

## **MAMBO – DOIS ANOS DE EXPERIÊNCIA ADQUIRIDA NA MONITORIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA AO LARGO DA FOZ DO ARELHO COM ADCP**

### **Pedro Silva Barata**

Marinha - Instituto Hidrográfico, Divisão de Oceanografia  
Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa

### **Luís Quaresma dos Santos**

Marinha - Instituto Hidrográfico, Divisão de Oceanografia  
Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa

### **Joana Beja**

Marinha - Instituto Hidrográfico, Divisão de Oceanografia  
Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa

## **SUMÁRIO**

O Instituto Hidrográfico, tem acompanhado os desenvolvimentos tecnológicos e de instrumentação na área da medição de correntes e agitação marítima. A capacidade de perfilamento, a precisão e exactidão na medição tridimensional da corrente e, sobretudo, a versatilidade patente nas inúmeras aplicações já desenvolvidas, fazem com que os ADCP's representem o *state of the art* da engenharia oceanográfica. O ADCP permite substituir uma cadeia de correntómetros fundeada em amarração, reduzindo o número de equipamentos em utilização e obtendo um perfil de correntes ao invés de uma amostragem discreta.

Uma destas aplicações é a monitorização direccionada da agitação marítima, utilizada actualmente com frequência em projectos de monitorização levados a cabo por este Instituto. Neste âmbito, o projecto MAMBO acrónimo de "Monitorização Ambiental da Lagoa de Óbidos" iniciado em Novembro de 2000 e concluído em Dezembro de 2002 representa um bom exemplo da experiência adquirida.

A presente comunicação visa apresentar os resultados obtidos, reportar as dificuldades sentidas e a experiência adquirida na optimização da utilização de ADCP's.

## INTRODUÇÃO

A obtenção dos parâmetros de agitação marítima constitui uma necessidade no estudo e na monitorização da dinâmica do litoral, permitindo deste modo uma gestão costeira e portuária mais eficiente. O projecto MAMBO, resultou de um protocolo realizado entre o Instituto da Água (INAG) e o Instituto Hidrográfico (IH), no sentido deste efectuar um estudo de monitorização ambiental na Lagoa de Óbidos e na faixa costeira adjacente.

Este projecto foi pioneiro no IH, pois foi um dos primeiros em que houve uma aquisição, em contínuo, de dados de agitação e correntes na costa portuguesa, com um correntómetro acústico do tipo ADCP.



Figura 1 - Perfilador de correntes (ADCP) utilizado durante o projecto (RDI,2001, WorkHorse Sentinel ADCP User's Guide,)

Dos vários objectivos do projecto, destaca-se o estabelecimento de uma estação litoral de observação entre a batimétrica dos 20m e dos 30 m (referidas ao ZH) na posição indicada pelo INAG, 39°26'22"N – 009°14'26"W (coordenadas de projecto com DATUM WGS84). Para o efeito, recorreu-se à utilização de um ADCP fundeado em frente do cordão litoral e próximo do canal de ligação ao mar da Lagoa de Óbidos, que permitiu a observação em contínuo dos níveis médios da superfície livre, da agitação marítima e do perfil vertical da corrente.

Esta longa permanência do perfilador fundeado permitiu a identificação de alguns problemas na aquisição dos dados, os quais serão discutidos em maior detalhe seguidamente, e que foram originados quer por um incorrecto funcionamento do equipamento quer por erro humano.

A análise das anomalias detectadas aquando do processamento dos dados resulta, não só da sua inspecção visual, mas também de informações registadas pelos técnicos do IH durante as operações de recolha do correntómetro.



Figura 2 – Ortofotomapa da Lagoa de Óbidos e faixa costeira adjacente com a localização da estação litoral de observação (<http://igeo.pt>)

### ***PRINCÍPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMENTO DO ADCP***

O princípio físico de funcionamento dos correntómetros acústicos é baseado no efeito de Doppler. Este efeito é gerado pela dispersão do sinal emitido, pelo correntómetro, nas partículas em suspensão na coluna de água (sedimentos e plâncton) que se movimentam em harmonia com a corrente. Estas partículas, devido à sua dimensão e estrutura, podem ser consideradas bons dispersores de impulsos sonoros na gama de frequências entre os 50 e os 3000 kHz.

