Implementação do "Programa de Informação Costeira - on line"

Eloi Melo F^o, J.H.G.M. Alves, R.C. Barletta, F.V. Branco, D. Franco, G.R. Hammes, F.M. Pimenta, D.A.R. Mendes, E. Prido, C.E.A. Salles, A.C. Souto (*)

Laboratório de Hidráulica Marítima

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

Universidade Federal de Santa Catarina

Campus Trindade, Cx. Po. 5039, Florianópolis, SC - 88040-970

(*) Equipe participante em ordem alfabética a partir do autor sênior.

Resumo

Com a implantação do Programa de Informação Costeira — on line (PIC) as condições do mar ao largo da ilha de Santa Catarina tem sido continuamente monitorada por meio de um ondógrafo direcional com informações disponibilizadas ao público em "tempo real" via internet. Este artigo apresenta um histórico da implantação do programa incluindo as principais dificuldades operacionais encontradas. O artigo também apresenta alguns resultados preliminares relativos a medições de onda e temperatura da água. A tendência de deriva do aparelho, monitorada através de GPS próprio, parece fornecer uma informação inusitada acerca das correntes sobre a plataforma continental sugerindo a presença de um fluxo residual de Sul para Norte.

Palavras-Chave: Monitoramento Costeiro em Tempo Real; Ondas Superficiais; Ondógrafo Direcional; Medições de Temperatura da Água; Correntes de Deriva; Costa de Santa Catarina.

1. Introdução

É inquestionável que o estabelecimento da rede internacional de comunicação - Internet - abriu de forma dramática os horizontes para disseminação da informação em todo o mundo. A combinação da Internet com o desenvolvimento de instrumentos de medição oceanográfica cada vez mais sofisticados e com capacidade de transmissão remota de dados, permitiu a realização de algo que até recentemente não passava de um sonho: divulgar em "tempo real" medições precisas das condições do mar. De fato, há alguns anos que programas de monitoramento "on-line" do estado do mar têm sido levados a cabo em países do "primeiro mundo" como, por exemplo, o Coastal Data Information Program (http://cdip.ucsd.edu) desenvolvido para a costa da Califórnia pelos colegas do Scripps Institution of Oceanography.

Campanhas de medição de onda no Brasil têm sido realizadas desde a década de 70. Como era quase sempre o caso, tais medições objetivaram fornecer subsídios para projetos de engenharia em locais específicos e, via de regra, os dados obtidos tinham divulgação restrita a agências governamentais e/ou ao meio acadêmico. Entretanto, desde o início deste ano, o Brasil também passou a contar com um serviço de monitoramento do estado do mar em tempo real. Trata-se do Programa de Informação Costeira — on line (PIC) implementado pelo Laboratório de Hidráulica Marítima da UFSC para a costa de Santa Catarina.

O presente artigo apresenta um breve histórico sobre a implantação do PIC incluindo as principais dificuldades operacionais encontradas e uma descrição sucinta do sistema utilizado. O artigo também apresenta alguns resultados preliminares com o intuito de ilustrar a utilidade e o potencial científico dos dados coletados.

2. Histórico da Implantação do Programa

Muitas dificuldades tiveram de ser superadas para que o PIC se tornasse realidade. O aparelho medidor de ondas (ondógrafo) havia sido adquirido pela

Petrobrás em 1996 dentro do convênio firmado entre a empresa e a UFSC para a realização de medições ambientais em São Francisco do Sul, SC, porém encontrava-se inativo desde 1997. A proposta original do projeto foi submetida ao CNPq em 1999 no edital do Plano Sul de Pesquisa e Pós-Graduação (Melo Fº, 1999), entretanto, por motivos vários, o financiamento do projeto só foi viabilizado em meados de 2001 com a parceria da Fundação de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (Funcitec). Assim, a participação do CNPq deu-se na forma de concessão de bolsas de estudo ficando os recursos financeiros a cargo da Funcitec.

A seguir, dois importantes obstáculos de ordem logística tiveram de ser equacionados. O primeiro dizia respeito à viabilização de uma embarcação adequada para colocação do instrumento no mar e o segundo à montagem de uma "base avançada" na costa oceânica da ilha para recepção e re-transmissão dos dados. (Nota: como o campus da UFSC situa-se na região central da ilha, não seria possível receber os dados diretamente no nosso laboratório uma vez que a distância envolvida excedia em muito o alcance de transmissão do aparelho)

O primeiro obstáculo foi resolvido graças a magnífica colaboração do CEPSUL, órgão do IBAMA sediado em Itajaí, SC, que prontamente disponibilizou o navio Soloncy Moura (Fig. 1) para o fundeio do ondógrafo.



