

## Animação de Espectros Direcionais de Ondas em 3D

**João Carlos Strauch**

Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG - Departamento de Física  
Av. Itália, km 8 - CEP 96201-090 Rio Grande, RS

**Rodrigo Malta Schmidt**

Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG

**Fábio Rodrigues de la Rocha**

Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Recebido: 05/07/00 - revisão: 29/11/00 - aceito: 09/10/01

---

---

### RESUMO

Com o objetivo de monitorar o clima ondulatório ao largo da costa da cidade de Rio Grande (RS), foi instalado, em convênio com o INPH, um ondógrafo direcional tipo waverider, na batimétrica de 15 metros, a aproximadamente 15 quilômetros da linha da costa.

A fim de proporcionar uma melhor visualização dos dados registrados pelo equipamento e objetivando um estudo mais aplicado, foi desenvolvido um programa de computador de animação de espectros direcionais de ondas. Tal programa, através de uma interface amigável, torna mais fácil o acompanhamento da evolução da agitação marítima local.

A entrada de dados do sistema consiste nos arquivos que são gerados pelo receptor do ondógrafo e a saída é representada por uma animação em três dimensões correspondentes a direção, frequência e energia das ondas; existindo ainda a possibilidade de gerar arquivos com formato especial para posterior importação por um programa de planilha eletrônica.

Consegue-se, então, uma ótima base para estudos relacionados principalmente à ocorrência de ondas de tempestade, geradas normalmente nas baixas latitudes do Atlântico Sul e associadas a entrada de frentes frias.

**Palavras-chave:** *dinâmica costeira; animação de espectros.*

---

---

### INTRODUÇÃO

O estudo da dinâmica costeira na região sul do Rio Grande do Sul reveste-se de especial interesse visto que boa parte da economia depende do mar.

O levantamento do clima ondulatório no estado do Rio Grande do Sul, foi executado pioneiramente por Motta (1963), onde no relatório Análise e Previsão de Ondas em Tramandaí, solicitado pela Petrobrás, foi apresentada a campanha de campo realizada para determinação da onda máxima junto a região do terminal de petróleo em Tramandaí. Os registros foram obtidos de maneira descontínua de outubro de 1962 a setembro de 1963, utilizando uma ecosonda. Através de uma análise estatística dos dados foi determinado a altura máxima de onda de sete metros para um tempo de retorno de trinta anos.

Na região sul do Estado, um segundo levantamento sistemático do clima ondulatório foi executado através da instalação de um ondógrafo tipo waverider, não direcional, nas proximidades da entrada da barra do

porto de Rio Grande (Strauch, 1996). A pesquisa foi viabilizada através de convênio entre a Fundação Universidade Federal do Rio Grande, FURG, e o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, CDTN. Durante aproximadamente dois meses de verão foram adquiridos dados de altura e período das ondas em papel registrador. Para a análise dos dados foi necessário a digitalização dos mesmos, o que demandou grande trabalho e tempo. Este estudo para a FURG, que possui sua vocação voltada para o mar, consistiu num marco com a possibilidade do aproveitamento dos dados nos cursos de pós-graduação em engenharia oceânica, oceanografia física, química e geológica e oceanologia.

## O CONVÊNIO FURG/INPH

No início do ano de 1996, o Instituto de Pesquisas Hidroviárias, INPH, procurou o Departamento de Física da FURG, para uma parceria visando o monitoramento de ondas ao largo da costa da cidade de Rio Grande, objetivando apoio técnico dentro do projeto de recuperação do molhe leste do porto local.

Ao projeto somaram-se a Companhia Brasileira de Projetos e Obras, CBPO, líder de um consórcio de empresas que realizou o serviço de campo, o Departamento de Portos do Ministério dos Transportes, órgão fiscalizador e financiador do projeto e a Marinha do Brasil.

O cálculo da estrutura de proteção, ou seja, do reforço no enrocamento, foi previamente executado pelo INPH (1995), com base no estudo do clima ondulatório de Motta em Tramandaí. Esses dados foram transportados para Rio Grande através de uma retro-refração das ondas da batimétrica de 17 m até o largo e com uma posterior refração até as proximidades do molhe leste, utilizando-se um modelo matemático de ondas monocromáticas, desenvolvido pelo INPH. No sentido de verificar o projeto executado e também para o dimensionamento de futuras obras, o INPH resolveu fundear um ondógrafo direcional na batimétrica de 15 m, nas proximidades do molhe em recuperação.

## INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO E AQUISIÇÃO DO SINAL

Após a assinatura do convênio iniciaram os trabalhos de preparação do lançamento do ondógrafo ao mar (fundeio), a cargo da CBPO e da FURG, através do acompanhamento de vídeos de fundeios já realizados pela FURG e preparação de dispositivos como poitas, bóias de sinalização e correntes.

Para tanto contou-se com o auxílio decisivo da Marinha do Brasil, através do Serviço de Sinalização Náutica localizado em Rio Grande que não poupou esforços no apoio à empreitada. A Marinha providenciou bóias de sinalização com iluminação para a proteção do equipamento, principalmente contra o intenso trânsito de embarcações rumo ao porto de Rio Grande, como também da pesca de arraste, comum na região.

O fundeio foi coordenado por um engenheiro da firma holandesa Datawell, fabricante do equipamento, que se deslocou para Rio Grande para esta tarefa. A operação foi realizada no dia 11 de outubro de 1996, através da Fragata Almirante Saldanha da Marinha do Brasil e posicionou-se o ondógrafo nas coordenadas 32° 10'S e 51° 58'W, na frente do molhe leste, como mostra a Figura 1.

Logo após o retorno à terra, nas instalações do Departamento de Portos verificou-se através do equipa-

mento de recepção (WAREC - *Wave Receiver*) a comunicação bóia/receptor pela aquisição de um sinal e a conseqüente análise estatística e espectral do mesmo. O equipamento veio previamente testado de fábrica e foi feito, para sua instalação ao mar, alguns simples testes eletrônicos e uma calibração estática.

O ondógrafo foi programado para adquirir três tipos de arquivos com uma frequência que varia dependendo da agitação do mar, ou seja, se a altura significativa das ondas for menor que dois metros, a aquisição ocorre em um intervalo de tempo de três horas. Esse critério foi tomado com o conhecimento prévio das ondas na região, através de trabalhos anteriores, impedindo assim uma grande concentração de arquivos de ondas diários no caso de mar com pouca agitação. Quando da entrada de ondas de tempestade, aí a aquisição é praticamente contínua ao longo do evento extremo, correspondendo a um intervalo de meia hora entre aquisições. O tempo total de monitoramento das ondas conforme projeto do INPH é de dois anos, podendo prorrogar-se até cinco anos.

O primeiro arquivo aqusitado em importância corresponde aos dados brutos. São apenas quatro informações por linha, compreendendo um *status*, uma elevação da onda e duas direção de propagação. A partir destes dados, com a utilização de um programa de simulação é possível a realização de análises do clima ondulatório. O segundo arquivo em interesse consiste da resposta espectral executada através de um processamento realizado no interior do ondógrafo. Este arquivo serve também como garantia no caso da perda de dados brutos, devido a falhas na comunicação, ficando armazenado na bóia por um período de até quatro horas. Finalmente temos o arquivo que fornece uma análise estatística do registro, onde parâmetros característicos de onda tais como a altura significativa, o período significativo, a direção de propagação e a energia de pico são revelados.

