

SISTEMA DE PREVISÃO DA CAMADA DE MISTURA

ENG. AFFONSO DA S. MASCARENHAS JR.

ENG. AUDALIO REBELO TORRES JR.

ENG. ROGÉRIO NEDER CANDELLA

ENG. AFONSO DE MORAES PAIVA

Instituto de Estudos do Mar Alte. Paulo Moreira (IEAPM)

RESUMO

Será descrito sucintamente um sistema de previsão da camada de mistura superior do oceano, com sigla SPCM, em desenvolvimento pelo IEAPM, bem como o primeiro ensaio com o modelo numérico utilizado.

A aplicação fundamental do SPCM será o suporte à utilização de sistemas SONAR ativos ou passivos.

1. INTRODUÇÃO

A profundidade da camada de mistura superior do oceano é fator determinante na propagação do som, sendo sua previsão de extrema importância na utilização de sistemas SONAR ativos e passivos.

O Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira iniciou em agosto de 1986 uma série de estudos e atividades básicas com a finalidade de estabelecer um Sistema de Previsão da Profundidade da Camada de Mistura Superior do Oceano (SPCM), baseado na proposição de Mascarenhas (1986) durante o I Encontro Sobre a Participação do IEAPM no Programa Oceano.

As primeiras necessidades para o estabelecimento desse sistema preliminar foram a escolha de um modelo numérico diagnóstico simples e de processamento rápido, optando-se por uma adaptação do modelo de Thompson (1974), e a criação de um Cadastro de Dados Oceanográficos e Meteorológicos (CDOM) para uma área específica. Em virtude da importância estratégica e também da existência de maior densidade de dados foi escolhido o quadrado de Marsden 376 (QMD376), que abrange uma área da costa sudeste e sul brasileira delimitada pelas latitudes 20-30 S e longitudes 040-050 W. Este conjunto de dados fornecerá parâmetros ambientais médios para inicialização do modelo unidimensional de camada de mistura descrito por Mascarenhas (1985).

Posteriormente, pretende-se expandir a área de abrangência do Cadastro para o restante da costa brasileira, bem como desenvolver modelos mais complexos, de duas e três dimensões. Entende-se por modelo de uma dimensão, um modelo numérico que fornece informações apenas na direção vertical (z) e evoluindo no tempo. Assim, apesar do modelo exibir dependência de duas variáveis (z , t), para efeito de classificação somente se considera sua dimensão espacial em uma, duas ou três direções.

O presente trabalho descreve o estado atual do desenvolvimento do sistema proposto, assim como algumas simulações e testes realizados.

Todo modelo numérico simulando através da resolução das equações dinâmicas um sistema real necessita para sua inicialização um conjunto de dados, que, no caso, são as condições ambientais da atmosfera e oceano instantaneas em que se inicia a previsão.

Em função das necessidades do sistema foram estabelecidas as principais fases para a criação do CDOM. O conjunto de informações básicas compreende os perfis verticais médios de temperatura mensais por subquadrado de 1 por 1 grau, a distribuição horizontal dos campos de temperatura e salinidade em superfície e a 150 m, os valores médios de parâmetros meteorológicos de superfície, a profundidade de camada de mistura, os gradientes máximos de temperatura e salinidade, as correntes geostróficas e os perfis de velocidade do som, dados estes obtidos em estações oceanográficas, batimográficas e mensagens SHIP.

As figuras 1 e 2 mostram a distribuição anual destas informações e evidenciam a utilidade deste tipo de trabalho no planejamento de futuras comissões oceanográficas.