Figura 1 – Navio Soloncy Moura do CEPSul/IBAMA, Itajaí, SC.

Com a apreciada colaboração dos colegas do Centro de Ciências Agrárias da UFSC, a base avançada foi montada nas instalações do Laboratório de Peixes de Água Doce – LAPAD - (Fig 2) estrategicamente situado a poucas centenas de metros da Praia da Armação no sul da Ilha de Santa Catarina. Além da localização privilegiada, este laboratório conta com a vantagem adicional de ter acesso à rede internet garantindo, assim, a retransmissão dos dados da base receptora até o Laboratório de Hidráulica Marítima (LAHIMAR) na UFSC.



Figura 2 – Instalações do Laboratório de Peixes de Água Doce na Praia da Armação. (Em primeiro plano vê-se a antena receptora do ondógrafo.)

3. Descrição do Sistema Utilizado

O monitoramento do estado do mar é feito através dum ondógrafo direcional Datawell Waverider Mark II (Figura 3). O aparelho é equipado com sensores capazes de medir as acelerações (componentes vertical e horizontais) da superfície do mar que permitem, após elaborado processamento, determinar as características do campo de ondas incluindo sua direção.

O ondógrafo foi instalado a 35 km ao largo da Ilha de Santa Catarina numa lâmina d'água de cerca de 80 metros de profundidade conforme mostrado na Figura 4.



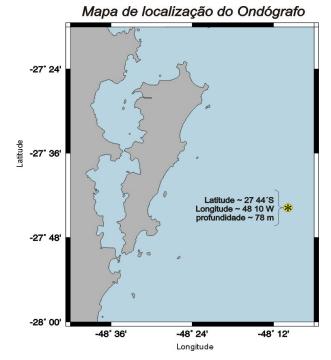


Figura 3 – Detalhe do Ondógrafo Waverider logo após sua colocação.

Figura 4 – Mapa de localização do ondógrafo

O esquema de fundeio utilizado, montado de acordo com especificações do fabricante, é composto pelas seguintes partes principais (Fig. 5):

- Poita: corrente de navio com cerca de 700 kg de peso
- Corrente de ligação (3/4" x 3.8 m)
- Cabo de polipropileno multifilado (14 mm x 88 m)
- Cabo de aço galvanizado (8.5 mm x 37 m)
- 2 cabos de borracha fornecidos pela Datawell (4 cm x 16 m cada)
- Corrente de ligação com a bóia (fornecida pelo fabricante)

A ligação entre as partes foi feita por meio de terminais e distorcedores especialmente confeccionados.

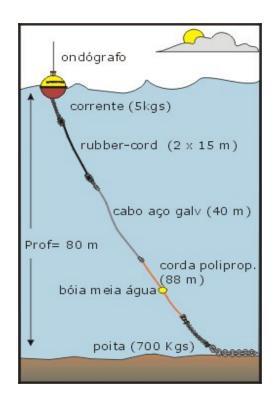




Figura 5 - Desenho esquemático do fundeio (painel esquerdo) e partes prontas para o lançamento (painel direito)

O sistema operacional do PIC funciona da seguinte maneira. Medições com duração de cerca de 20 minutos, obtidas de hora em hora, são transmitidas via rádio pelo ondógrafo diretamente para uma estação receptora montada no LAPAD que, por sua vez, as retransmite, via internet, para o LAHIMAR no campus da UFSC (Fig. 6) onde os dados são processados, armazenados e disponibilizados gratuitamente ao público através do site www.lahimar.ufsc.

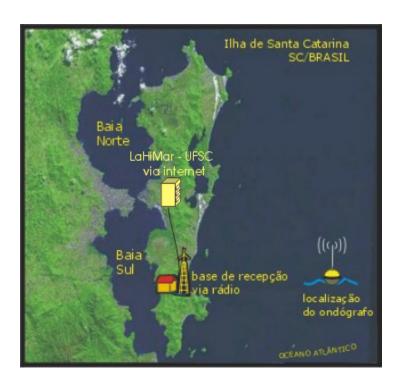


Figura 6 – Esquema de operação do PIC.

O tempo necessário desde o recebimento das medições até a divulgação no site é de menos de 1 hora, portanto, é possível acompanhar a evolução das condições do estado do mar em "tempo real", 24 horas por dia, inclusive à noite quando observações visuais não são possíveis. Além das medições de onda, o ondógrafo também envia três informações complementares: temperatura da água, posição do aparelho (medida através de GPS próprio) e nível de carga das baterias.