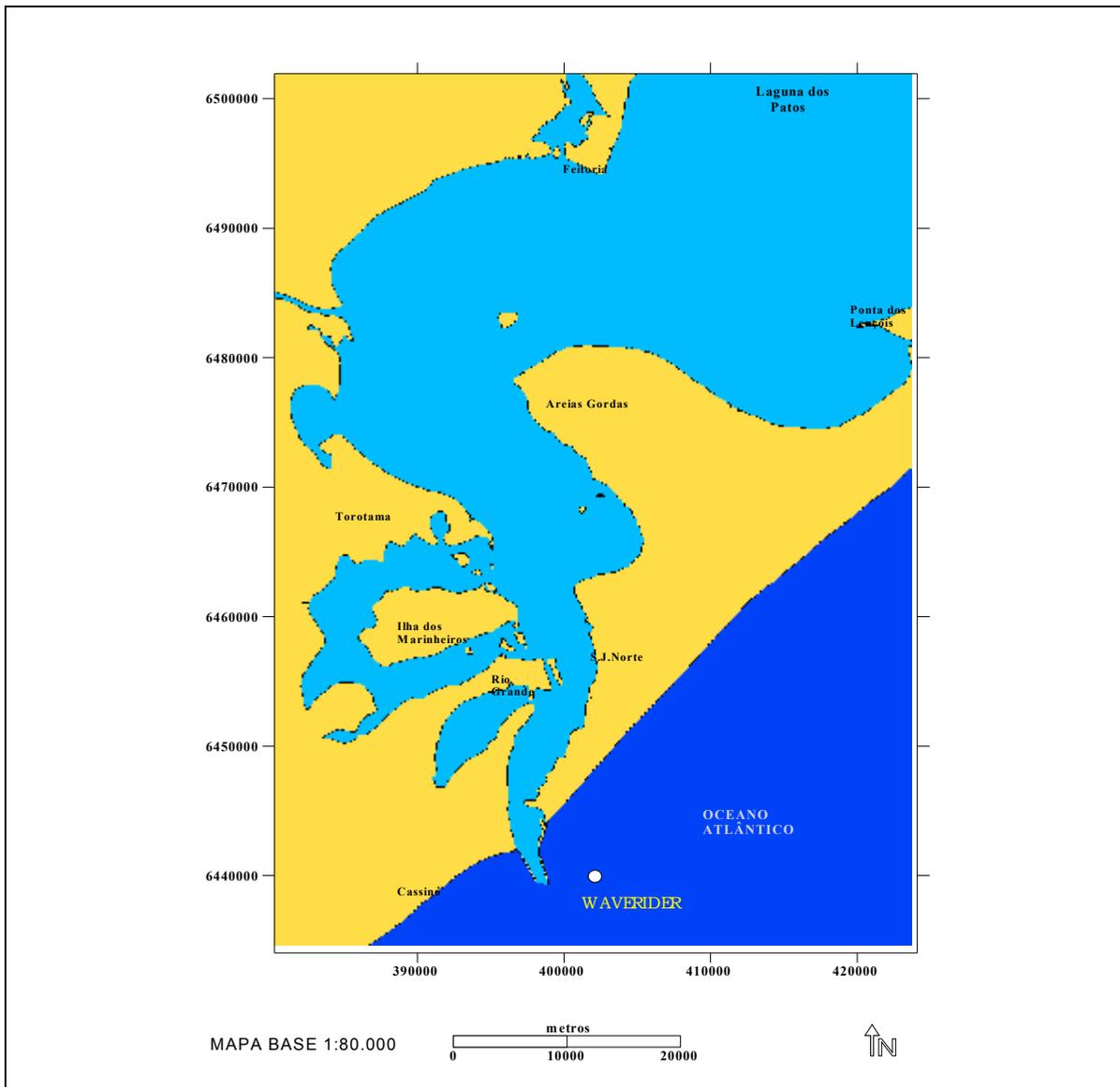


Figura 1. Localização do ondógrafo direcional.

### ANIMAÇÃO DE ESPECTROS DIRECIONAIS DE ONDAS EM 3D

O programa de animação de espectros direcionais de ondas em 3D desenvolvido é um sistema de computação que objetiva a visualização das características das ondas, durante o intervalo de tempo de interesse, sendo solicitado apenas como dados de entrada os arquivos inicial e final da animação (Strauch, 1997).

O sistema foi implementado em linguagem C++, baseado no sistema operacional MS-DOS. Procurou-se utilizar os princípios da programação orientada a objetos a fim de tornar o sistema claro, seguro e confiá-

vel. O desenvolvimento do programa de animação partiu de um estudo realizado sobre um *software* escrito na linguagem de programação QuickBasic, fornecido pela Datawell. Baseando-se neste foi possível adquirir um entendimento extra sobre o formato dos arquivos espectrais.

Este arquivo consiste de um cabeçalho com as seguintes informações: altura significativa, período médio, energia de pico, direção de pico, espalhamento angular (*spread*) e temperatura da água do mar.

