattering techniques for suspended sediments investigation. Flow Measurement and Instrumentation, 22(5), 392-401.
- GUINDER, V., POPOVICH, C. & PERILLO, G. (2009). Particulate suspended matter concentrations in the Bahía Blanca Estuary, Argentina: implication for the development of phytoplankton blooms. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 85 (2009) 157-165.
- HARTMANN, C. (1996). Dinâmica, distribuição e qualidade do material em suspensão na região sul da Laguna dos Patos, RS, Brasil. Tese de Doutorado, IG/UFRGS, 364p.
- HARTMANN, C., & SCHETTINI, C. (1991). Aspectos hidrológicos na desembocadura da Laguna dos Patos, RS. Revista Brasileira de Geociências, 21(4), 371-377.
- HEARN, C. J. & ROBSON, B. J. (2002). On the effects of wind and tides on the hydrodynamics of a shallow Mediterranean estuary. Continental Shelf Research, 22(18-19), 2655-2672.
- HOITINK, A. J. F. & HOEKSTRA, P. (2005). Observations of suspended sediment from ADCP and OBS measurements in a mud-dominated environment. Coastal Engineering, 52(2), 103-118.
- KIM, Y. H. & VOULGARIS, G. (2003). Estimation of suspended sediment concentration in estuarine environments using acoustic backscatter from an ADCP. Proc. Fifth Int. Conf. on Coastal Sediments. Retrieved from [http://www.adcp.com/pdfs/Kim\\_Yong.pdf](http://www.adcp.com/pdfs/Kim_Yong.pdf)
- KJERFVE, B. (1986). Comparative oceanography of coastal lagoons. In: Wolfe Da (Ed.). Estuarine Variability. New York, Academic Press. p 63-81.
- LEPAGE, S. & INGRAM, R.G. (1988). Estuarine response to a freshwater pulse. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 26(1988), 657-667.
- MARQUES, W. C., FERNANDES, E. H. L., MORAES, B. C., MÖLLER, O. O. & MALCHEREK, A. (2010). The dynamics of the Patos lagoon coastal plume and its contribution to the deposition pattern of the southern brazilian inner shelf. J. Geophys. Res., 115 (2010), P. C10045.
- MERCKELBACH, L. M. (2006). A model for high-frequency acoustic *Doppler* current profiler backscatter from suspended sediment in strong currents. Continental Shelf Research, 26(11), 1316-1335.
- MIRANDA, L. B., CASTRO, B. M. & KJERFVE, B. (2002). Princípios de oceanografia física de estuários. São Paulo, Edusp, 411 p.
- MITCHELL, S. B. (2005). Discussion on "The effect of fresh water flow on siltation in the Humber estuary, Northeast UK" by Pontee NI, Whitehead PA and Hayes CM (ECSS vol. 60, 241-249). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 62(4), 725-729.
- MEADE R. H., 1972, Transport and Deposition of Sediments in Estuaries: Geological Society of America, v. 133, no. 1, p. 91-120.
- MÖLLER JR, O. O. & CASTAING, P. (1999). Hydrological characteristics of the estuarine area of Patos Lagoon (30S, Brazil). In: Perillo, G.M., Piccolo, M.C., Pino-Quivira, M. (Eds.), Estuaries of South America. Springer, New York, pp. 83-100.
- MÖLLER JR, O. O., CASTAING, P., SALOMON, J. & LAZURE, P. (2001). The influence of local and non-local forcing

effects on the subtidal circulation of Patos Lagoon. *Estuaries and Coasts*, 24(2), 275-289.

MÖLLER JR, O. O., CASTAING, P., FERNANDES, E. H. L. & LAZURE, P. (2007). Tidal frequency dynamics of a southern Brazil coastal lagoon: choking and short period forced oscillations. *Estuaries and Coasts*, 30(2), 311-320.

NAUDIN, J. & CAUWET, G. (1997). River discharge and wind influence upon particulate transfer at the land-ocean interaction: case study of the Rhone River plume. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (1997) 45, 303-316.

PAIM, P.S.G., MÖLLER, O.O. (1986). Material em suspensão e dissolvido no estuário da Lagoa dos Patos – FASE III. Contrato FURG/CIRM. Relatório técnico. 133pp.

PERILLO, G.M.E. (1995). Definition and geomorphologic classifications of estuaries. In: Perillo, G.M.E. (Ed.), *Geomorphology And Sedimentology Of Estuaries, Development In Sedimentology*, Vol. 53. Elsevier Science Bv, Amsterdam, Pp. 17-47

POSTMA, H. (1961). Suspended matter and Secchi disc visibility in coastal waters. *Netherlands Journal of Sea Research*, 359-390.

POSTMA, H. (1967). Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. In: Lauff, G.H. (Ed.), *Estuaries*. American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C, pp. 158-179.