4. Dificuldades Operacionais Encontradas

A primeira dificuldade importante com que a equipe se deparou foi de ordem computacional. A estação receptora na base avançada é composta de uma antena ligada a um receptor de rádio (fornecido pelo fabricante do ondógrafo) que recebe e repassa os dados brutos para um computador cuja função é armazenar e retransmitir os dados, via internet, para a UFSC. Utilizamos um micro computador com sistema operacional Windows que, infelizmente, mostrou incompatibilidades

com o software de processamento fornecido pela Datawell (feito originalmente para DOS). Após muitas tentativas, conseguimos manter o sistema de recepção/transmissão de dados razoavelmente estável graças a instalação de um sistema operacional Windows NT com emulador Linux-CYGWIN que já possui o servidor OpenSSH. Atualmente estamos trabalhando para trocar todo o sistema operacional desse micro para Linux na esperança deste se mostrar ainda mais estável.

Apesar da melhoria, o computador da base avançada continua sendo o ponto mais problemático do sistema. Problemas geralmente ocorrem após eventos de falta de energia elétrica (relativamente comuns na área). Se a falta de energia se prolonga, o sistema "no-break" instalado não é capaz de manter o receptor e o computador funcionando. A reinicialização automática do computador quando do retorno da energia muitas vezes não se processa de forma adequada provocando o travamento do sistema.

Ao fim do primeiro mês de atividades, tivemos problemas com as baterias do ondógrafo. As baterias que utilizamos já haviam sido usadas na campanha de São Francisco do Sul 5 anos antes e estavam ainda com meia vida. Ocorre que as baterias apresentaram uma perda de carga acelerada e tiveram de ser trocadas. Felizmente, o laboratório dispunha de um conjunto de baterias (85 unidades!) sobressalentes que, apesar de terem mais de 6 anos de idade, nunca haviam sido usadas. Após testar as baterias de acordo com recomendação do fabricante, verificamos que as mesmas estavam em perfeitas condições de uso e, portanto, organizou-se uma expedição de emergência para efetuar a substituição. Contando novamente com o valioso apoio dos amigos do CEPSUL, e com a cooperação das condições atmosféricas e de mar, a faina foi levada a cabo no dia 26 de Dezembro de 2001. O ondógrafo foi içado a bordo do navio e as 85 baterias trocadas com sucesso.

Um problema que temos observado, refere-se a falhas temporárias de transmissão/recepção dos dados. Duas explicações possíveis têm sido aventadas. A primeira possibilidade é que a antena receptora (em terra) não esteja suficientemente alta e a segunda é que o ondógrafo esteja sendo parcialmente

"afogado" por falta de folga no fundeio. Apesar de não sabermos exatamente o motivo do problema, as falhas, até o momento, têm sido esporádicas não havendo comprometimento da campanha. De fato, em 8 meses de campanha conseguimos um aproveitamento de mais de 90% dos dados sendo a maioria das falhas de poucas horas de duração.

Danos e desaparecimentos de equipamentos oceanográficos por atos de vandalismo marítimo são relativamente comuns e, por garantia, foi feito um seguro do ondógrafo. Felizmente, não tivemos qualquer problema deste tipo até o momento.

5. Resultados Preliminares

Conforme mencionado acima, o monitoramento das condições do mar através do PIC está funcionando em regime operacional desde meados de Janeiro de 2002. Apesar de já termos coletado uma quantidade razoável de dados, uma análise completa desse material será realizada apenas ao final do primeiro ano de medições, portanto, nenhum resultado conclusivo será apresentado nesse trabalho. A presente sessão objetiva apenas ilustrar o tipo de informação coletada e também dar uma pequena amostra da sua utilização.

5.1 Ondas Superficiais

O ondógrafo Waverider produz medições dos deslocamentos da superfície do mar cujo processamento permite estimar o espectro direcional do campo de ondas. Simplificadamente, o processamento utilizado no PIC faz uso da análise de Fourier para estimar a distribuição de energia em freqüência e da técnica da Máxima Entropia para estimar a distribuição direcional de energia numa dada freqüência. Maiores informações sobre esse tópico podem ser encontrada, por exemplo, em Alves e Melo 1999.

A Figura 7 mostra uma série temporal de 3 meses da variável altura significativa total calculada no domínio da freqüência (HSF_{tot}) dada por:

$$HSF_{tot} = 4.0\sqrt{m_o}$$
 (1)

onde,

$$m_o = \int_0^\infty \int_0^{2\pi} E(f, \theta) d\theta df$$
 (2)

Com $E(f,\theta)$ sendo o espectro direcional do mar.

Nota-se que a altura significativa calculada dessa forma corresponde a energia *total* presente no mar.