Em relação aos restantes correntómetros acústicos, o ADCP possui a capacidade de registar variações de frequência do sinal reflectido ao longo do meio de propagação.

O ADCP é constituído por quatro transdutores (dois pares de dois transdutores desfasados de 90°) que emitem os feixes em direcções distintas. A configuração destes transdutores é designada por “Configuração de Janus”, que é a mais apropriada para rejeitar erros na velocidade horizontal devido ao cabeceio e balanço do aparelho.

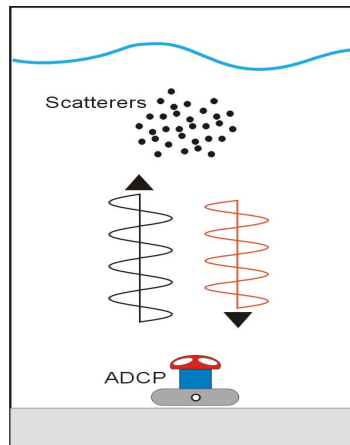


Figura 3 - Esquema dos feixes enviados pelo ADCP (Quaresma dos Santos, 2002)

Quando as partículas se afastam do ADCP, o impulso sonoro que elas recebem sofreu uma diminuição de frequência, que é proporcional às componentes de velocidade das partículas ao longo do eixo de propagação da onda. A equação que define o efeito de Doppler é a seguinte:

$$F_d = F_s \left( \frac{V}{C} \right)$$

$F_d$  = Frequência de Doppler (Hz)

$F_s$  = Frequência do som (Hz)

$V$  = Velocidade entre a fonte emissora e a receptora (m/s)

$C$  = Velocidade de propagação do som (m/s)

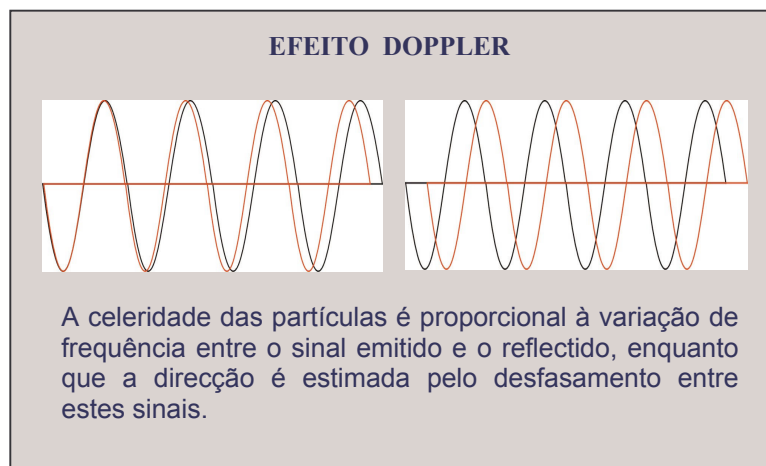


Figura 4 – Propagação do som por efeito de Doppler (Quaresma dos Santos, 2001).

As três componentes da velocidade (Norte/Sul, Leste/Oeste e vertical) são obtidas do seguinte modo: dois feixes registam as componentes horizontal (E/W) e vertical, os restantes dois feixes registam as componentes (N/S) e de novo a vertical. O facto da componente vertical

da velocidade ser obtida por dois pares de feixes faz com que os valores sejam bastante precisos.

A diferença associada à dupla medição da componente vertical da velocidade permite calcular a velocidade de erro, parâmetro que é dependente da redundância dos dados.

Por forma a poder calcular as diferentes componentes da velocidade, o ADCP necessita pelo menos de três feixes acústicos, sendo o quarto, redundante.

A grande exactidão alcançada por estes equipamentos, permite registar as velocidades orbitais geradas pela passagem de ondas gravíticas externas. Deste modo, desde há alguns anos, que os ADCP's podem também ser utilizados como sensores de agitação marítima.

Esta capacidade resulta do registo contínuo de séries temporais de velocidades orbitais, cujo espectro (de alturas e direcções) define os diferentes parâmetros de agitação marítima (Altura Significativa, Período de Pico, Direcção da Ondulação).