Figura 1

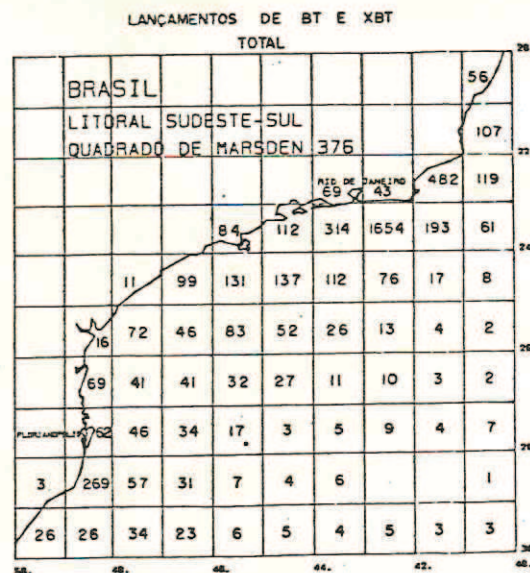


Figura 2

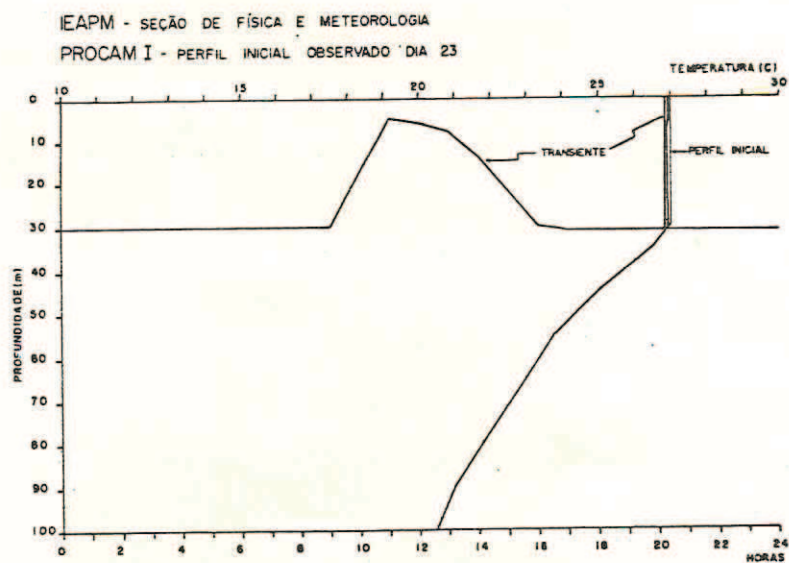


Figura 3

Além dos arquivos gerados com estes dados, o Cadastro contém diagramas T-S e cartas de distribuição horizontal das médias dos parâmetros oceanográficos e meteorológicos mencionados, visando estas uma possível extrapolação para áreas com carência de dados.

As fases acima mencionadas, e já realizadas, foram executadas em conjunto pelo IEAPM e a DHN, com a colaboração do Instituto de Processamento de Dados e Informática da Marinha (IPDIM) na transcrição dos dados para o sistema computacional do IEAPM.

Atualmente, estão sendo desenvolvidos estudos sobre a variabilidade espacial e temporal dos parâmetros T-S e sobre possíveis relações estatísticas entre a profundidade da camada de mistura e parâmetros meteorológicos.

3. O MODELO DA CAMADA DE MISTURA

O modelo de camada de mistura utilizado no sistema preliminar de previsão é baseado naquele desenvolvido por Thompson (1976), cujas suposições básicas são:

- i) O efeito da advecção e difusão horizontal são desprezados.
- ii) Processos de mistura tais como circulação de Langmuir, ondas internas e ressurgência são excluídos.
- iii) A camada superior do oceano é suposta turbulenta a maior parte do tempo.
- iv) A advecção horizontal turbulenta é desprezada e os termos de Reynolds são parametrizados.
- v) A temperatura e a velocidade são supostas quase uniformes dentro da camada de mistura.
- vi) Na escala de tempo e de profundidade do modelo, uma distribuição quase-descontínua das variáveis pode ser imaginada através do fundo da camada de mistura.
- vii) A taxa de variação local da velocidade quadrática média turbulenta é pequena comparada com os efeitos dissipativos por turbulência.

As suposições i e iv impedem o uso do modelo com sucesso em regiões de fortes correntes oceânicas ou costeiras. A suposição ii também impede seu uso em regiões de ressurgência e indica que quando da comparação entre o observado e o previsto não se deve esperar as oscilações de camada de mistura devido às ondas internas.