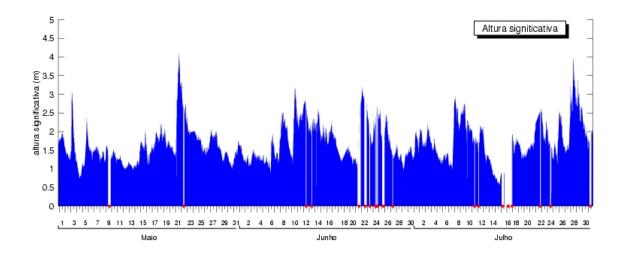


Figura 7 – Série temporal de Altura Significativa (HSF_{tot})

A Figura 8 apresenta o histórico das variáveis Período de Pico (Tp), definida como o período correspondente ao pico mais energético do espectro, e Direção Dominante (Dir), definida como a direção associada ao período de pico. (Obs.: esta direção corresponde à direção de origem das ondas, ex.: Dir = 180°, corresponde a ondas vindas de Sul).

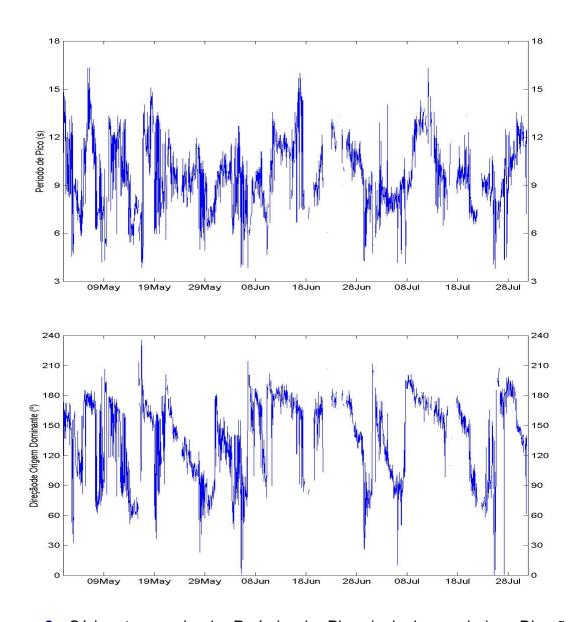


Figura 8- Séries temporais do Período de Pico (painel superior) e Direção Dominante (painel inferior)

Inspecionando-se as figuras, verifica-se que houve dois eventos onde a altura significativa chegou próximo a 4 m. O período de pico variou entre 4 seg. e pouco mais de 17 seg. havendo muitos eventos com direção dominante do quadrante Sul (180°) como é normalmente o caso no inverno. As informações contidas nos 3 gráficos acima aliadas ao conhecimento dos sistemas meteorológicos existentes na região oceânica capaz de gerar ondas que tenha acesso à região de medição fornecem a base de dados usualmente utilizadas para

caracterização do clima de ondas duma certa região. Um estudo deste tipo baseado numa campanha de duração mais limitada foi realizado por Alves e Melo (2001) para a região costeira de São Francisco do Sul, SC. Conforme já mencionado, a caracterização climática da região será feita apenas ao final do primeiro ano de medições.

A descrição dum estado de mar através de um único grupo de parâmetros (Hs, Tp e Dir) é bastante sedutora pela sua simplicidade e, por isso, largamente utilizada, porém o monitoramento diário das condições do mar com um ondógrafo direcional tem mostrado que esse tipo de descrição é, em muitas situações, insuficiente.

Para ilustrar essa questão, a Fig. 9 mostra o espectro direcional calculado para o dia 24 de Julho de 2002 as 16 horas. A situação existente no momento dessa medição dá uma idéia do grau de precisão que é possível obter a partir desse tipo de aparelho. De fato, o espectro direcional mostra a existência de 3 picos de energia bastante distintos: um primeiro relativo a uma ondulação de Sul com pico em 0.1 Hz, remanescente de um "swell" que havia dominado o mar no dia anterior, outro, mais energético, relativo a um "mar de leste" com pico em 0.12 Hz e, ainda, um terceiro proveniente de NNW de freqüência bem alta – pico em 0.24 Hz – sugerindo geração local. As condições atmosféricas existentes indicavam a aproximação duma frente fria. Os ventos, que tinham soprado do quadrante E durante o dia, deram lugar a ventos de NW. Assim, as condições de mar retratadas no espectro direcional tri-modal, refletiram de forma bastante consistente a evolução do campo de ventos existentes na ocasião.

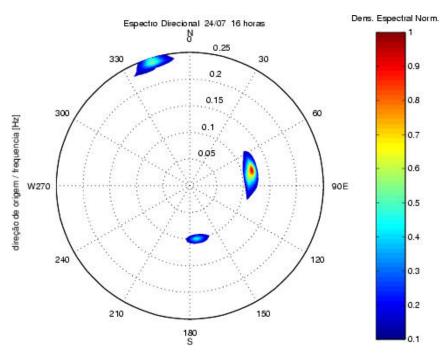


Figura 9 – Espectro Direcional medido no dia 24 / 07 / 2002 as 16:00 h. (Na convenção utilizada, a energia é colocada na direção de onde as ondas vêm).