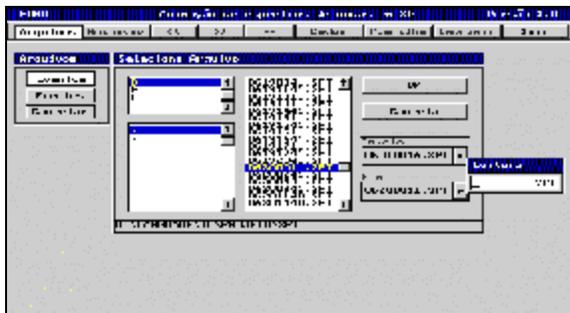


Figura 2. Abertura de eventos.

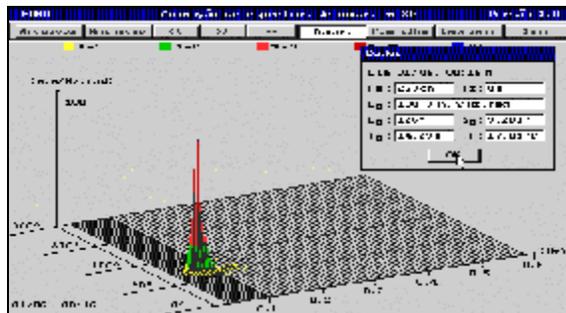


Figura 4. Dados do espectro atual.

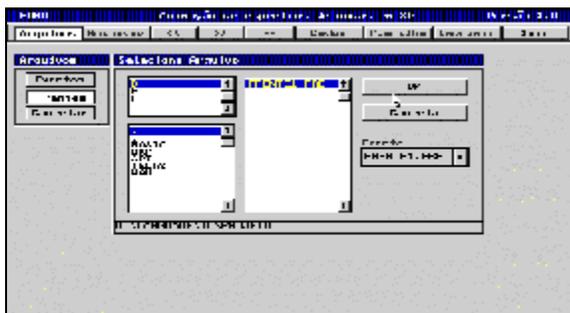


Figura 3. Abertura de frentes.



Figura 5. Geração de uma planilha.

As entradas do programa são justamente os arquivos que deverão ser lidos (do disco rígido ou do CD-ROM) para a memória do computador. Após, são realizadas operações a fim de se normalizar estes dados de acordo com os limites de implementação, construindo desta maneira um gráfico tridimensional baseado no processamento dos parâmetros provenientes do arquivo espectral. A seleção destes arquivos é realizada de acordo como mostra a Figura 2. O programa ao final de cada animação pode gerar opcionalmente um arquivo de frentes, o qual faz uma referência a todos os arquivos de espectro de ondas que foram utilizados durante a última animação. A partir desta técnica é possível gerar uma base de dados composta por ondas que correspondem a uma tempestade. Estas frentes podem ser, conseqüentemente, também utilizadas como parâmetro de entrada da animação, como mostra a Figura 3.

Logo após as entradas serem corretamente aceitas, o processo de animação de espectros de ondas em 3D será iniciado. Este poderá ser interrompido a qualquer momento, sendo possível realizar uma animação passo a passo dos eventos indicados. O programa mostra também os parâmetros característicos do espectro de ondas corrente, como ilustra a Figura 4, através de uma caixa de diálogo específica.

Caso seja necessário a visualização do gráfico tridimensional do espectro de ondas de outra maneira que não seja através da tela do computador, pode-se escolher a opção de imprimir, situada na barra de operações do sistema.

Uma importante característica do programa de animação é a utilização de uma escala de cores que divide o gráfico do espectro de ondas em níveis de energia.

Através do programa, também é possível gerar uma planilha, contendo todos os parâmetros característicos dos espectros de ondas correntemente em uso. Um exemplo deste tipo de interface encontra-se na Figura 5. Esta operação gera dois tipos de arquivos: um dos dados (própria planilha) e outro de erros (*bugs*). Este último é utilizado devido a possibilidade da existência de alguns arquivos espectrais corrompidos em conseqüência de falha na transmissão dos dados pelo ondógrafo para o receptor.