Tendo como condições iniciais a velocidade, a profundidade da camada de mistura e o perfil de temperatura, as equações podem ser descritas:

$$\frac{d(hu)}{dt} = fhv + \frac{\tau_1}{\rho_0} \quad (1)$$

$$\frac{d(hv)}{dt} = fhu + \frac{\tau_2}{\rho_0} \quad (2)$$

$$\frac{d(hT)}{dt} = \Sigma \frac{Q_0}{\rho_{cp}} \quad (3)$$

supondo que a velocidade abaixo da camada de mistura é desprezível.

A característica do modelo é o critério simples de misturamento, o número de Froude da camada,

$$F = \frac{u^2 + v^2}{g \frac{\Delta P}{\rho_0} h} \quad (4)$$

que verifica a estabilidade gravitacional e a dinâmica, determinado ou não o misturamento.

As equações (1) e (2) mostram que a variação temporal da quantidade de movimento integrada na camada por unidade de massa é balanceada pela quantidade de movimento devida ao efeito de Coriolis e tensão de cisalhamento do vento atuando na superfície do mar. A equação (3) mostra que a variação temporal do calor armazenado na camada é devida às trocas de calor através da superfície do mar e a penetração de radiação solar no oceano. Convém lembrar que somente estas três equações não estabelecem uma ligação entre a dinâmica e a termodinâmica do modelo. Isto é feito através da equação (4), que relaciona termos proporcionais à energia cinética por unidade de massa à energia potencial por unidade de massa.

4. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Para a primeira avaliação do desempenho do modelo foram utilizados dados coletados na comissão PROCAM I, realizada a bordo do NOc Alte. Saldanha, em março de 1987. A área escolhida para a comissão foi um quadrado de 40 milhas náuticas de lado, com centro em 041°W e 24°S, na tentativa de minimizar o efeito dos processos advectivos tanto da água costeira, quanto da corrente do Brasil.

Foram realizados dois ensaios utilizando esses dados. No primeiro, inicializou-se o modelo com o perfil de temperatura observado o à 00:00 HMG do dia 23. Utilizou-se como forçante as observações meteorológicas dos dias 23, 24 e 25. A figura 3 mostra a evolução da profundidade da camada no dia 23, notando-se a presença de um transiente de temperatura, caracterizado no gráfico por um pico na profundidade da camada de mistura em torno do meio-dia e no perfil de temperatura do mesmo horário. Essa variação de profundidade é devida ao aquecimento por radiação solar da camada superficial. É importante frisar que este transiente significa um aumento de temperatura de ordem menor que 0,01 graus Celsius, o que não é significativo em termos de velocidade do som, como pode ser observado nos perfis nas figuras 4, 00:00 h e 11:00 h do dia 23, quando acontece o transiente. Esse mesmo transiente pode ser visto na figura 5, através da temperatura da camada superior e de sua taxa de variação normalizada. Outras variações do mesmo tipo ocorrem sempre em torno de 12:00 h.

A figura 6 mostra a evolução em 3 dias da profundidade da camada simulada (modelada) e observada. É válido lembrar que a grande variação da profundidade modelada se deve ao transiente de temperatura e não deve ser considerada como a pro-