É interessante observar que a descrição de um estado de mar através do seu espectro direcional possibilita identificar e, se necessário, "separar" diferentes campos de onda eventualmente existentes. Como o monitoramento tem mostrado que a presença de espectros multi-modais é bastante comum, a possibilidade de separação de "mares cruzados" poderá ser útil para uma melhor definição do clima de ondas na região em questão. No caso acima, por exemplo, um único estado de mar poderia ser decomposto em 3 conjuntos de Hs, Tp e Dir contribuindo simultaneamente com energia em 3 direções diferentes. Com este expediente, a definição da distribuição anual de energia por setores de direção – um dado climático muito utilizado em estudos de transporte de sedimentos na costa, por exemplo – poderá ser especificada de forma mais consistente com a realidade.

Essa característica multi-modal do espectro do mar na região em estudo também explica as variações rápidas do período de pico e da direção dominante observadas em várias ocasiões na Fig. 8. De fato, a existência simultânea de 2 (ou mais) campos de onda é responsável por este comportamento pois tanto Tp quanto Dir correspondem ao pico mais energético do espectro; se os picos tiverem

níveis de energia próximos, uma possível alternância entre os picos mais altos ocasionaria a oscilação de parâmetros acima referida.

Além do monitoramento das condições de onda ao largo, um dos objetivos originais do PIC é fazer diagnósticos do estado do mar em águas rasas ao longo da costa. O posicionamento do ondógrafo em 80 m de profundidade, na verdade, visou facilitar essa tarefa o máximo possível. A idéia é usar o espectro direcional medido ao largo como condição de contorno externa para modelos de propagação de ondas e dessa forma transformar essa medição pontual num diagnóstico regional do estado do mar ao longo dum certo trecho de costa. Esta é a etapa na qual a equipe do LAHIMAR encontra-se engajada no momento e espera-se que em breve já tenhamos esse serviço também em operação. Detalhes sobre esse tópico serão publicados oportunamente.

O Laboratório também oferece um serviço de previsão de ondas igualmente gratuito também disponível no site www.lahimar.ufsc. Este serviço usa como entrada campos de vento de domínio público prognosticados pela NOAA através de modelos atmosféricos (disponíveis na internet). Esses dados alimentam o modelo de geração de ondas WW3, também de domínio público, possibilitando que se façam previsões de onda para até 5 dias. Futuramente, pretendemos combinar as medições do ondógrafo com o modelo de previsão de ondas desenvolvendo um sistema de assimilação de dados que possibilite corrigir, quando necessário, resultados modelados a partir de dados de campo.

5.2 Temperatura da Superfície do Mar

A Figura 10 mostra uma série temporal da temperatura da água medida pelo ondógrafo para o mesmo período.

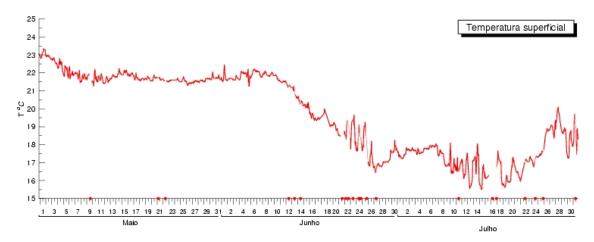


Figura 10 – Série temporal de temperatura para os meses de Maio, Junho e Julho de 2002

É interessante observar a tendência de decréscimo da temperatura registrada pelo instrumento a partir da segunda semana de Junho. De fato, uma inspeção visual da figura mostra que a temperatura, que durante o mês de Maio e início de Junho manteve-se em torno de 22° C, caiu consistentemente durante cerca de 2 semanas até atingir um patamar médio próximo a 17° C. Este pode ser um indício da penetração sobre a plataforma continental de uma massa d'água mais fria vinda do Sul como discutido a seguir.

5.3 Sentido de Deriva do Ondógrafo

O ondógrafo Waverider está também, equipado com um sistema de localização GPS concebido para auxiliar na recuperação do aparelho caso este se desgarre do fundeio. Esse sistema possibilita determinar a posição da bóia no mar com uma precisão da ordem de 10 metros. Adicionalmente, o sistema de fundeio utilizado, longo e flexível, permite que o ondógrafo se desloque dentro de um círculo com cerca de 200 metros de diâmetro. A Fig. 11 mostra a posição assumida pelo aparelho a cada hora durante o período de observação considerado nesse trabalho.

