



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DA AGRICULTURA
COORDENADORIA DA PESQUISA AGROPECUÁRIA
INSTITUTO DE PESCA

ISSN 0103-1767

Boletim Técnico nº 04

APLICAÇÕES DA RADIOMETRIA DE MICROONDAS NA OCEANOGRAFIA

LUIZ ARNAUD BRITTO DE CASTRO

1988

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DA AGRICULTURA
COORDENADORIA DA PESQUISA AGROPECUÁRIA
INSTITUTO DE PESCA

APLICAÇÕES DA RADIOMETRIA DE
MICROONDAS NA OCEANOGRAFIA

LUIZ ARNAUD BRITTO DE CASTRO

ISSN 0103-1767

B.Téc. Inst. Pesca	São Paulo	nº 04	abr. 1988
--------------------	-----------	-------	-----------

SECRETARIA DE ESTADO DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE PESCA

APLICAÇÕES DA RADIOMETRIA DE
MICROONDAS NA OCEANOGRAFIA

Castro, Luiz Arnaud Britto de
Aplicações da radiometria de microondas na
oceanografia, por Luiz Arnaud Britto de
Castro. São Paulo, Instituto de Pesca ,
Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária ,
1988.
23p. (Boletim Técnico, 4)

CDU 551.46:535.214

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 SENSORES UTILIZADOS NA RADIOMETRIA DE MICRO- ONDAS	3
3 APLICAÇÕES NA OCEANOGRAFIA	11
3.1 Temperatura superficial	11
3.2 Salinidade	13
4 CIRCULAÇÃO SUPERFICIAL	15
5 AVALIAÇÃO DO ESTADO DO MAR	17
6 GELO MARINHO	19
7 DEFINIÇÃO DO GEÓIDE	21
8 FILMES, PELÍCULAS E ESPUMA NA SUPERFÍCIE	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

SIGLAS E ABREVIATURAS

- Banda L - Faixa de radiação eletromagnética, com frequência entre 0,39 e 1,55 Ghz.
- Banda X - Idem, entre 5,20 e 10,90 Ghz.
- cm - Centímetro.
- cos - Cosseno.
- dB - Decibel.
- frp - Frequência de repetição dos pulsos.
- g - Grama.
- Ghz - Gigahertz (10^9 hertz).
- °K - Graus Kelvin, ou absolutos.
- LASER - Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.
- m - Metro.
- Mhz - Megahertz (10^6 hertz).
- mm - Milímetro.
- NASA - U.S. National Aeronautic and Space Aministration.
- PPI - Plan Position Indicator (Um tipo de radar).
- PRT-5 - Um tipo de radiômetro infra-vermelho, portátil, utilizado no campo e em aeronaves.
- RADAR - Radio Detection And Ranging.
- RAS - Radar de Abertura Sintética.
- REDOP - REFlected DOPpler (Um tipo de Difusômetro).
- RVL - Radar de Visada Lateral.
- T/R - Transmite/Recebe (comutador).
- W - Watt.
- o/oo - Partes por mil.

APLICAÇÕES DA RADIOMETRIA DE MICROONDAS NA OCEANOGRAFIA

Luiz Arnaud Britto de Castro¹

1 INTRODUÇÃO

Radiometria pode ser definida como "a ciência da medida da energia radiante ao longo do espectro eletromagnético (todo)"*. Quando aplicada a trechos definidos do espectro pode receber nomes específicos como: Fotometria (no visível), Radiometria de Infravermelho ou Radiometria de Microondas.

Define-se a faixa de microondas como aquela compreendendo radiações como comprimentos de onda variando de 1 mm a pouco mais de 1 m, com frequências entre 300 Mhz e 300 Ghz. A faixa mais utilizada em sensoriamento remoto é a que vai de 1 a 300 Ghz.

(*) Enciclopédia Britânica.

(1) Pesquisador Científico - Divisão de Pesca Marítima - Instituto de Pesca.

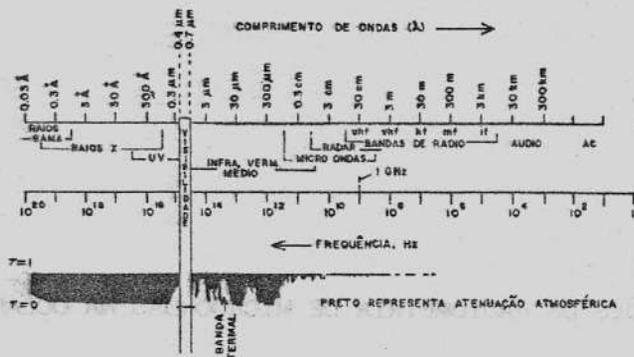


FIGURA 1 - Espectro Eletromagnético. Fonte: SUITS (1975).