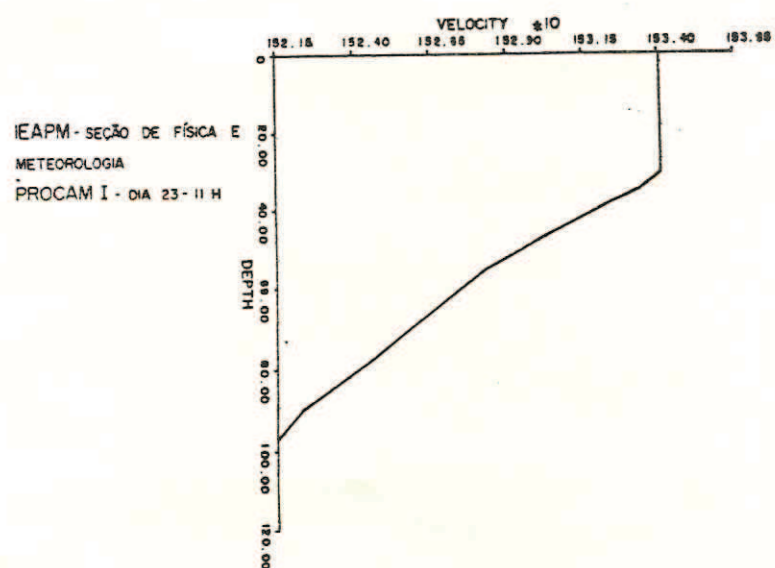


Figura 4

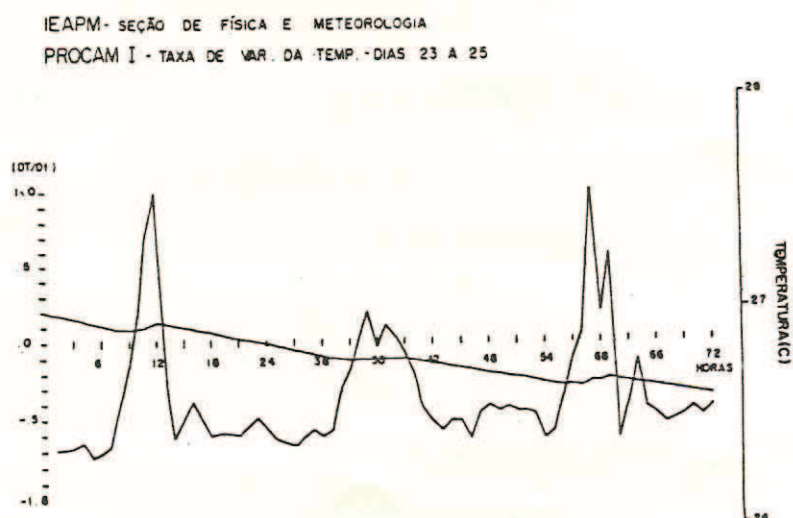


Figura 5

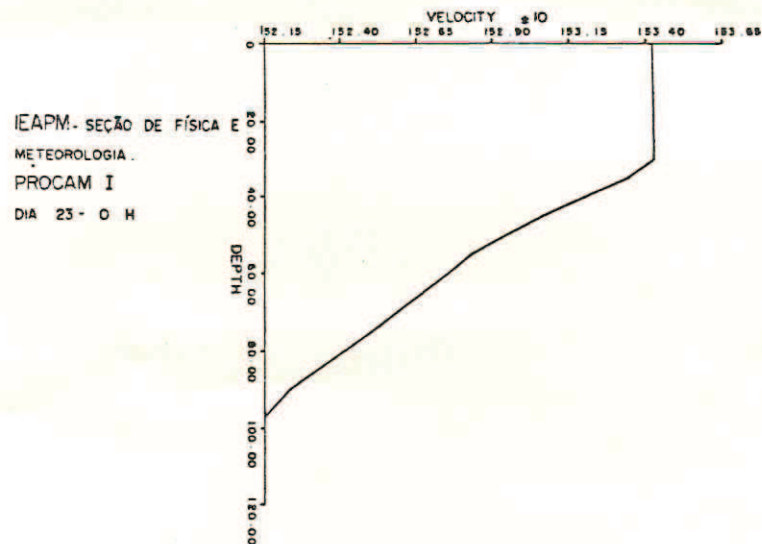


Figura 6

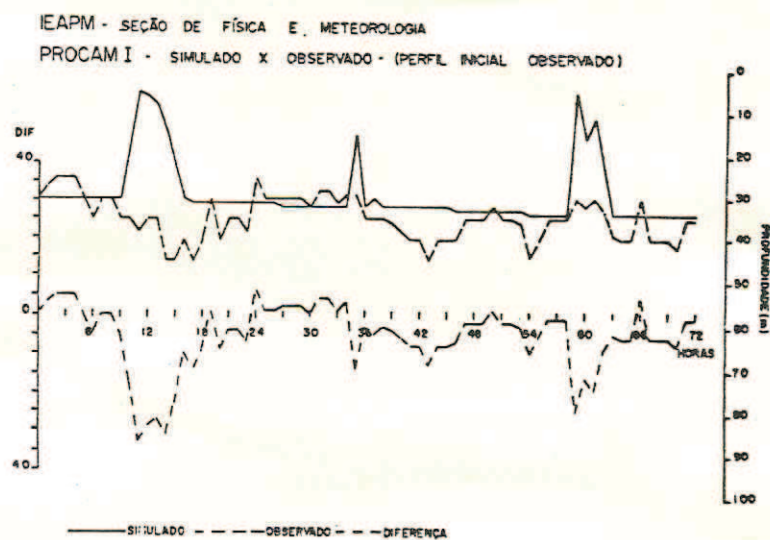


Figura 7

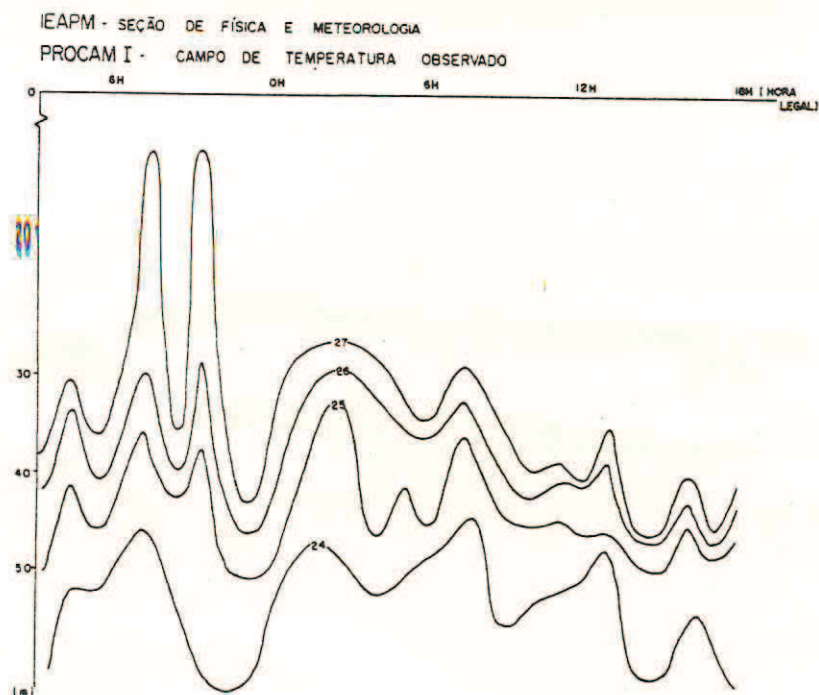


Figura 8

fundidade da camada de mistura. A mesma figura mostra também a diferença entre a profundidade modelada e a observada, notando-se que as grandes diferenças são basicamente devidas aos transientes e a ondas internas, estas bastantes evidenciadas na figura 7, que representa o campo de temperatura obtidos com MBT ao longo do tempo.

O segundo ensaio, inicializado com um perfil médio de temperatura obtido a partir do CDOM (figura 8), que se assemelha bastante ao da temperatura observada, com exceção da temperatura da camada e do transiente inicial, mostra que, com as condições meteorológicas observadas, o modelo levou a profundidade da camada basicamente aos mesmos níveis do ensaio inicializado com o perfil observado.

Observa-se, de acordo com o esperado, a formação dos transientes diurnos. A temperatura da camada de mistura é ligeiramente mais elevada do que a observada, em função da própria inicialização.

5. CONCLUSÕES

Com as forçantes meteorológicas relativamente estáveis e a profundidade da camada média praticamente igual a observada, a estabilidade gravitacional limitou nos dois ensaios, de forma semelhante, as variações da profundidade da camada de mistura simulada (figuras 6 e 9).

Nos ensaios realizados, o sistema foi eficiente em simular a profundidade da camada, dentro de suas limitações. Porém, para uma melhor avaliação do SPCM, será necessário a obtenção de bases de dados que registrem eventos meteorológicos marcantes em diferentes épocas do ano.

