

# Sensoriamento Remoto de Mar de Gelo

RUTE MARIA BEVILAQUA

INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515  
12201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil

**Abstract.** This paper is about the state-of-art of the sea ice remote sensing. In this context, the sensors suited for sea ice observation (which have been used since 1973) and the variables they provide are reviewed. Some results of BEPERS (Bothnian Experiment in Preparation for ERS-1) are also reviewed, in order to evaluate the reliability of the sea ice variables obtained from ERS-1 sensors. Finally, the need of remotely sensed sea ice data for Weather and Climate sciences is discussed and a personal view of the importance of further advances of remote sensing research for the southern hemisphere countries is presented.

**Resumo.** Este trabalho trata do estado da arte no Sensoriamento Remoto de gelo no mar. Para isto faz-se uma revisão dos sensores, que vêm sendo usados no monitoramento das áreas de mar de gelo desde 1972, e das variáveis obtidas a partir deles. Revêem-se também alguns resultados do BEPERS (Bothnian Experiment in Preparation for ERS-1) para que se aprecie a confiabilidade das variáveis de mar de gelo obtidas pelos sensores do ERS-1. Finalmente, discute-se a necessidade de dados confiáveis de sensoriamento remoto nas pesquisas do Tempo e do Clima, e conclui-se com uma visão pessoal da importância do avanço da pesquisa em sensoriamento remoto para os países do Hemisfério Sul.

## 1 - Introdução

O sensoriamento remoto vem permitindo que os mares de gelo do mundo, ainda vinte anos atrás tão misteriosos, venham sendo observados e tendo seus mistérios desvendados. Com uma enorme área que chega a atingir 12.5% da superfície do planeta, as implicações de sua grande variabilidade para o Tempo e o Clima em escalas regional e mesmo global são muito grandes e justificam plenamente o sistemático monitoramento, por uma variedade de sensores, que

vem ocorrendo sobre estes mares.

Apresentamos, na Seção 2, relações dos sensores que têm sido usados na observação do mar de gelo, das variáveis importantes para esta pesquisa e das variáveis possíveis de ser obtidas a partir destes sensores. Na Seção 3 revisamos alguns resultados do BEPERS no sentido de avaliar a confiabilidade das variáveis de mar de gelo obtidas pelos sensores do ERS-1. Na Seção 4 tratamos da necessidade de

dados confiáveis de sensoriamento remoto nas pesquisas do Tempo e do Clima. Finalmente, concluímos com uma visão pessoal do que representa o avanço da pesquisa em Sensoriamento Remoto do mar de gelo para os países do Hemisfério Sul.

## 2 - Sensores Usados no Monitoramento dos Mares de Gelo

As frequências mais adequadas para o sensoriamento remoto das regiões polares são as de microondas, por serem muito pouco afetadas pelas nuvens que frequentemente cobrem estas áreas. Instrumentos de microondas passivos têm sido usados para monitorando destas regiões desde 1972, quando o Electronically Scanning Microwave Radiometer (ESMR), com um único canal (19,35 GHz), foi lançado no NIMBUS-5. Em 1978 ele foi substituído pelo Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR) no NIMBUS-7, com 10 canais e polarizações horizontal e vertical, nas frequências 6.6, 10.7, 18.21 e 37 GHz. Atualmente temos o sistema de microondas ativo, Synthetic Aperture Radar (SAR) no ERS-1, depois do sucesso do SAR de banda L, que foi utilizado neste monitoramento.

Outros sensores também têm sido utilizados na observação de mar de gelo, como os de visível e infravermelho, de 1978 até o presente. O Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), lançado no TIROS-N em 1978, tem dado uma contribuição muito especial, com seus canais de infravermelho, que são úteis durante os meses escuros de inverno polar, quando a superfície de gelo é muito mais fria que a água aberta e o gelo fino.

Os satélites LANDSAT e SPOT, com seus "scanners" no visível e no infravermelho de alta resolução (10 a 120 m), apresentam limitações ao estudo de processos no mar de gelo, devido ao fato de seus campos de visão serem reduzidos e seu custo elevado.

O ERS-1 é um satélite semi-operacional que tem suas aplicações mais importantes no sensoriamento remoto do oceano e do gelo no mar. Ele contém os 3 instrumentos mais apropriados para estudos glaciológicos que são : SAR (Synthetic Aperture Radar), AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer) e ALT (Altimeter).