Após a geração deste arquivo, podemos exportá-lo, por exemplo, para um programa típico de planilha de dados, como o Excel. Desta maneira pode-se elaborar vários tipos de gráficos utilizando os dados característicos de um conjunto de espectros de ondas. Na Figura 6 apresentam-se os gráficos da evolução temporal dos parâmetros altura

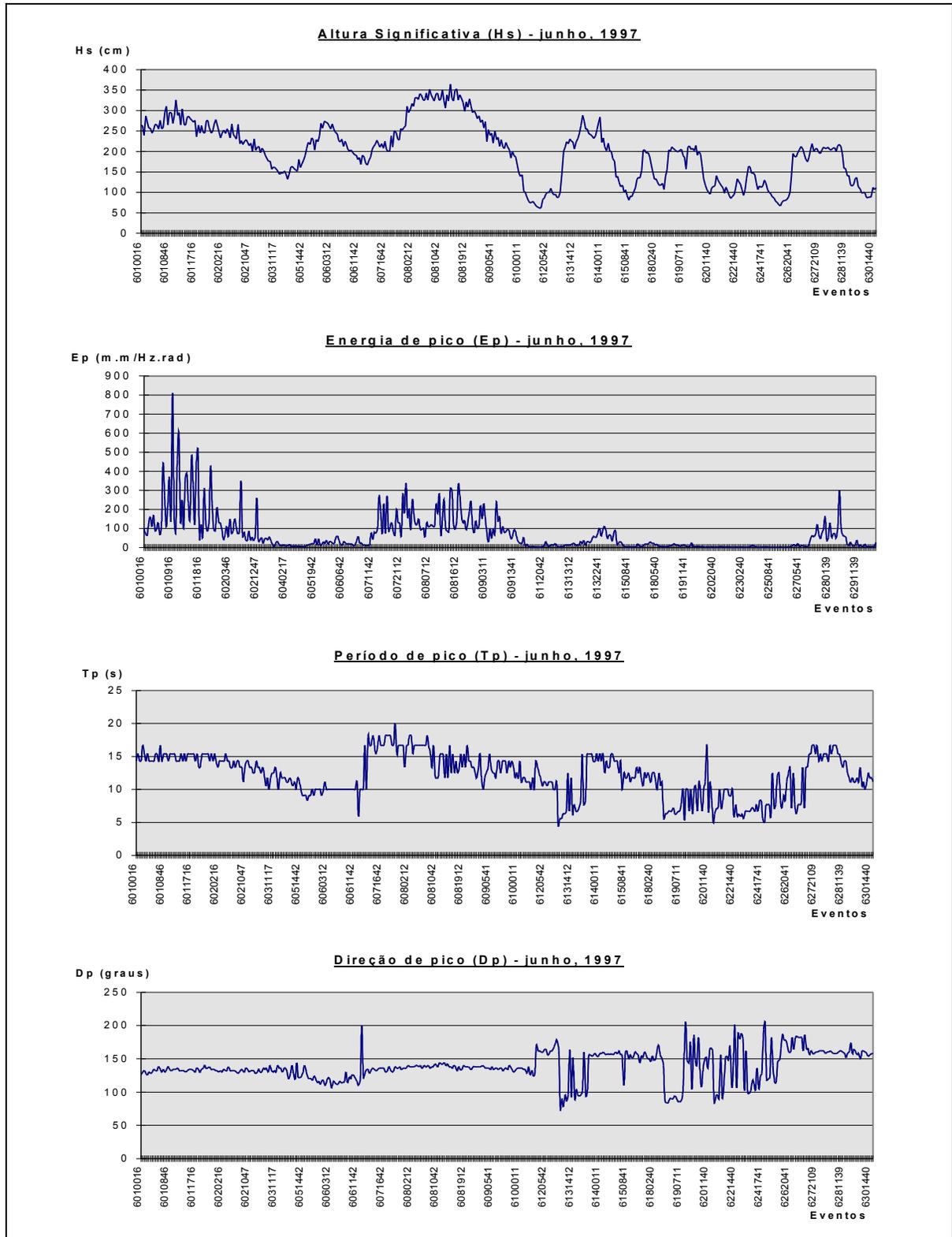


Figura 6. Gráficos da altura significativa, energia, período e direção de pico - junho, 1997.