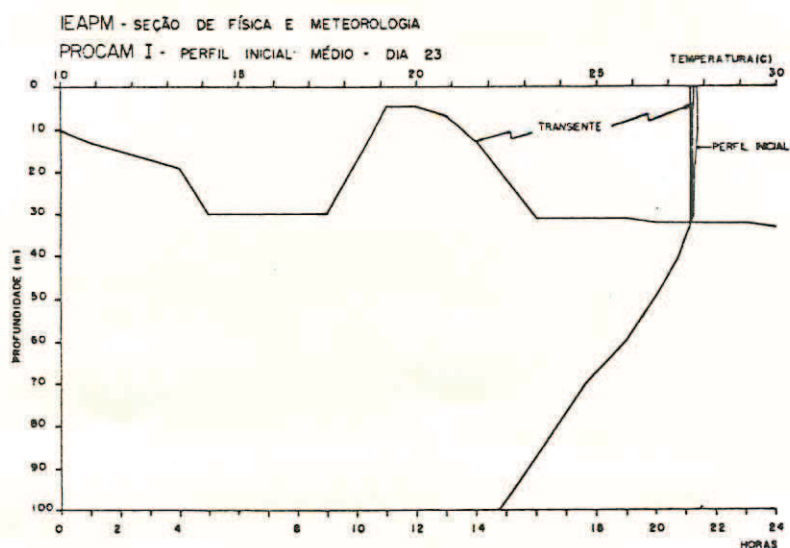


Figura 9

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] BERRY JR., F. A., BOLLAY, E. & BEERS, N. R. *Handbook of meteorology*. York, McGraw-Hill, 1945.
- [2] DORN, W. S. & MCGRACKEN, D. D. *Cálculo numérico com estudos de casos em FORTRAN IV*. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1978.
- [3] HALTINER, G. J. & MARTIN, F. L. *Dynamical and physical meteorology*. N. Y. McGraw-Hill, 1957.
- [4] IEAPM. *Anais do I encontro sobre a participação do IEAPM no programa oceano*. Arraial do Cabo, IEAPM-201, 1986.
- [5] ———. *Distribuição espaço-temporal de informações oceanográficas no quadrado de Marsden 376*. Publicação interna FIS-301, 1986.
- [6] JERLOV, N. G. *Optical oceanography*. Elsevier Publishing Co. Netherland, 1968.
- [7] KRAUS, E. B. *Atmosphere-ocean interaction*. Oxford, Clarendon Press, 1972.
- [8] ———. *Modelling and prediction of the upper layers of the ocean*. Pergamon Press, 1977.
- [9] LIST, R. J. *Smithsonian meteorological tables*. Washington, Smithsonian Institution, 1951.
- [10] MASCARENHAS JR., A. S. Os modelos unidimensionais de camada de mistura. In: *Anais do I Seminário de Modelagem Numérica do Mar*. 1984.
- [11] ———. *Uma revisão sobre cálculo da tensão de cisalhamento do vento sobre o oceano*. São Paulo, Relatório interno n. 14. IOUSP, 1985.

- [12] MIRANDA, L. B. *Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) a ilha de São Sebastião (SP)*. Tese de livre-docência. São Paulo, IOUSP, 1982.
- [13] PISKUNOV, N. *Differential and integral calculus*. Moscow, Mir Publishers, 1977. v.1 e 2.
- [14] RYAN, P. J., HARLEMAN, D. R. F. & STOLZENBACK, K. D. Surface heat loss from cooling ponds. In: *Water Resources Research* 10(5): 930-938, Oct. 1984.
- [15] SILL, B. Free and forced convection effects on evaporation. In: *Journal of Hydraulic Engineering*. 109(9): 1216-1231, Sept. 1983.
- [16] THOMPSON, R. *Predicting the characteristics of the well-mixed layer*. Technical Report. Woods Hole Oceanographic Institution, 1974. (Manuscrito não publicado.)
- [17] ———. Climatological numerical models of the surface mixed layer of the ocean. In: *Journal of Physical Oceanography*. 6:496-503, July 1976.
- [18] URICH, R. J. *Principles of underwater sound for engineers*. New York, McGraw-Hill, 1967.