Esta faixa do espectro apresenta a vantagem de sofrer menor atenuação e menos espalhamento na atmosfera, principalmente nas frequências menores que 13,7 Ghz. Acima dessa frequência a atenuação pela atmosfera aumenta sensivelmente, devido ao espalhamento e absorção pela chuva, vapor d'água e oxigênio na atmosfera. Existem, porém, algumas "janelas", que podem ser utilizadas em sensoriamento remoto. As principais localizam-se nas frequências de 32, 94, 140 e 225 Ghz.

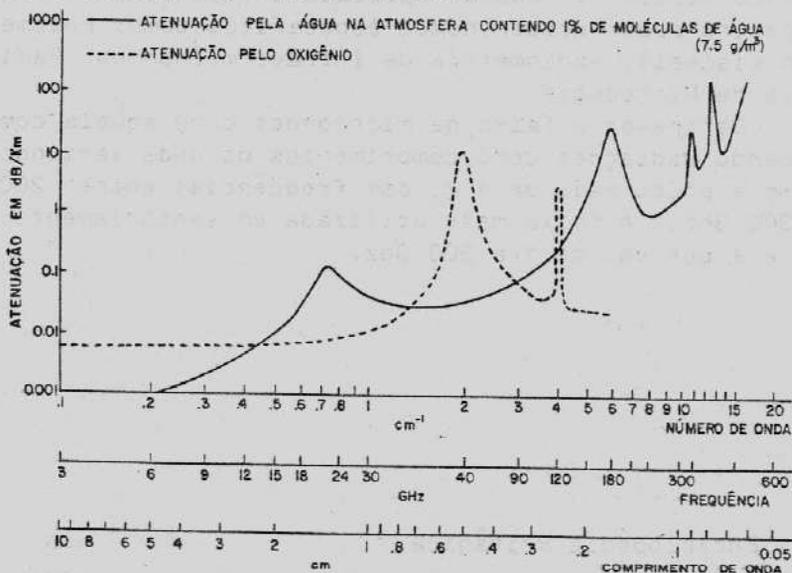


FIGURA 2 - Atenuação pela atmosfera. Fonte: AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE (1968).

2 SENSORES UTILIZADOS NA RADIOMETRIA DE MICROONDAS

Os aparelhos utilizados na radiometria de microondas podem ser classificados em duas categorias: ativos e passivos.

Os ativos possuem sua própria fonte de radiação e medem ou analisam a radiação emitida por essa fonte e refletida pelo alvo. Os passivos apenas medem ou analisam a radiação proveniente do alvo, seja ela emitida pelo próprio alvo ou apenas refletida por ele. Os sensores passivos relacionam-se mais diretamente com a emissividade do alvo, enquanto os ativos relacionam-se com sua refletividade.

Os principais sistemas passivos são os radiômetros e radiômetros imageadores. Radiômetros de microondas medem, basicamente, e numa faixa relativamente larga, radiação eletromagnética com propriedades estatísticas semelhantes as do ruído produzido pelo receptor e por outras fontes. Entende-se por ruído o sinal de saída existente quando sobre o sensor não incide qualquer radiação; é um sinal gerado pelo funcionamento do sistema.

O nível de potência do sinal gerado é bastante baixo, da ordem de 10^{-11} a 10^{-20} w, o que destaca a alta sensibilidade necessária ao bom funcionamento dos radiômetros. Em outras palavras: o ruído do receptor, somado aos demais ruídos espúrios, não deve exceder a ordem de 10^{-20} watts, para que a relação sinal/ruído seja maior que 1, condição básica para a detecção.

Existem numerosos tipos de radiômetros, cobrindo a faixa de 0,3 a 300 Ghz; entretanto, o mais largamente utilizado é o de sinal modulado, ou radiômetro de Dike, apesar de sua baixa performance intrínseca, devido à sua simplicidade de concepção e baixa sensibilidade às variações de ganho do receptor. O sistema consiste de: uma antena de alto ganho, um modulador (interruptor de Dike), amplificador de rádio frequência, detector, filtro de banda, amplificador, detector síncrono e amplificador.