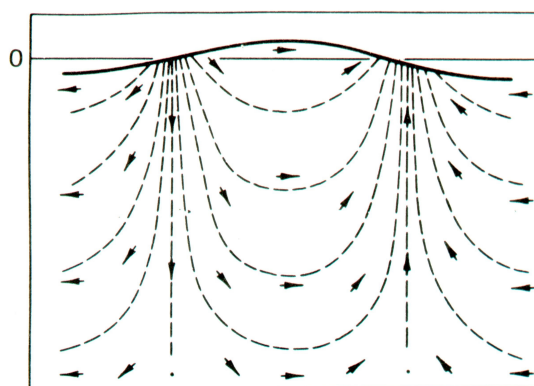


Figura 5 – Velocidades orbitais geradas por uma onda de superfície

orbitais geradas por uma

(Quaresma dos Santos, 2001)

Um outro aspecto inovador é a possibilidade em registar em simultâneo não só as séries de velocidades orbitais, como as séries de pressão e as séries de alturas da coluna de água (possível devido à detecção da variação da distância da superfície livre em relação aos transdutores).

Na medição de correntes, o ADCP divide a coluna de água em células uniformes seguidamente designadas por “Bins”. Dado que cada “Bin” pode ser equiparado a um correntómetro, o perfil de velocidades obtido pode ser considerado como o resultante de uma cadeia de correntómetros igualmente espaçados. O espaçamento regular entre os “Bins” permite uma melhor interpretação dos dados registados, e a obtenção de dados em toda a coluna de água reduz as incertezas associadas às medições pontuais.

Cada vector velocidade registado resulta da média de várias medições pontuais, designadas por “Ensembles”, efectuadas ao longo de um intervalo de tempo.

As séries temporais para o cálculo dos parâmetros de agitação marítima são obtidas em conjuntos de dados, designados por “Burst”, ou seja, o ADCP é planeado de forma a emitir continuamente durante um dado intervalo de tempo, repousando até novo período de amostragem.

Os dados para cálculo dos parâmetros de agitação marítima são amostrados em “Burst”, ou seja, o ADCP é planeado de forma a emitir continuamente durante um dado intervalo de tempo, repousando até novo período de amostragem. Para determinação das correntes O ADCP emite vários “Pings” durante um dado intervalo de tempo designado por *ensemble*.

## PLANEAMENTO DE UTILIZAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DO PERFILADOR

A fase de planeamento do perfilador envolve a escolha do local de fundeamento, a programação do regime de funcionamento, a informação que se pretende obter a partir dos dados, e o tipo de fundo.

No que concerne à escolha da posição, é fundamental ter em linha de conta o limite de potência dos feixes, dado ser de vital importância que alcancem a superfície. É pois fundamental efectuar um estudo prévio da maré no local e da altura máxima da agitação marítima que se espera registar.

O regime de funcionamento deve ter em conta não só o tipo de informação desejada, mas também o ratio entre o número de bins, a taxa de amostragem, e o consumo de bateria.

Relativamente ao tipo de fundo, a escolha deve recair num fundo estável, com pouco declive, evitando as formações rochosas.

Não menos importante que a configuração do equipamento é o facto deste ser fundeado junto à costa, tornando-o mais susceptível de ser arrastado, ou mesmo danificado, pelas artes de pesca. Qualquer destas situações poderão afectar a qualidade dos dados obtidos.



Figura 6

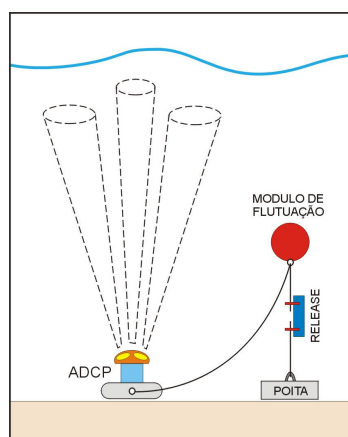


Figura 7

Figura 6 e 7 – Operação de fundeamento a bordo de uma lancha hidrográfica e esquema da amarração de um ADCP. (Quaresma dos Santos, 2001)

Para a medição da agitação marítima, os intervalos de amostragem devem ser os maiores possíveis, pois, quanto maior o intervalo de amostragem maior será a precisão do espectro calculado.