PHILIPPART, C. J. M., SALAMA, M. S., KROMKAMP, J. C., VAN DER WOERD, H. J., ZUUR, A. F. & CADÉE, G. C. (2012). Four decades of variability in turbidity in the western Wadden Sea as derived from corrected Secchi disk readings. *Journal of Sea Research*. *Journal of Sea Research*. doi:10.1016/j.seares.2012.07.005

PRITCHARD, D. (1952). *Estuarine hydrography*. Advances in Geophysics. New York, Academic Press, vol.1, pp. 243-280.

PRITCHARD, D. (1955). *Estuarine Circulation Patterns*. Proc. Am. Soc. Civil Eng. 81:717:1-11

SCHELSKE, C.L. & ODUM, E.P. (1961). Mechanisms maintaining high productivity in Georgia estuaries. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 14, 75-80.

SCHETTINI, C. A. F., MIRANDA, L. B. (2010). Circulation and suspended particulate matter transport in a tidally dominated estuary: Caravelas Estuary, Bahia, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography* 58, 1-11.

SEELIGER, U. & ODEBRECHT C. (2010). *O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações*. Rio Grande : FURG, 2010.

SEELIGER, U., ODEBRECHT, C. & CASTELLO, J.P. (1998). *Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil*. Rio Grande: Ecoscientia, 1998.

SONTEK (1997). Using signal strength data to monitor suspended sediment concentration (Vol. 10, pp. 1-7).

SONTEK (2000). SONTAK ADP Acoustic *Doppler* Profiler technical documentation.

THORNE, P.D. & CAMBELL, S.C. (1992). Backscattering by a suspension of spheres. *Journal of the Acoustical Society of America* 92, 978-86.

TURNER, A. & MILLWARD, G.E. (2002). Suspended particles: their role in estuarine biogeochemical cycles. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 55, 857-883.

UNCLES, R. J., STEPHENS, J. A. & SMITH, R. E. (2002). The dependence of estuarine turbidity on tidal intrusion length, tidal range and residence time. *Continental Shelf Research*, 22(11-13), 1835-1856.

URICK, R. J. (1975). *Principles of underwater sound*, (2nd ed.). McGraw Hill, New York, p. 384.

VAZ, A. C., O. O. MÖLLER & ALMEIDA, T.L. (2006). Uma nota sobre os afluentes da Lagoa dos Patos. *Atlântica*, 28:13-23.

WALL, G., NYSTROM, E., LITTEN, S. & REPORT, S. I. (2006). Use of an ADCP to compute suspended-sediment discharge in the tidal Hudson River, New York. Retrieved from <http://www.csa.com/partners/viewrecord.php?requester=gs&collection=ENV&recid=15957754>

WANG, Z. B. & TOWNEND, I. H. (2012). Influence of the nodal tide on the morphological response of estuaries. *Marine Geology*, 291-294, 73-82. doi:10.1016/j.margeo.2011.11.007

### ***Using An ADCP To Estimate Suspended Matter Concentrations In The Patos Lagoon Estuary, Brazil***

#### **ABSTRACT**

*Estuaries are, by definition, very complex coastal systems. The connection with the sea and all the effects of this feature highlight the importance of studying and ac-*

quiring knowledge on estuarine systems. Suspended particulate matter (SPM) is a very important property of the estuarine circulation which results from the drainage of rivers located in the system. The dynamics of SPM varies greatly, due to estuary hydrodynamics, major forcings and morphology, given that estuaries tend to imprison elements from continental drainage. Also, the SPM distribution can be related to several aspects in the estuarine circulation. In this paper a methodology was applied that allows to estimate SPM concentrations from the acoustic backscattering data from a 1.5Mhz frequency bottom track SONTEK ADCP (AcousticDoppler current profiler) in the estuarine area of the Patos Lagoon, a very large lagoon located in the south of Brazil. The data were collected during seven cruises carried out in the study area from February to October 2012. The results showed a good correlation obtained in the calibration process ( $r^2 = 0.75$ ) and a good concordance between the in situ data and the estimated data. However, a better fit was shown for small concentrations, which was reflected in the comparison of both series. This problem was due to the calibration procedure (lack of an optical instrument for calibration) and the dynamics and distribution of the SPM in the study area, especially during the sampling period. In addition, the conversion equation was applied to acoustic data obtained in a short term survey carried out in 2010 in the study area with the same ADCP, in order to estimate SPM exportation. The results demonstrated good concordance with the velocity profiles from the ADCP, but the low fit for the higher concentrations produced some bad data (very high SPM concentrations). In conclusion, for a first attempt, this study produced good results for the study area, but a more a detailed survey must be performed in order to improve the results, especially regarding the calibration procedure.

**Key-words:** Suspended particulate matter, Acoustic Doppler current profiler, Patos Lagoon estuary