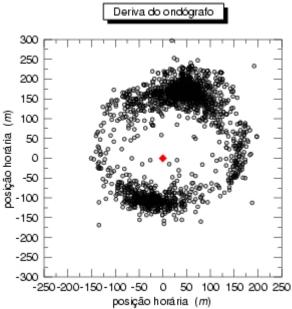


Figura 11 – Posição horária do ondógrafo durante os meses de Maio, Junho e Julho de 2002

Analisando a figura constata-se um resultado inesperado: o sistema GPS do ondógrafo é preciso o suficiente para ser utilizado como indicador do sentido de deriva do equipamento. De fato, o gráfico mostra claramente que o ondógrafo tende a assumir posições interiores a um círculo traçado a partir do ponto de lançamento da poita conforme se esperava. Curiosamente, a figura também mostra que os pontos não estão uniformemente distribuídos ao longo do círculo de posições possíveis indicando que a bóia tende a derivar dentro de um setor de direção preferencial. A grosso modo, pode-se dizer que o ondógrafo tende a derivar ou no sentido Norte (i.e., para Norte) ou no sentido Sul (i.e., para Sul) havendo poucas ocorrências de deriva no sentido Leste ou Oeste. Observa-se que a direção "escolhida" pelo equipamento corresponde à orientação da linha de costa na região (ver Fig. 4).

Para melhor quantificar esta tendência construiu-se um histograma direcional da deriva, mostrado na Figura 12, de forma tal que o comprimento de cada barra fosse proporcional ao número de ocorrências dentro de setores de direção com 22.5° de largura (independentemente da magnitude do deslocamento).

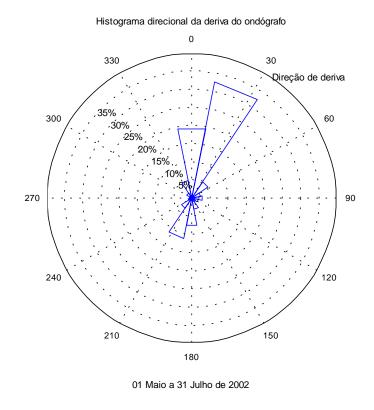


Figura 12 – Histograma direcional da posição horária do ondógrafo

Considerando a percentagem de ocorrência dentro de cada um dos 4 quadrantes, o histograma fornece o seguinte resultado: Deriva para N = 62%, para E = 9%, para S = 24.7% e para W = 4.3%. Portanto, há indícios bem evidentes da predominância da deriva do ondógrafo para Norte.

Para ilustrar a alternância do sentido da deriva ao longo do tempo, traçouse a Figura 13 abaixo a qual mostra a variação da componente do vetor posição do ondógrafo segundo uma direção aproximadamente paralela a linha de costa (quase N-S).

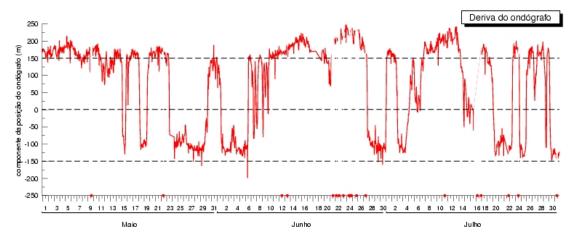


Figura 13 – Série temporal da componente do vetor posição horária do ondógrafo segundo uma direção aproximadamente paralela à linha de costa.

Os resultados acima mostram que a deriva do ondógrafo apresenta um padrão bem definido o qual deve refletir de alguma maneira o fenômeno responsável por tal movimento. Esse tópico está sendo investigado pela equipe do LAHIMAR havendo ainda muitas questões que precisam ser melhor elucidadas, entretanto, em vista da sua importância para estudos de dispersão de óleo no mar, apresenta-se, a seguir uma discussão preliminar sobre a interpretação desses resultados.

5.3.1 Discussão Preliminar

Dentre os agentes físicos capazes de produzir arraste no instrumento - ondas, correntes marítimas e ventos - nós acreditamos que a deriva do ondógrafo responda primordialmente às correntes marítimas. Essa expectativa baseia-se numa análise simplificada do problema, apresentada no Apêndice, que ainda necessita de estudos complementares para sua confirmação.