No caso do MAMBO, o ADCP foi fundeado por períodos de 2 meses, findo os quais era recolhido e substituído por outro. A amostragem foi efectuada a uma frequência de 2 Hz, e o tempo de amostragem (*Burst*) de nove minutos.

Inicialmente, neste projecto foi considerada uma amplitude de maré de 2 a 3 metros e uma altura máxima de ondulação de 10 metros. Com o decorrer da experiência e detecção de problemas a configuração inicial foi sendo alterada, nomeadamente no que diz respeito ao número de bins, que passaram de 35 para 48 porque o ADCP, uma vez fundeado aos 30 metros (com 35 bins) não realizava observações à superfície, ficando impedido de efectuar o cálculo dos parâmetros de ondulação.

### Configuração Inicial

Frequência do aparelho : 600 kHz

Salinidade : 35

Declinação Magnética : 5 ° W



Nº de Bins : 35  
Tamanho dos Bins : 0.65 m  
Pings por ensemble : 110  
Time entre ensemble : 10 minutos  
Duração do Burst : 9 minutos  
Intervalo do Burst : 1 Hora

Neste trabalho serão discutidos cinco casos em que se detectou um funcionamento incorrecto do ADCP, o qual, no entanto, nem sempre afectou a qualidade dos dados.

## **ANÁLISE DE CINCO CASOS ANÓMALOS**

### **1º Caso: Janeiro - Abril de 2001 – Assoreamento do fundo no local de fundeamento**

O ADCP foi fundeado no dia 15 de Janeiro e o planeamento foi efectuado por forma a que fosse recuperado no dia 6 de Abril. Nesta data, aquando da realização da operação de recolha, e após a interrogação do aparelho, não houve obtenção de qualquer resposta, pelo que não foi possível obter os dados registados. Foi imediatamente marcada a posição mas, apesar de posteriormente se terem executado diversas buscas, este aparelho foi recuperado apenas em Agosto desse ano.

Na fase de pré-processamento foi então detectado que os registos válidos terminavam, não em Abril como se supunha, mas no dia 23 de Janeiro (8 dias após o fundeamento), isto apesar de existirem registos até ao final de Fevereiro. A análise subsequente permite inferir que, muito provavelmente, o aparelho tenha ficado soterrado. Na realidade, e por observação dos valores de cabeceio e balanço, pode concluir-se que o aparelho ficou inclinado sem que isso tenha afectado a qualidade dos dados.

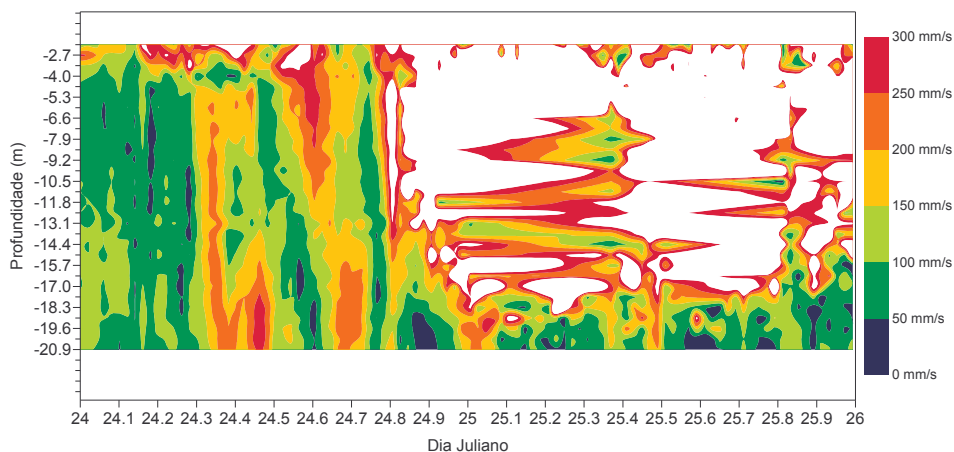


Figura n.º 9 – Registo de correntes entre 24 e 25 de Janeiro de 2001.

### **2º Caso: Junho - Agosto de 2001 – Planeamento desadequado à profundidade de fundeamento**

O problema identificado na fase de pré-processamento do aparelho decorre de um planeamento desadequado para a profundidade de fundeamento.