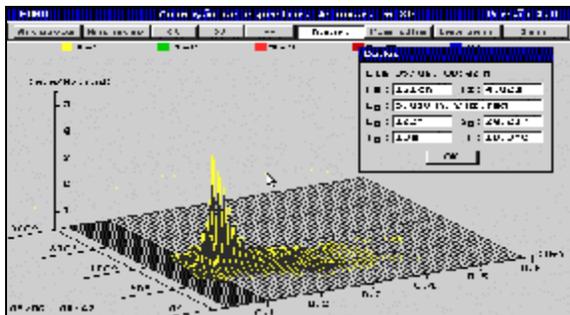


Figura 7. Início da animação com pequena energia espalhada nas diferentes frequências.

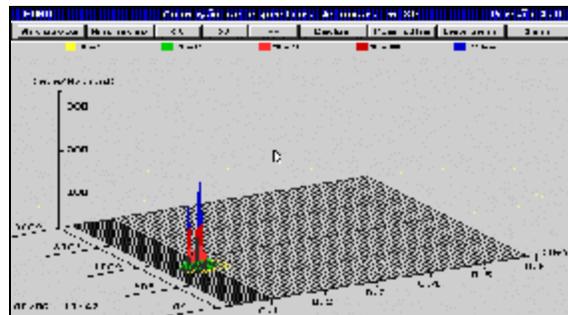


Figura 10. Alta energia com pico estabilizando-se em uma frequência.

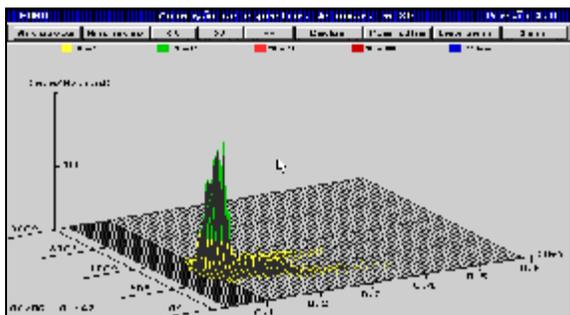


Figura 8. Aumento da energia.

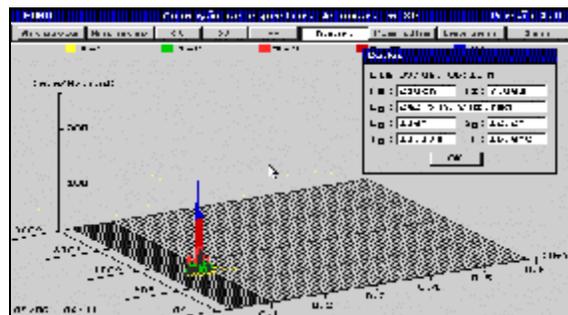


Figura 11. Energia estabilizou-se em uma frequência.

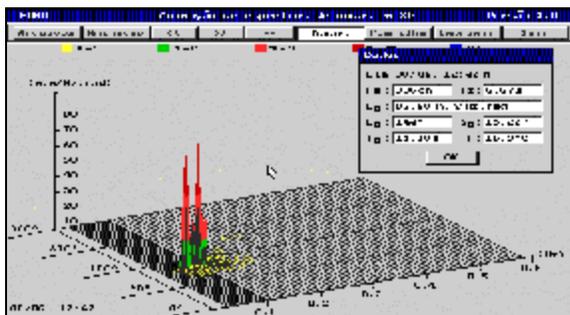


Figura 9. Aumento da energia concentrando-se em dois picos de frequências diferentes.

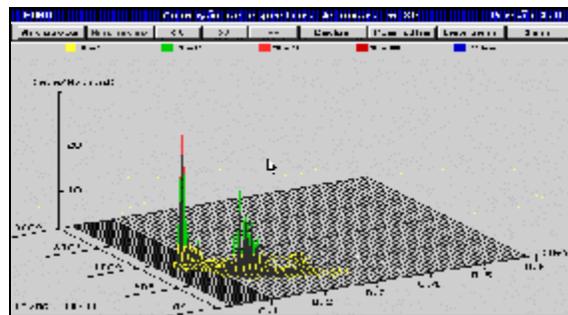


Figura 12. Final da animação com energia espalhada pelas diferentes frequências.

significativa, energia de pico, período significativo e direção de pico, para o mês de junho de 1997. Os valores do eixo horizontal correspondem aos nomes dos arquivos de espectro analisados, composto da data e a hora no formato (mês|dia|hora|minuto). Por exemplo: o arquivo 06050842.SPT, representa o espectro das ondas relativas ao dia 5 de junho às 8 horas e 42 minutos.