Na pesquisa do mar de gelo existe interesse em parâmetros que mudam no tempo e no espaço, tais como: na concentração; nas distribuições espaciais de neve e gelo; na distribuição das características de gelo; na geometria detalhada das margens do mar de gelo, onde processos ainda não entendidos ocorrem; na espessura da camada; na densidade; na presença de água livre; na especificação de movimentos e campos de deformação, resultantes de forçantes, por exemplo o vento; e na drenagem do sal rejeitado pelo crescimento do gelo.

O sensores no visível têm sido usados para obter as variáveis concentração e deslocamento de gelo com incertezas de 5% e 4 km, respectivamente. Sua grande limitação vem do seu desempenho na presença de nuvens. (Untersteiner e Roth rock, 1987)

Os sensores passivos de microondas discriminam bem entre água e gelo, sendo por isto usados na estimativa da

posição das bordas de mar de gelo, com incerteza de aproximadamente 20 Km, precisão de um pixel. Eles podem também ser usados na estimativa de concentrações, mas neste caso, as incertezas variam de 10 a 30%. (Untersteiner and RothRock, 1987).

Desde 1972 o uso dos sensores visível e passivo de microondas tem sido contínuo para o monitoramento global.

O SAR tem possibilitado estimativas do deslocamento do gelo com incerteza de 100 m e de concentração com incerteza de 5%. Seu forte está no fato de não ser limitado por condições de tempo, mas sua cobertura é incompleta. A largura de sua varredura é de 100 km e o espaçamento entre varreduras sucessivas é de diversas centenas de quilômetros (Untersteiner and Rothrock, 1987).

Os dois outros sensores ativos de microondas que apresentam potencial para medidas de gelo são o radar altímetro e o escaterômetro, adequados para estudos de tipo de gelo, (Untersteiner e Rothrock, 1987).

A aquisição de um maior conhecimento das características de retroespalhamento do gelo e da neve só poderá vir a partir de experimentos de campo em que os aspectos físicos e químicos destas substâncias sejam investigados durante as medidas de retroespalhamento.

Para o entendimento dos processos complicados que ocorrem nos mares de gelo, mais sensores deverão ser utilizados, pois o sinergismo desempenha um papel importante nesta fase em que se aprende

muito ainda sobre os sensores de microondas.

### 3 - Resultados do experimento BEPERS (Askne-88)

BEPERS foi um experimento realizado em fevereiro de 1988, no Mar Báltico em condições de gelo, com a finalidade de propiciar experiência na utilização dos sensores dos tipos SAR e Altímetro, que seriam usados no ERS-1. Contou com a participação de mais de 60 cientistas de vários países, a bordo de aviões e navios de pesquisa. Mais de 70000 Km<sup>2</sup> das áreas selecionadas foram cobertos por imagens SAR.

Um dos seus objetivos era avaliar o potencial do SAR no mapeamento operacional de mar de gelo para uso em modelos numéricos.

Houve um grande esforço no desenvolvimento de rotinas para análise de dados SAR, visando a calibração radiométrica, correção geométrica e redução de ruído "speckle".

Os resultados indicaram que o SAR pode ser usado para discriminar entre gelo e água aberta, classificar tipos de gelo (3 categorias), quantificar a rugosidade do gelo e determinar sua deriva. Mostraram também que o SAR permite que se aprenda muito sobre as condições de gelo em tempo real.

Na análise das imagens os métodos de filtragem de ruído "speckle" foram importantes. Imagens filtradas foram usadas na análise de segmentação e de trajetória de movimentação do gelo.

Apesar da baixa salinidade do gelo, o principal mecanismo

de espalhamento foi o de superfície e não o de volume.

A modelagem matemática do retroespalhamento de áreas relativamente simples, com boas informações de campo, teve sucesso. A de áreas com geometria mais complicada, como com grandes rugosidades do gelo, não fornece ainda uma chave para a inversão de dados SAR.

O retroespalhamento das "leads" (passagens através do gelo), que é dependente do ângulo de visada devido às relações onda-vento, pode ser incorretamente classificado como gelo em alguns casos.

Nas bordas do mar de gelo o retroespalhamento é forte, o que ajuda muito na sua localização. Foi possível, com +trazoável certeza, a classificação de 3 tipos de gelo: -água aberta ou gelo novo, gelo plano e gelo deformado.