O ADCP foi fundeado cerca dos 30m, o que significa que nem toda a coluna de água foi registada (os 35 bins registavam apenas até aos 25 metros). Visto que os bins que servem de base para a estimativa dos parâmetros de agitação são os correspondentes aos níveis mais

superficiais, que neste caso não existiam, não foi possível obter dados válidos de agitação marítima, embora o registo de correntes seja válido durante todo o período de fundeamento.

A resolução deste problema passou por uma alteração ao planeamento inicial do aparelho, ou seja, em vez das 35 bins, optou-se por registar 48 (da mesma espessura das iniciais), além de tentar sempre que o ADCP ficasse fundeado mais perto da batimétrica dos 20m. Desta forma assegurou-se que toda a coluna de água apresentaria futuramente registos.

### **3º Caso: Novembro 2001 – Janeiro de 2002 – Avaria no sensor de pressão**

O problema detectado no ADCP fundeado durante este período resultou de uma avaria no sensor de pressão. A informação proveniente dos técnicos no campo indicava que o sensor continuava a registar 20kPa de pressão a bordo. Após o pré-processamento, constatou-se realmente que o sensor, em vez de oscilar em torno do nível médio, apresentava uma flutuação ascendente, tal como se pode verificar na figura n.º 10.

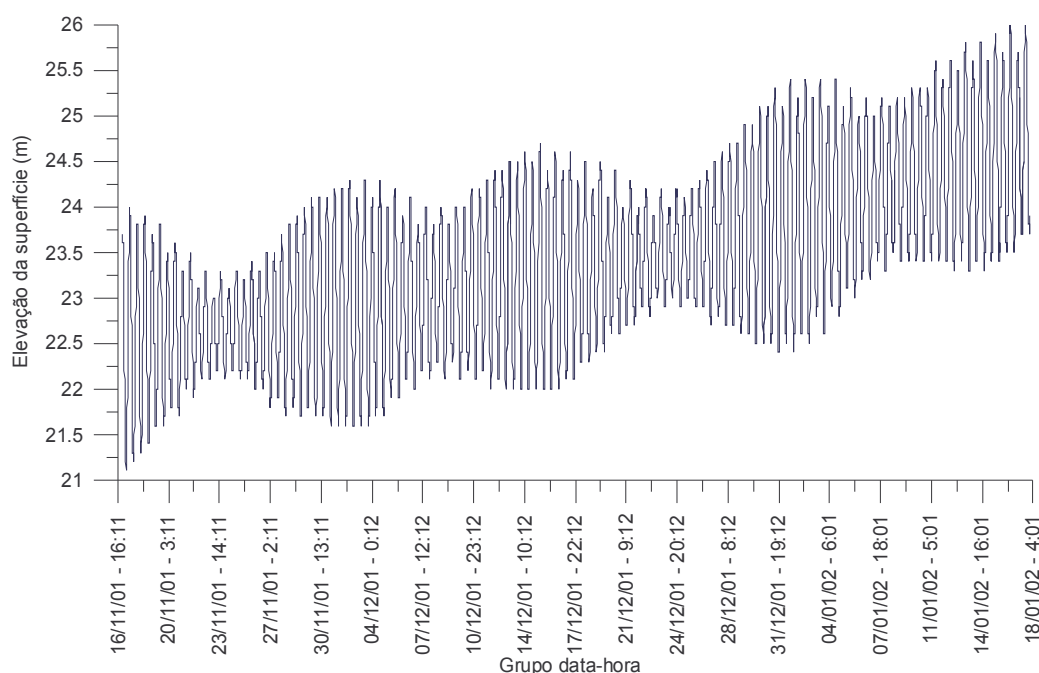


Figura n.º 10 – Registo de pressão entre 16/11/2001 e 17/01/2002.

Após contactos com o fabricante, determinou-se que esta anomalia surgiu devido a um deficiente funcionamento da membrana do sensor (perda de flexibilidade).

### **4º Caso: Setembro – Outubro de 2002 - Colisão com o aparelho**

Após o pré-processamento foi possível constatar que os dados de correntes apresentavam novamente registos inválidos, apesar dos registos de pressão serem válidos até ao fim do fundeamento.

