



# MARINHA DO BRASIL E A PREVISÃO NUMÉRICA: EQUAÇÕES MATEMÁTICAS DECIFRANDO O TEMPO

*Este artigo se propõe a abordar e analisar a previsão numérica do tempo realizada pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), através do Serviço Meteorológico Marítimo (SMM), demonstrando que o domínio de sua técnica é de fundamental importância para a Marinha do Brasil na consecução de sua missão.*

---

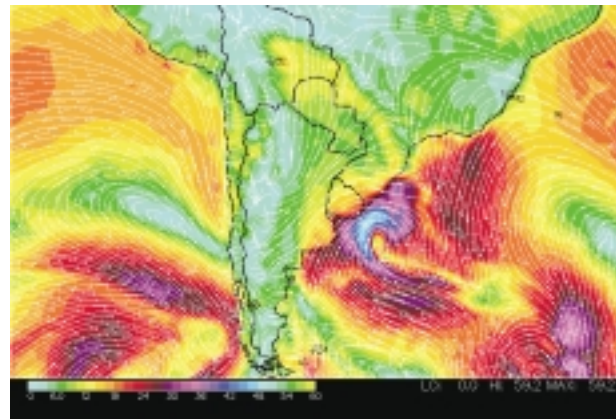
*Aspirante Vitor Deccache Chiozzo*

---

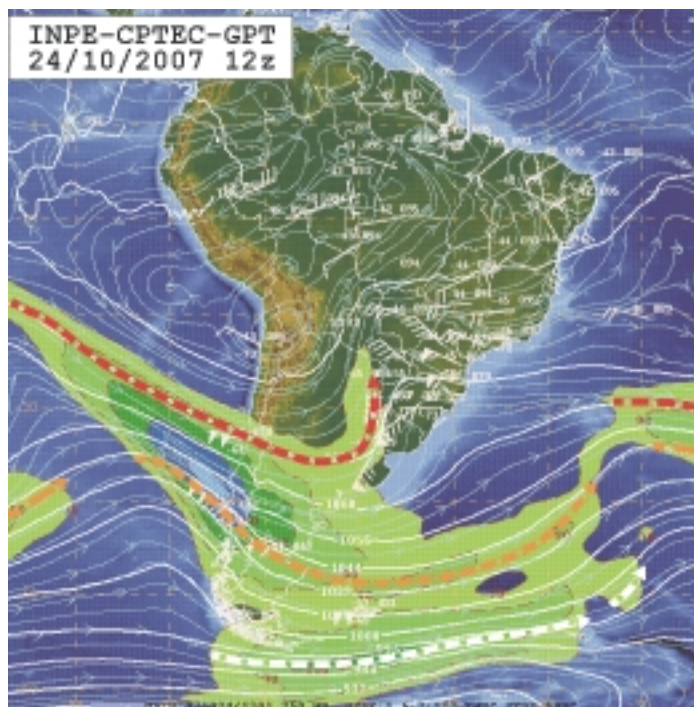
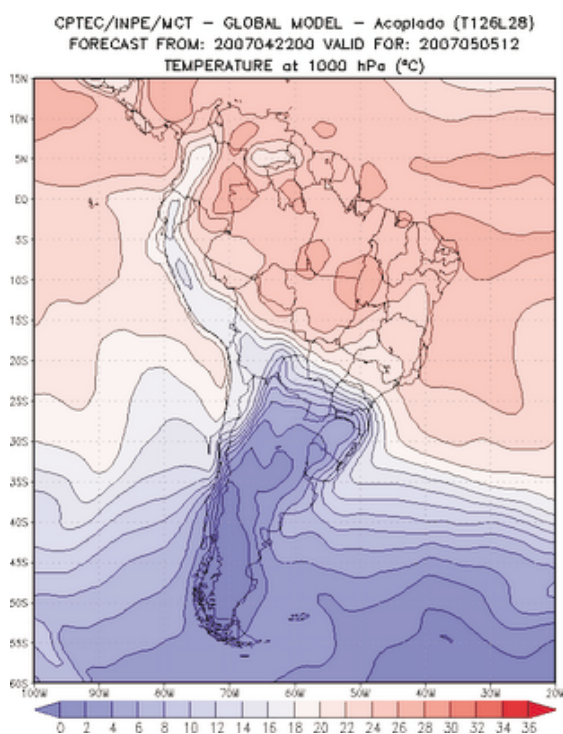
## **A MISSÃO DA DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO: SERIA O OCEANO ATLÂNTICO UM NOVO MERIDIANO DE TORDESILHAS?**