Admitindo, por hipótese, que o sentido de deriva do ondógrafo reflita o sentido de deriva das águas no local de medição, é interessante observar que, apesar de haver uma alternância cíclica de sentido (Fig. 13), a deriva para Norte ocorreu em 62% do tempo enquanto a deriva para Sul em apenas 25% para o período considerado (Fig. 12). Apesar de não dispormos da intensidade da

corrente, este resultado qualitativo sugere a existência de uma corrente residual de Sul para Norte sobre a plataforma continental sul-sudeste brasileira. Admitindo que tal corrente transportasse águas mais frias que as normalmente encontradas na plataforma de Santa Catarina, um fluxo residual para Norte deveria ocasionar uma queda de temperatura no mar à medida que essa nova massa d'água penetrasse na região. Essa conjectura parece estar de acordo com a queda de temperatura observada pelo aparelho (Fig 10).

Na verdade, a existência de uma corrente residual para Norte sobre a plataforma continental sul brasileira não é novidade tendo sido investigada por diversos autores (e.g. Campos, Lorenzetti, Stevenson, Stech e Souza, 1996 e Pimenta, 2002).

Do ponto de vista de derrames de óleo no mar, a disponibilidade de uma medição em *tempo real* do sentido de deriva das águas superficiais pode ser útil para se ter uma idéia do rumo para onde o óleo seria advectado num eventual vazamento.

Esse bônus extra, proporcionado pelo GPS do ondógrafo, também sugere um método indireto para medição de correntes superficiais. Com efeito, se a dinâmica do arraste no sistema bóia+cabos puder ser modelada com precisão razoável será possível inferir a intensidade da corrente, além da sua direção e sentido, a partir duma medição de deriva da bóia. Esse e outros tópicos estão sendo investigados no LAHIMAR e serão apresentados oportunamente.

6. Conclusões

O Programa de Informação Costeira disponibiliza gratuitamente informações sobre o estado do mar em tempo real através da internet no site (www.lahimar.ufsc.br). O controle de acessos à página indica cerca de 45000 visitas em 8 meses de funcionamento o que mostra o interesse da comunidade por este serviço.

Além do aspecto prático de caráter imediato, acreditamos que o acervo de dados que está sendo coletado será de grande importância para elucidar inúmeras

questões científicas importantes para o entendimento da hidrodinâmica da região costeira do sul do Brasil.

Graças as facilidade da internet, o Programa de Informação Costeira — *on line* possibilitou aliar de forma harmoniosa um serviço de utilidade pública ao trabalho de pesquisa científica que se almeja realizar na UFSC. Com o sucesso do monitoramento em Santa Catarina, o Programa poderia ser ampliado para outras regiões costeiras do país.

7. Agradecimentos

A implementação do Programa de Informação Costeira foi possível graças ao suporte financeiro do CNPq e da Funcitec, à colaboração da Petrobrás e do CEPSUL/Ibama e, principalmente, ao entusiasmo e motivação da equipe de pesquisadores e alunos envolvidos no projeto. A todos deixamos nosso profundo reconhecimento.

8. Apêndice - Estimativa da Ordem de Grandeza do Arraste induzido por Ondas, Correntes e Ventos sobre o Ondógrafo

Ondas superficiais induzem movimentos oscilatórios na água quando da sua passagem (Ver, por ex. Dean e Dalrymple 1984). No caso de ondas monocromáticas de amplitude infinitesimal em águas profundas, uma partícula de água na superfície descreverá uma órbita aproximadamente circular não havendo, portanto, transporte de massa. Se a amplitude da onda deixar de ser infinitesimal a simetria do movimento é quebrada (o "vai" torna-se um pouco mais forte que o "vem"), a órbita não mais se fecha sobre si mesma e surge uma corrente residual, conhecida, como deriva de Stokes. A deriva de Stokes é um efeito não-linear que, portanto, depende da declividade da onda (i.e. relação entre amplitude e comprimento de onda). Para o caso de ondas monocromáticas tem-se (Phillips, 1969, pg 32):

$$U_{st} = \frac{\sigma ka^2 \cosh 2k(z_o + d)}{2\sinh^2 kd}$$
 (3)

Onde, a= amplitude, σ =freqüência angular, k=número de onda, z_o=profundidade onde se deseja calcular a velocidade (superfície \rightarrow z_o=0) e d = profundidade local.

De posse da eq (3) é possível estimar a ordem de grandeza da deriva de Stokes para a região de fundeio do ondógrafo. Tomando, por exemplo, os valores a=1 m, T=10 s, d = 80 m e z_o = 0 (deriva superficial) obtém-se U_{st} = 0. 025 m/s (OBS. altura da onda é o dobro da amplitude). Para a=2 m, T=8 s, tem-se U_{st} = 0. 20 m/s.