Uma boa correlação entre a topografia da superfície e o retroespalhamento, pixel a pixel, foi encontrada. Em escala maior, a rugosidade pôde ser estimada do histograma de retroespalhamento SAR.

A dedução do movimento do gelo a partir de imagens consecutivas foi conseguida com sucesso.

Foi mostrado que o Altimetro Geosat podia classificar tipos de gelo, localizar as bordas do gelo e, em alguns casos, medir a linha da borda de gelo média, com resolução horizontal de 1-2 km.

Foi reconhecida a importância de alguns tópicos para futuras pesquisas, tais como:

- o desenvolvimento de um método quantitativo para identificar "leads", baseado em parâmetros de imagem e informações de vento. O estudo do congelamento das "leads" seria também feito;
- as possibilidades de resolver o problema de inversão do mapeamento de gelo;
- a obtenção de classificação adicional de tipos de gelo utilizando-se medidas de SAR e de escaterômetro. (Isto iria requerer intensa colaboração entre cientistas de radar e geofísicos);
- a cobertura de neve e sua rápida variação temporal, usando modelos matemáticos e observações de campo.

O mar de gelo apresenta uma grande variedade de condições. Isto faz com que muita pesquisa em sensoriamento remoto de mar de gelo ainda tenha de ser feita antes que se possam obter alguns produtos de sensoriamento remoto necessários para o avanço do conhecimento das regiões afetadas pela presença de gelo no mar. Por isto várias campanhas utilizando o ERS-1 estão planejadas para 1992 e 1994.

#### 4 - Dados de Sensoriamento no Estudo do Clima e do Tempo

Os GCMs (General Circulation Models) são hoje a grande ferramenta da pesquisa do Tempo e do Clima. Seu uso permite que hipóteses feitas a partir de estudos observacionais sejam testadas num ambiente controlado.

A maior parte das pesquisas em clima feitas até agora com os GCMs estão relacionadas com a determinação da sensibilidade do sistema climático atmosférico às modificações

prescritas nos forçantes externos.

Os experimentos de sensibilidade do sistema climático atmosférico às anomalias de mar de gelo, feitos com diferentes tipos de modelos, fazem com que haja unanimidade entre os cientistas quanto ao importante papel desempenhado por elas (Ackley, 1979, Mitchell and Hills, 1986). Isso é especialmente relevante no Hemisfério Sul, onde a extensão do mar de gelo é muito maior do que no Hemisfério Norte. No Hemisfério Sul, a extensão máxima é de 7,5% da área do hemisfério, e no Norte é de 5%; o que faz, possivelmente, com que o gelo antártico influencie mais a atmosfera da terra que o gelo ártico (Ackley, 1979).

Uma grande motivação para esses estudos de sensibilidade vem do fato da maior parte dos modelos de distribuição global de aquecimento (efeito estufa) confirmar que a razão de aquecimento será grandemente amplificada nas regiões polares. Espera-se que a cobertura de gelo oferecerá a primeira advertência deste efeito em ação, o que pede um acompanhamento rotineiro das condições do gelo antártico.

O Brasil pretende utilizar um GCM para estudos de clima e previsão de tempo. Nestes modelos, quando se faz previsão numérica de tempo (PNT) a curto e médio prazos, as temperaturas da superfície do mar (TSM) são especificadas e fixas, assim como também o são as áreas cobertas pelo gelo do mar, enquanto se dá o processamento. Considera-se que estas variáveis mudam muito devagar e que o uso de suas médias mensais é um procedimento razoável nestas escalas de tempo. Por isso, todos os

modelos operacionais usam atualmente médias mensais de áreas cobertas por gelo no mar (Abreu, 1993). Este procedimento parece adequado para os países do Hemisfério Norte, onde estão situados os grandes centros de previsão numérica do tempo, que obtêm com ele um bom desempenho para suas previsões. Será que tal procedimento seria o mais adequado para a obtenção de previsões para o Hemisfério Sul? Esta pergunta só poderá ser respondida quando forem feitos experimentos com a finalidade de testar o impacto das anomalias de mares de gelo nas previsões de tempo do Hemisfério Sul. O NCAR vem conduzindo um experimento nesta linha, e seus resultados são ansiosamente esperados (Kingtse and Kalnay, 1991).