A Marinha do Brasil, cuja missão é: “Preparar e aplicar o Poder Naval, a fim de contribuir para a defesa da Pátria”, possui também algumas atividades subsidiárias, destacando-se: “Contribuir para projetos de pesquisa realizados em áreas jurisdicionais brasileiras e para os resultantes de compromissos internacionais” e “Contribuir para a segurança da navegação na área marítima de interesse do Brasil e nas vias navegáveis interiores”. A missão da Diretoria de Hidrografia e Navegação está intrinsecamente ligada a esse escopo.

O resultado dos trabalhos desenvolvidos nos últimos 20 anos na plataforma continental brasileira, sob a coordenação da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) e da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) permitiram a delimitação precisa da plataforma brasileira que se estende por uma área submersa de 3.500.000 km<sup>2</sup>, equivalente, portanto, a quase metade do território emerso do País. Atendendo às recomendações da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM), a CIRM promoveu, desde a década de 1970,



vários projetos e programas: Reconhecimento da Margem Continental Brasileira (REMAC), Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), Programa de Levantamento da Plataforma Continental (LEPLAC) e Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE). Esses projetos conduziram a um notável avanço no conhecimento geológico e oceanográfico existente no Brasil. Com isto, atendidas as exigências da CNUDM, o Brasil passou a exercer direitos de soberania para exploração e aproveitamento de recursos naturais, tanto do leito marinho, quanto do subsolo desta vasta área. Ficou assim legalmente assegurado para o País, entre outras coisas, a exploração dos vastos recursos de petróleo e gás acumulados em bacias da plataforma continental. Com essa atividade subsidiária, conseguimos em



tempos de paz ampliar nosso território expressivamente, projetando nossa soberania na chamada “Amazônia Azul”, expressão brilhantemente cunhada pelo Excelentíssimo Senhor Almirante-de-Esquadra Roberto de Guimarães Carvalho, ex-Comandante da Marinha. Essa ampliação territorial, comparável somente à expansão luso-brasileira através do meridiano de Tordesilhas durante os séculos XVI e XVIII, torna o nosso país detentor de uma riqueza incomensurável, cabendo à Marinha do Brasil a defesa desse patrimônio que desde os tempos coloniais é alvo da cobiça de outros povos.

### PEQUENO HISTÓRICO DA PREVISÃO DO TEMPO

Até o início do século XIX, o modo de encarar o tempo era uma curiosa mistura de senso comum e superstição. O senso comum era baseado nas conexões evidentes entre ventos, nuvens e o tempo. Durante as grandes navegações, no final do século XV, os marinheiros ampliaram bastante esse senso comum para dar conta dos diferentes sistemas de vento e dos padrões de tempo que encontraram ao redor do mundo.