A sensibilidade de radiômetro de Dike é dada pela relação:

$$\Delta T = \frac{2(TA + TR)}{B \cdot \tau}$$

onde:

ΔT = menor diferença de temperatura de brilho discriminável.

TA = temperatura correspondente ao ruído da antena (temperatura de ruído da antena).

TR = temperatura de ruído do receptor.

B = largura da banda (faixa de comprimento de onda) captada.

τ = tempo de integração do sinal.

Nas condições normais de operação dos equipamentos existentes, ΔT varia entre $0,2^{\circ}\text{K}$ e $1,0^{\circ}\text{K}$.

A resolução angular é dada por:

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

onde:

θ = ângulo sólido que define o campo de visada instantâneo.

λ = comprimento de onda (nominal) em que opera o aparelho.

D = diâmetro da antena.

Os radiômetros imageadores são, basicamente, iguais aos não imageadores, exceto por uma antena que executa uma varredura mecânica ou eletrônica e um sistema de registro. Os sistemas podem operar em polarização horizontal ou vertical, simultânea ou alternadamente. A imagem resultante é processada eletronicamente e reproduzida em papel, assemelhando-se a uma fotografia. Durante o processamento aplica-se realce colorido à imagem, de modo a tornar mais visíveis as variações de temperatura de brilho, facilitando a interpretação. Na Figura 3 encontramos um exemplo de imagem radiométrica em preto e branco.

A geração da imagem pode se dar por três métodos:

- 1) Utilizando o movimento da plataforma para produzir a separação horizontal das linhas de varredura, que são

registradas uma a uma em um filme em movimento. Um esquema dessa forma é apresentado na Figura 4.

2) Através de feixes múltiplos, coletando radiação simultaneamente num plano cônico ou transversal à linha de vôo.

3) Através de um mosaico de feixes coletando a temperatura de brilho do terreno por um curto período de tempo.

A varredura mecânica apresenta vantagens como a possibilidade de imageamento multiespectral e a simplicidade eletrônica; entretanto, a inércia associada aos sistemas mecânicos é uma séria limitação ao seu uso em espaçonaves (satélites). A varredura eletrônica não apresenta

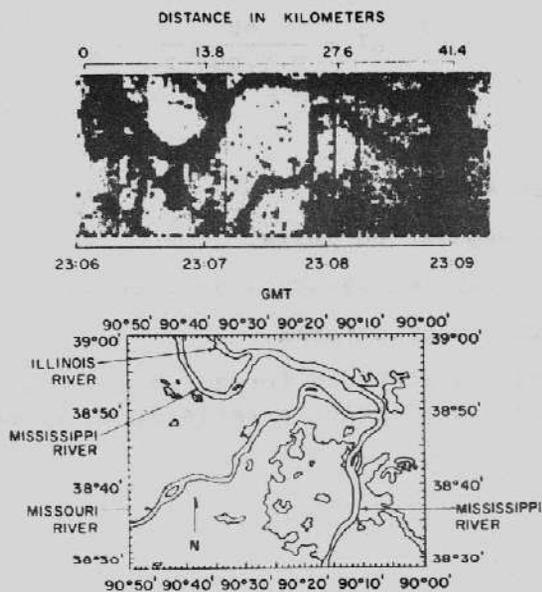


FIGURA 3 - Imagem radiométrica do entroncamento dos rios Illinois, Mississip e Missouri. Cortesia da Aerojet-General Corporation. Fonte: LINTZ & SIMONETT (1976).

problemas de inércia, uma vez que não conta com partes móveis, o que a torna quase imprescindível na construção de sistemas a serem montados em espaçonaves. Como são controlados por computadores, os sistemas de varredura

eletrônica apresentam a vantagem de permitir a variação do tipo de varredura (circular, cônica ou linear) por programação, aumentando grandemente a flexibilidade do aparelho.

Uma vez que a radiação recebida pelos lobos secundários da antena degrada a imagem e aumenta a incerteza das determinações da temperatura de brilho, a antena deve apresentar um feixe de alta eficiência, isto é: a razão entre a potência do lobo principal e a dos secundários deve ser alta.

A varredura pode ser contínua, ou o feixe pode movimentar-se aos saltos permanecendo um curto período (ΔT) em cada posição. O tempo de permanência possível em cada posição é dado por:

$$\Delta T = \frac{h\theta}{n \cdot v \cdot \cos^2 \phi}$$

onde:

h = altura do vôo.