A análise subsequente permitiu identificar a causa das anomalias detectadas nos dados. Na realidade, por volta das 08h00 do dia 04/10 o ADCP sofreu um embate (provavelmente por parte de uma rede de pesca) e passou da posição vertical para a horizontal. Uma vez nesta posição, se pelo menos dois dos quatro transdutores ficaram obstruídos, o registo de correntes não é válido - o que muito provavelmente aconteceu neste caso .



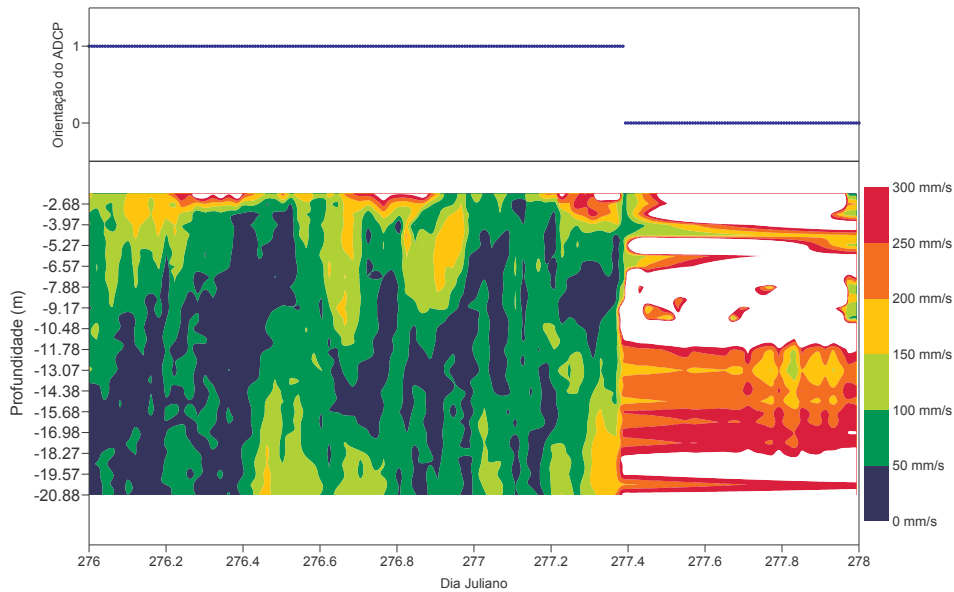


Figura n.º 11 – Registo de correntes e orientação do ADCP entre 3 e 4 de Outubro de 2002.

Situações deste tipo são frequentes quando se fundeiam aparelhos em zonas muito próximas de costa com intensa actividade piscatória.

#### **5º Caso: Janeiro – Fevereiro de 2003 – Deslocação intempestiva do ADCP sobre o fundo**

Após o pré-processamento foi possível constatar que entre as 15h20 e as 16h50 (aproximadamente) do dia 19/01 o ADCP foi deslocado para uma profundidade superior, o aparelho inclinou, tombou (linha verde – orientação), mas no seguimento desta deslocação, recuperou a verticalidade e continuou o registo de dados.