Através dos séculos, marinheiros, agricultores e outros tentaram fazer previsões baseadas no conhecimento e crenças de sua época e nas suas

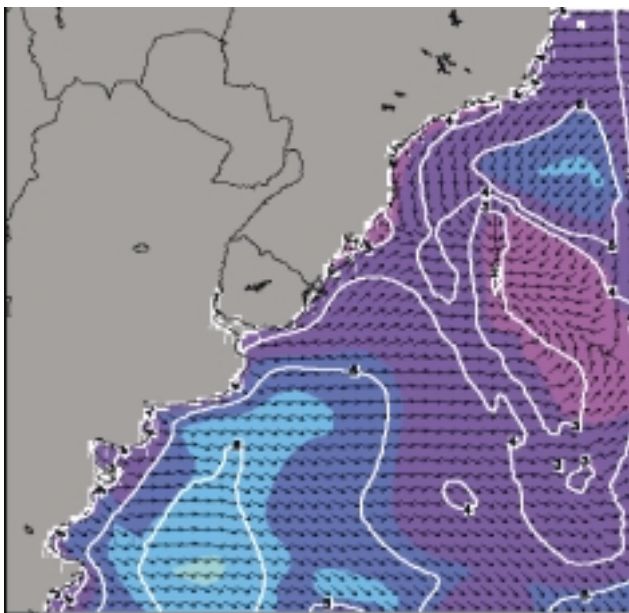
observações pessoais. No entanto, essas previsões eram freqüentemente malsucedidas. Como não havia comunicações adequadas, os observadores não sabiam o que estava acontecendo além do horizonte e, normalmente, eram surpreendidos por tempestades que chegavam sem muito aviso. Isso mudou com a invenção do telégrafo e o nascimento da previsão sinótica no século XIX. A previsão sinótica consiste na rápida obtenção e análise de observações do tempo feitas no mesmo horário e na maior quantidade de localidades possível, estabelecendo uma síntese (daí o termo sinótico) da situação da atmosfera em todo o mundo. Em 1849, foi estabelecida uma rede meteorológica ligada por telégrafo nos Estados Unidos. Os dados eram coletados e era preparado um mapa sinótico, diariamente, com os dados coletados no mesmo horário em todas as localidades observadas. Em 1857, uma rede meteorológica criada na França recebia dados de toda a Europa.

Em 1861, na Grã-Bretanha, Robert Fitzroy criou um serviço de aviso de tempestades para a Marinha Britânica. Inicialmente, foi um grande sucesso, e Fitzroy passou a disponibilizar suas previsões nos jornais. No entanto, à medida que ocorriam os inevitáveis erros decorrentes do método utilizado e da falta de precisão das observações, críticas sarcásticas e severas do público e dos cientistas

tornavam-se constantes. Tomado por grande depressão, Fitzroy cometeu suicídio em 1865. Essas críticas mordazes foram uma sina para os previsores que se seguiram.

Apesar das críticas, a previsão sinótica foi ganhando cada vez mais força a partir de 1860, com a formação de organizações meteorológicas nacionais em vários países. As duas grandes guerras mundiais forçaram os governantes a despender grandes esforços para monitorar e prever o tempo, pois as suas variações podiam ter grande influência na evolução do conflito. O progresso da Meteorologia foi muito favorecido pela tecnologia desenvolvida durante a guerra, como, por exemplo, as radiossondas, transmitindo, via rádio, os dados das camadas de ar acima do solo e os radares, utilizados para rastrear a chuva. Após a Segunda Grande Guerra, surgiram também os primeiros satélites artificiais. Com o uso de satélites, foi possível visualizar as nuvens e as tempestades a partir do espaço. Foi o início da moderna meteorologia.

Atualmente, a Meteorologia é uma ciência muito ligada à Física e à Matemática. Uma enorme evolução da previsão de tempo ocorreu com o surgimento da **previsão numérica**, baseada em modelos que representam o movimento e os processos físicos da atmosfera. Através de equações com os valores do estado inicial da atmosfera, podem-se obter projeções para o futuro. A idéia da previsão através de processos numéricos de resolução de equações que representem o comportamento da atmosfera foi publicada pela primeira vez por Lewis Richardson, um matemático