**RESULTADOS E CONCLUSÕES**

O programa aqui apresentado, de animação de espectros direcionais de ondas, tem sua princi-

pal aplicação no acompanhamento pelo usuário, passo a passo, do estado do mar durante um período de seu interesse, diretamente na tela do computador.

Tomando como base a Figura 6, que mostra os gráficos da evolução temporal dos principais parâmetros de ondas no mês de junho de 1997, observa-se claramente a presença de duas tempestades. A primeira iniciou no dia 28 de maio com término no dia 3 de junho. Mostra-se na figura somente os últimos dias do evento já que o controle é mensal. A segunda iniciou no dia 5 de junho com término no dia 12 de junho. Ambas tempestades

são caracterizadas por alturas significativas médias relativamente altas (entre 3 a 3,5 metros no máximo para cada evento), altas energias e períodos significativos médios em torno de 15 segundos. Este tipo de estado do mar é comumente denominado de ondulações longas (*swell*). A principal característica destas ondulações, para a esta região, é a constância na sua direção de propagação, em torno de 140° SE. Entre os dias 20 a 26 de junho observa-se claramente outro regime de ondas, denominado de vagas (*sea* ou *wind waves*) caracterizado por ondas geradas por ventos locais, com, relativamente, pequenas alturas, períodos e energias. Neste caso devido a natureza da geração, a direção de propagação varia consideravelmente.

Com relação a animação de espectros direcionais de ondas verifica-se pela observação das Figuras 7 a 12 a passagem de uma tempestade.

Inicialmente tem-se um estado do mar caracterizado por ventos locais com um espalhamento angular grande (*spread*) e ondas de vários períodos.

No início da tempestade, verifica-se um aumento da energia das ondas e a tendência da estabilização da dinâmica do mar, passando o espectro de multimodal para bimodal e finalmente com um único pico de energia. Ao final da animação o mar volta a um regime de ondas local.

O conjunto mostrado (Figuras 7 a 12) corresponde ao produto final da pesquisa realizada e pode ser aplicado em qualquer período de interesse de visualização do comportamento do mar, desde que para tanto se tenha a base de dados necessária.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH) que disponibilizou os dados para este trabalho e também a Marinha do Brasil pelo apoio de infra-estrutura e pessoal na operação de fundeio do ondógrafo.

## REFERÊNCIAS

- INPH - INSTITUTO DE PESQUISAS HIDROVIÁRIAS (1995). *Recuperação do Molhe Leste*. Porto de Rio Grande, RS. Relatório final.
- MOTTA, V. (1963). *Análise e previsão das alturas de onda em Tramandaí*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, IPH. Relatório Petrobrás, p. 18.
- STRAUCH, J. C. (1996). Aquisição e análise de dados de onda em Rio Grande. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória, ES. *Anais* 4, p. 385 - 391.
- STRAUCH, J. C. (1997). *Animação de espectros de onda em 3D*. 2º Seminário Sobre Ondas e Marés e 1º Simpósio de Engenharia Oceânica. Arraial do Cabo, RJ.

## 3D Animation of Directional Spectra of Waves

### ABSTRACT

*In order to monitor the waves off the coast of the city of Rio Grande (RS, Brazil), an agreement was made with INPH to establish a waverider type wave recorder, at a bathymetric line of 15 meters, approximately 15 km from the coast.*

*A computer program to animate directional spectra of waves was developed to provide a better view of the data recorded by the equipment as well as to achieve a more applied study. This program, using a friendly interface, makes it easier to follow the evolution of local maritime disturbance.*

*Data input into the system consists of the files generated by a wave recorder receiver and the output is represented by 3-D animation corresponding to wave direction, frequency and energy. There is also the possibility of generating files with a special format for later imports by means of an electronic spreadsheet program.*

*This creates an optimum base for studies related mainly to the occurrence of storm waves, usually generated in the low latitudes of the Southern Atlantic and associated to the arrival of cold fronts.*

*Keywords: coastal dynamics; spectra animation.*