Com a análise acima pode-se inferir que a ordem de grandeza da corrente residual induzida pelas ondas na superfície do mar na região de fundeio deve ser de alguns cm/s na maior parte do tempo. Em situações de mar agitado, principalmente em situações (raras) de mar com períodos curtos, essa corrente pode chegar a algumas poucas dezenas de cm/s. Por outro lado, a ordem de grandeza esperada para correntes marítimas não relacionadas às ondas superficiais (e.g. correntes de maré, de ventos, correntes geostróficas, correntes inerciais, etc) é de algumas dezenas de cm/s a 1 m/s. Portanto, é razoável concluir que na maior parte do tempo a deriva superficial da água seja dominada pelas correntes marítimas e não pela ação das ondas superficiais.

A magnitude relativa do arraste das correntes marítimas e dos ventos sobre o ondógrafo, será agora analisada. Inicialmente, observa-se que as correntes marítimas vão atuar, não apenas sobre o ondógrafo, mas também sobre os cabos do fundeio, no sentido de arrastar todo o sistema (bóia+cabos) junto consigo. Além disso, tanto a intensidade quanto a *direção* da corrente ao longo da profundidade podem apresentar variações. Entretanto, nessa análise simplificada vamos considerar apenas o arraste das correntes no corpo do ondógrafo.

De maneira geral, num escoamento a alto número de Reynolds (i.e. turbulento) a intensidade do arraste do fluido sobre um corpo qualquer depende: (i) da intensidade da corrente (U), (ii) da área e da forma do corpo (parametrizadas

em função dum coeficiente de arraste C) e (iii) da massa específica do fluido (ρ_{agua} para correntes e ρ_{ar} para os ventos).

Assim, da mesma forma que as correntes marítimas, o vento sobre a superfície do mar também pode provocar deriva no ondógrafo através duma força de arraste atuante na parte emersa do mesmo. Como o ondógrafo foi construído de modo a ficar 50% submerso quando em operação (ver Fig 3), o arraste do vento e o arraste das correntes marítimas dar-se-iam sobre um corpo com a mesma superfície e a mesma forma.

Em vista do que foi apresentado acima, uma análise da magnitude relativa do arraste provocado pelo vento e pelas correntes marítimas sobre o ondógrafo pode ser feita através da seguinte relação:

$$\frac{F_{\text{corrente}}}{F_{\text{vento}}} = \frac{\rho_{mar} C_{submersa} V_{corr}^2}{\rho_{ar} C_{emersa} V_{vento}^2}$$

Como a parte submersa é idêntica a parte emersa do ondógrafo devido a sua forma esférica, o coeficiente de arraste (C) tem o mesmo valor sendo eliminado da eq (5). Admitindo que velocidade do vento ao nível do mar seja 10 vezes maior que a velocidade da corrente a superfície e sabendo que a massa específica da água é cerca de 1000 vezes maior que a do ar, tem-se

$$\frac{F_{\text{corrente}}}{F_{\text{vento}}} = \frac{\rho_{mar}V_{corr}^2}{\rho_{ar}V_{vento}^2} = \frac{1000 \cdot 1}{1 \cdot 100} = 10$$

A conclusão dessa análise simplificada é que o arraste do ondógrafo pelas correntes marítimas deve ser uma ordem de magnitude maior que o arraste causado tanto pelo vento quanto pela corrente residual induzida pelas ondas. Em ambos os casos, tal relação seria ainda aumentada se considerássemos o arraste da corrente no fundeio. Portanto, acreditamos que a deriva do ondógrafo esteja respondendo primordialmente às correntes marítimas.

9. Referências

- Alves, J.H.G.M. e Melo, E., 2001. "Measurement and Modeling of Wind-Waves at the Northern Coast of Santa Catarina, Brazil". **Revista Brasileira de Oceanografia**, 49(1), pp 13-28.
- Alves, J.H.G.M. e Melo, E., 1999. "On the Measurement of Directional Wave Spectra at the Southern Brazilian Coast", **Applied Ocean Research**, vol. 21, pp 295-309.
- Campos, E.J.D., Lorenzetti, J.A., Stevenson, M.R., Stech, J.L. e Souza R.B., 1996. "Penetration of Waters from the Brazil-Malvinas Confluence Region Along the South American Continental Shelf up to 23° S". **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 68 (Supl. 1), 49-58.
- Dean, R.G. e Dalrymple, R.A., 1984. "Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists". **Advanced Series on Ocean Engineering**, Vol. 2. World Scientific, 353 pp.
- Melo F^o, E., 1999. "PIC-Sul: Programa de Informação Costeira on line". **Resumos do 3º Seminário sobre Ondas e Marés Oceânicas**, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ.
- Phillips, O.M., 1969. "The Dynamics of the Upper Ocean", Cambridge University Press, 261 pp.
- Pimenta, F.M., 2001. "Estudo Numérico da Influência da Descarga Fluvial e dos Ventos sobre a Dinâmica da Pluma do Rio da Prata", Diss. M.Sc. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.