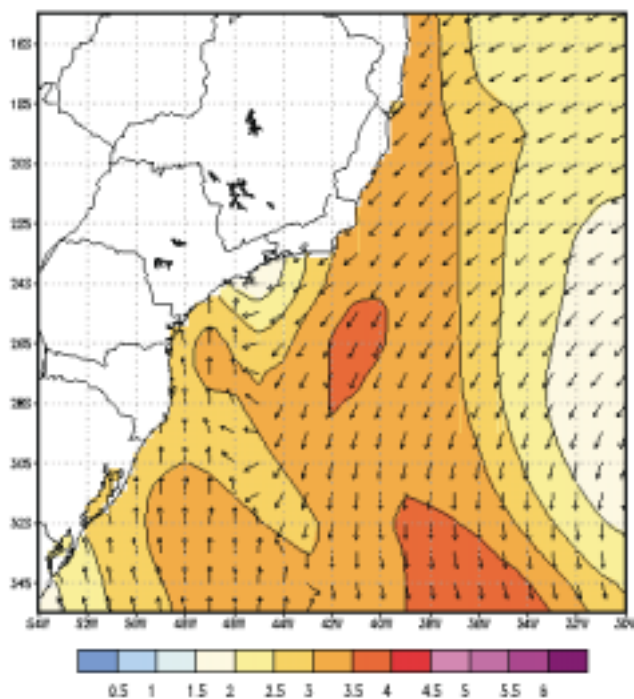


britânico, em 1922. Richardson levou muitos meses para fazer os cálculos necessários para produzir uma previsão para 24 horas no futuro. Mas as mudanças de pressão previstas por ele foram entre 10 e 100 vezes maiores do que as que realmente ocorreram, e já haviam ocorrido há muito tempo quando ele terminou a previsão. O trabalho de Richardson, além de pioneiro, revelou os obstáculos que precisavam ser superados: um enorme número de cálculos tinha que ser feito rapidamente, os dados que representavam o estado inicial da atmosfera eram inadequados, os modelos eram representações muito rudimentares da atmosfera, e os problemas com as técnicas matemáticas podiam resultar em pequenos erros que iam se propagando durante os cálculos. Quanto ao problema com a velocidade dos cálculos, Richardson estimou que para terminar as previsões antes dos fenômenos acontecerem seriam necessários 64.000 matemáticos equipados com calculadoras. Os computadores eletrônicos trouxeram a solução para o problema dos cálculos. Em 1950, foi feita, nos Estados Unidos, a primeira previsão numérica de tempo relativamente bem-sucedida. O computador utilizado era gigantesco e ocupava toda uma sala. A partir de 1955, as previsões por computadores passaram a ser executadas regularmente nos Estados Unidos.

Inicialmente, as previsões numéricas eram apenas um pouco melhores que as tradicionais, mas foram melhorando rapidamente graças ao aparecimento de computadores cada vez mais rápidos, que permitiam o uso de modelos mais complexos, representando cada vez melhor a realidade. Paralelamente a essa evolução, houve a melhoria no conhecimento do estado inicial atmosférico, com o aumento progressivo na quantidade e qualidade dos dados, iniciado principalmente a partir do surgimento, em 1950, da Organização Meteorológica Mundial (WMO - World Meteorological Organization), organismo especializado da Organização das Nações Unidas (ONU), que coordena o sistema mundial de observação meteorológica através do Sistema Global de Telecomunicação (GTS).

## **NOÇÕES GERAIS SOBRE MODELOS NUMÉRICOS**

Afinal, como se faz a previsão numérica? A atmosfera é observada em locais distribuídos irregularmente por toda a Terra e, embora algumas das observações sejam sinóticas, muitas são realizadas em horas diferentes, ditadas pelos vôos dos