Tal expectativa se justifica pois sabe-se que, no mar de gelo antártico, temos mudanças semanais da extensão de gelo da ordem de  $10^5 \text{ km}^2$  e que o albedo do gelo é bem diferente do da água. De fato, estudos mais recentes têm indicado que erros no cálculo da extensão do mar de gelo podem distorcer previsões de circulação atmosférica. Estes erros devem ocorrer com frequência uma vez que água e gelo fino são indistinguíveis em dados de microondas e que a simulação do mar de gelo é muito sensível ao albedo (Mitchell and Hills, 1986).

Isso leva a pensar que modelos de previsão de tempo para o Hemisfério Sul venham a requerer uma frequência maior de atualização de dados de mar de gelo, bem como dados melhores do que aqueles hoje disponíveis nos vários centros de PNT.

Nas ciências do Clima e do Tempo, a modelagem numérica será muito beneficiada por um melhor conhecimento das condições de superfície, que só poderá advir do avanço na pesquisa em sensoriamento remoto. Mas será a modelagem numérica que responderá à pergunta de como o gelo do mar antártico afeta, se realmente afeta, o clima e o tempo de cada localidade.

## 5 - Conclusão

As ciências da atmosfera são muito dependentes de tecnologia sofisticada. A maior parte dos seus avanços, nos últimos 40 anos, tem sido diretamente relacionada com o desenvolvimento da tecnologia. Muitos dos problemas críticos, que os pesquisadores do Tempo e do Clima enfrentam hoje, requerem novos avanços tecnológicos.

É impossível ignorar que os países do Hemisfério Sul têm necessidades específicas, uma vez que são mais influenciados do que os do Hemisfério Norte por fenômenos diversos, tais como o El Niño, anomalias de mar de gelo antártico, destruição de ozona, inflação, etc.

A pobreza de dados climatológicos para este hemisfério é um fator que dificulta muito o entendimento dos fenômenos e a validação dos modelos que tentam explicá-los. A superação desta necessidade, por exemplo, está condicionada a avanços na pesquisa em Sensoriamento Remoto.

Se ficar demonstrado que para se obter um desempenho nas previsões de tempo para o Hemisfério Sul, comparável ao desempenho obtido para o

Hemisfério Norte nos dias de hoje, são necessários dados melhores e mais frequentes do mar de gelo antártico, tem-se aí um problema específico de Hemisfério Sul pedindo avanço na pesquisa de Sensoriamento Remoto.

Para que se possa entender, por exemplo, o efeito de uma poça de água aberta sobre o gelo de Weddell na circulação atmosférica, deveremos ter primeiro certeza de que se tem ali água mesmo, e não uma camada de gelo de espessura mínima. Este erro ainda é possível, no atual estado da arte de sensoriamento remoto. Um engano aí faz com que o fluxo de energia entre o oceano e a atmosfera mude drasticamente de sentido e também de intensidade. Como essas poças podem ser enormes, não é difícil se avaliar as consequências de tal engano; possivelmente ele afetaria previsões de circulação atmosférica.

O que resulta destas considerações é que o Hemisfério Sul teria mais a se beneficiar com o avanço da pesquisa em sensoriamento remoto que o Hemisfério Norte. Isso deveria fazer com que os países do Hemisfério Sul apresentassem um maior empenho no avanço desta pesquisa.

Agradecimentos- Agradeço ao Professor Dr. Plínio Tissi por suas valiosas sugestões.

## Referências

- Abreu L.M., 1993. CPTEC- Comunicação pessoal.
- Ackley S.F., 1979. A review of sea ice weather relationships in the southern Hemisphere, Sea Level, Ice and Climatic

Change, Proceedings of the  
Camberra Symposium, December  
1979, IAH, Publ.no.131.

Askne J.(editor), 1992. Special  
issue- The Bothnian  
Experiment in Preparation for  
ERS-1,1988 (BEPERS-  
88).International Journal of  
Remote Sensing.

Kingtse C.M. and Kalnay E.,  
1991. Impact of Sea Surface  
Temperature Anomalies on the  
skill of Monthly Forecasts.  
Monthly Weather Review,v119,  
no12.

Mitchell J.F.B., and Hills  
T.S.,1986. Sea ice and the  
Antarctic winter circulation:  
A numerical experiment,  
Quart.J.R. Met.Soc,112,953-  
969.

Untersteiner N. and  
Rothrock.D.A.,1987. Sea Ice  
Remote Sensing Report WMO/TD-  
no.127, WCP-128.