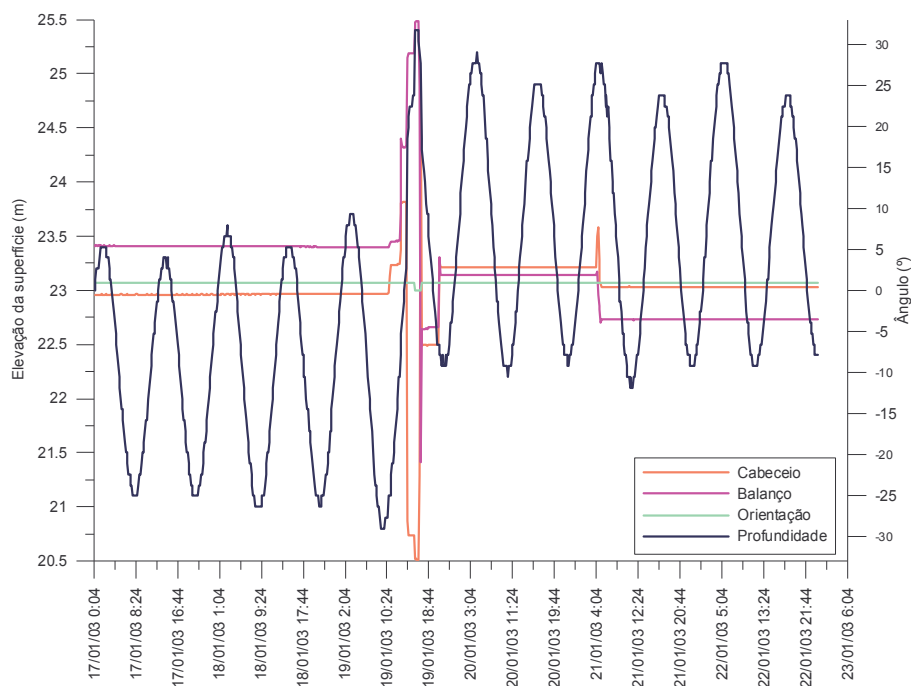


Figura n.º 12 – Registo de pressão, cabeceio, balanço e orientação do ADCP entre 17 e 23 de Janeiro de 2003.

## **OUTRAS CONSIDERAÇÕES**

Durante o decorrer do projecto MAMBO o software utilizado foi fornecido pelo fabricante (RD INSTRUMENTS). Sendo um "software" fechado, as deficiências de programação detectadas tiveram que ser suplantadas recorrendo a software desenvolvido no IH.

## **CONCLUSÕES**

Durante a execução deste projecto, ficou patente a grande utilidade que o ADCP possui na determinação dos parâmetros de agitação marítima e correntes. De facto, a elevada precisão e facilidade de manuseamento e operação deste equipamento, aliado à possibilidade de substituir uma cadeia de correntómetros tradicionais tem como consequência um aumento do espectro de utilização em projectos de monitorização das regiões costeiras.

O facto do perfilador ter sido utilizado por um longo período de tempo permitiu o desenvolvimento de aplicações e a acumulação de experiência no capítulo da configuração e parametrização do ADCP.

Neste artigo foram analisados cinco casos: assoreamento do fundo no local de fundeamento, planeamento desadequado à profundidade de fundeamento, avaria no sensor de pressão, colisão com o aparelho e deslocação intempestiva do ADCP sobre o fundo. Pretendeu-se também avaliar a relação entre as anomalias detectadas e a qualidade dos dados.

Os problemas detectados em fase de pré-processamento foram, sempre que possível, corrigidos num curto período de tempo, embora, como ficou patente nos exemplos apresentados, a validação dos dados nem sempre tenha sido viável. No caso de uma aquisição de dados em tempo real, alguns dos problemas mencionados poderiam ter dado origem a uma resposta quase imediata, salvaguardando assim os dados.

Actualmente, no IH, está a ser desenvolvida uma rotina de validação dos dados adquiridos pelos diferentes equipamentos que registam os parâmetros de agitação marítima (bóias ondógrafo, ADCP e WTR9), de forma a obter uma comparação de precisão dos dados obtidos.

O futuro da utilização dos ADCP's neste Instituto passa pela aquisição de dados em tempo real: Uma vez ultrapassadas as dificuldades técnicas inerentes à concretização deste objectivo, os dados poderão alimentar modelos matemáticos de previsão da circulação costeira e de simulação de processos hidrodinâmicos estuarinos

Os autores desejam expressar o seu agradecimento ao Instituto da Água pela disponibilização dos dados de ADCP, essenciais para a elaboração deste artigo.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Gordon, R.L.; January 1996; Acoustic Doppler Current Profiler-Principles of Operation, A Practical Primer; RDInstruments; San Diego, USA;
- RD Instruments; April 2001; Waves User's Guide;
- Quaresma dos Santos, L. *et al*; 2001; Utilização de Equipamentos Acústicos para Medição de Parâmetros de Agitação Marítima; 2<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária; 17 a 19 de Outubro de 2001, Sines;
- Mesquita Onofre; Junho 2002; Rel PT OC 02/2002 Monitorização Ambiental da Lagoa de Óbidos Dezembro de 2001/Abril de 2002; Divisão de Oceanografia – Instituto Hidrográfico;
- Terray, E.A. *et al*; Measuring Waves and Currents With an Upward - Looking ADCP