aviões e pelos satélites. Por contraste, os computadores de previsão do tempo têm que começar com valores sinóticos do vento, pressão, temperatura e umidade, em uma malha regular de localizações horizontais, denominada rede de pontos e num conjunto fixo de níveis na vertical. Exatamente o modo como os valores sinóticos da rede de pontos são calculados a partir das medições que foram reunidas, processo denominado análise, é a parte mais importante da previsão. Desde que a análise tenha terminado, torna-se possível aplicar equações matemáticas que representam todos os processos físicos que interessam e, assim, calcular a modificação que ocorrerá em cada valor de cada ponto da rede num intervalo de tempo curto chamado incremento de tempo. O cálculo, em cada ponto da rede, implicará adições, subtrações e multiplicações, utilizando-se valores dos pontos da rede à volta. Logo que tenham sido calculados novos valores das variáveis (vento, pressão, temperatura e umidade), para todos os pontos da rede e a todos os níveis, todo o processo pode ser repetido para se avançar outro incremento temporal. Deste modo, pode-se, eventualmente, elaborar uma previsão para algumas horas, um dia ou alguns dias. Embora sejam feitos muitos cálculos, estes, na verdade, são aproximações da verdade. O sistema de equações, aproximações e cálculos é chamado **modelo numérico da atmosfera**. Os modelos

numéricos da atmosfera para previsão global requerem um número muito grande de cálculos a serem realizados em tempo reduzido; para tanto, utilizamos os computadores com grande capacidade de processamento. Outra saída é reduzir o número de interações numéricas. Assim, o modelo pode ser diminuído, aumentando o espaço entre os pontos na rede. Os modelos de previsão numérica do tempo podem ser globais ou de área limitada. Quando as equações que governam a atmosfera são resolvidas sobre todo o globo, temos os modelos globais. Estes utilizam técnicas espectrais na solução das equações e fazem previsões até 10 dias à frente. Os modelos globais consideram todos os fenômenos atmosféricos que ocorrem no globo terrestre sem, entretanto, atenderem-se às peculiaridades de cada região. Os modelos de área limitada, os quais são classificados em mesoescala ou escala regional, possuem maior resolução que os globais, ou seja, representam melhor a superfície e os fenômenos mais localizados; porém, rodam a partir dos dados dos modelos globais, pois devem levar em conta as condições de vizinhança da região considerada. Devido ao progresso da computação e suas múltiplas aplicações e utilidades, a modelagem matemática tornou-se um dos instrumentos científicos mais poderosos que existem e a meteorologia e a climatologia são áreas que muito evoluíram com a introdução dessa técnica.

A modelagem numérica que se usa para fazer a previsão do tempo e clima, nada mais é do que a aplicação das Leis de Newton aos movimentos da atmosfera, sendo um processo difícil, que envolve o conhecimento de dados hemisféricos e de conceitos numéricos acerca de como utilizar estas equações para representar a atmosfera. Estas equações, aplicadas à atmosfera, normalmente são chamadas de modelos numéricos, que, por sua vez, tentam representar os fenômenos que acontecem na atmosfera (os movimentos do sol que aquecem a superfície e os oceanos), os processos físicos de formação de nuvens, chuvas, ventos fortes e também a diferenciação de condições dos mares, continentes, solos e vegetações. Tudo isso tem que estar representado dentro dos modelos, porque são dados vitais para se fazer a previsão do tempo. As variáveis medidas pelas estações de superfície na terra são, basicamente, temperatura, pressão, umidade e ventos. Para fazer medições em determinadas altitudes, são utilizados balões estratosféricos, que fazem o que se chama de sondagem. A previsão

numérica depende muito das condições do plano de tempo (o campo que dá entrada para o modelo), porque se não houver precisão, a previsão é ruim também. Só que a distribuição desses dados é totalmente irregular, e os modelos necessitam de uma distribuição regular para poder efetuar as contas. Há, então, uma etapa do trabalho (a interpolação do campo irregular para o regular) que demanda uma técnica muito sofisticada. Isto é o que se denomina resolução do modelo. Há que se dividir o globo terrestre na horizontal, em retângulos ou quadrados, e na vertical, em camadas. A superfície da atmosfera é dividida em quadrados. No caso, trabalha-se com quadrados de 200 x 200 km, 100 x 100 km e 40 x 40 km. No centro, é preciso ter um valor que se supõe válido para todo esse quadrado. Na vertical, só se consegue trabalhar com alguns valores, que precisam ser divididos como se fossem camadas. Daí é feita a transferência dos dados observados para uma grade do tipo tridimensional, num dado instante fixo; isto é o que se chama de condição inicial do modelo, uma transferência daquelas variáveis observáveis e totalmente irregulares para algo bem regular. Desta forma, o modelo consegue fazer a leitura.

#### O Modelo de Previsão do SMM

O modelo de previsão numérica de tempo desenvolvido pelo Serviço Meteorológico Alemão (DWD) e utilizado pelo SMM desde abril de 1997 é o HRM, modelo regional de alta resolução, o qual também é utilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O acordo firmado com o DWD permite que o núcleo de previsão numérica do CHM tenha acesso a dados fundamentais para a inicialização do modelo. Esse modelo é utilizado para a previsão do tempo na NAVAREA V e na METAREA V (Sul-Sudeste), de responsabilidade do Brasil, e na Antártica (Estação Antártica Comandante Ferraz), e está capacitado a prognosticar pressão superficial, temperatura, vapor d'água, água precipitável, componentes do vento horizontal e parâmetros do terreno, podendo ainda diagnosticar velocidade vertical, geopotencial e cobertura de nuvens, além da elaboração de meteorogramas. Hidrostático, utiliza a grade Arakawa C de diferenciação centrada de segunda ordem e o passo do tempo semi-implícito. Os elementos meteorológicos obtidos são divulgados em boletins e cartas meteorológicas, além dos Avisos aos Navegantes, duas vezes ao dia. O acerto é 60% para a previsão de até sete dias, utilizando o modelo global. Já para a previsão de um ou dois dias, este acerto está

acima de 90%. Por comparação, antes de se ter os modelos numéricos, o acerto de 60% era para o prazo de um dia e meio. Entretanto, a atmosfera é previsível até certo limite, a partir daí você não consegue mais fazer previsão desse nível. O limite teórico para este tipo de previsão seria de 15 dias.

#### CONFIGURAÇÃO DO MODELO HRM NA METAREA V.

Limites: 50° S, 20° N, 018° W, 072° W.

Grade horizontal: 0,3° x 0,3° (cerca de 30 km x 30 km).

Níveis verticais: 40 (com melhor resolução na camada limite)

Validade: 78 horas com rodadas às 00Z e 12Z

#### Área: Sul / Sudeste.

Limites: 18° S, 27° S, 032° W, 050° W.

Grade horizontal: 0,125° x 0,125° (cerca de 13 km x 13 km).

Níveis verticais: 40 (com melhor resolução na camada limite)

Validade: 78 horas com rodadas às 00Z e 12Z

## CONCLUSÃO

A coleta dos dados oceanográficos, meteorológicos, geográficos e geofísicos executada pelos meios da DHN é uma tarefa extremamente complexa, visto a mutabilidade desses fatores e a interação contínua entre o oceano, a massa continental e a atmosfera. Todavia, esses dados podem ser acompanhados e relacionados, de forma a melhor conhecermos o espaço marinho e sua atmosfera, colaborando com informações climáticas que possam otimizar o emprego de nossas forças navais e de fuzileiros navais, e nas operações de socorro e salvamento da área SAR dos Distritos Navais, propiciando a salvaguarda e segurança da vida humana no mar. É nesse contexto que se insere a previsão numérica do tempo. Dessa forma, a Diretoria de Hidrografia e Navegação continuará com seu trabalho anônimo, profissional, determinado e incansável, pois "restará sempre muito o que fazer".

#### BIBLIOGRAFIA

*Anais hidrográficos 2006;*

*Instituto nacional de pesquisas espaciais: a questão meteorológica;*

*Aspectos gerais da previsão numérica de tempo e clima.*

<http://www.comciencia.br/reportagens/modelagem/mod06.htm>.

<http://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html>.

<http://www.wikipedia.org/meteorologia>.