θ = abertura angular do feixe.

n = nº de células (ou paradas) em cada varredura.

v = velocidade da plataforma.

ϕ = ângulo que a varredura forma com a vertical (constante na varredura cônica e variável na linear).

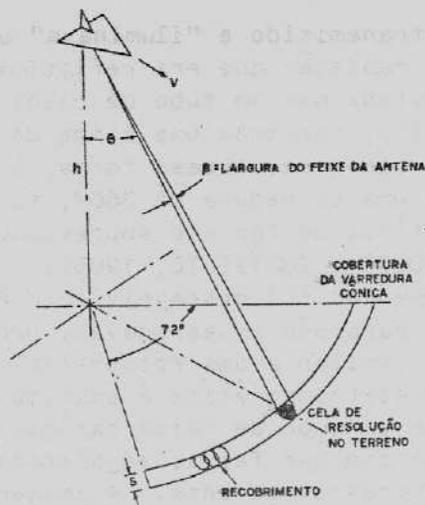


FIGURA 4 - Esquema da geometria da varredura de um imageador com varredura cônica. Fonte: LINTZ & SIMONETT (1976).

Os sistemas ativos diferenciam-se dos passivos por gerarem sua própria iluminação ou, em outras palavras, por derivarem informações de interesse a partir da análise da interação de um pulso de energia por ele emitido com o alvo que o reflete.

Os principais sistemas ativos são os radares e o difusômetro (scatterometer). Usam-se, também, combinações de radar e difusômetro.

O termo "RADAR" é uma abreviação de Radio Detection And Ranging; entretanto, é comumente empregado para designar sistemas ativos de microondas de forma genérica, mesmo que não produzam informações sobre a distância do alvo (ranging).

Dois princípios gerais são utilizados em equipamentos de radar:

- a) transmissão contínua, acompanhada da medida da mudança de fase na radiação refletida; e
- b) transmissão descontínua ou "pulsada".

O primeiro radar montado em uma aeronave foi o "Planned-Position Indicator" (PPI RADAR). O sistema era constituído por um comutador transmite/recebe, um transmissor e um receptor. Um curto pulso de radiação eletro

magnética era transmitido e "iluminava" uma área abaixo da aeronave; a radiação que era refletida pelo solo e retornava era captada por um tubo de raios catódicos e modulava seu brilho, formando uma linha de imagem em uma tela de longa permanência. Dessa forma, à medida que a antena executava uma varredura de 360°, formava-se na tela uma imagem contínua do terreno sobrevoado pela aeronave (AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE, 1968).

Posteriormente, foi desenvolvido o **Radar de Visada Lateral (RVL)**, para uso em aeronaves, produzindo uma imagem do terreno similar a uma fotografia. Um estreito feixe de radiação eletromagnética é emitido e o seu retorno é registrado em um tubo de raios catódicos. O movimento da aeronave faz com que faixas adjacentes do terreno sejam imageadas consecutivamente. A imagem formada no tubo é registrada em um filme fotográfico que se move continuamente, em velocidade sincronizada com a da aeronave.

Existem dois tipos de radar de visada lateral: abertura real (brute force) e abertura sintética. Abertura é uma medida técnica equivalente ao diâmetro das antenas circulares e ao comprimento das retangulares. Dependendo do sistema utilizado a imagem no tubo de raios catódicos pode ser semelhante a uma fotografia ou apresentar-se como uma sucessão de áreas claras e escuras, representando informação que precisa de posterior processamento para resultar em uma imagem.

O RVL de abertura real consiste de um radar PPI, com uma antena fixa inclinada lateralmente em relação à direção de voo da aeronave, executando uma varredura a medida que esta avança. A imagem obtida no osciloscópio é registrada em um filme fotográfico e tem a aparência de uma fotografia. O gerador de radiofrequência produz um sinal e um único comprimento de onda, que é amplificado à potência de emissão desejada e emitido em curtos pulsos a intervalos controlados. O comutador T/R sincronizado com a antena liga o receptor nos intervalos entre os pulsos. O registro do osciloscópio é sincronizado com o retorno do sinal, registrando primeiro o retorno do sinal proveniente da área mais próxima e por último o da mais distante; dessa forma gerando uma imagem do alvo. O sinal emitido é polarizado, vertical ou horizontalmente, e o aparelho pode ser ajustado para receber polarização paralela ou cruzada.

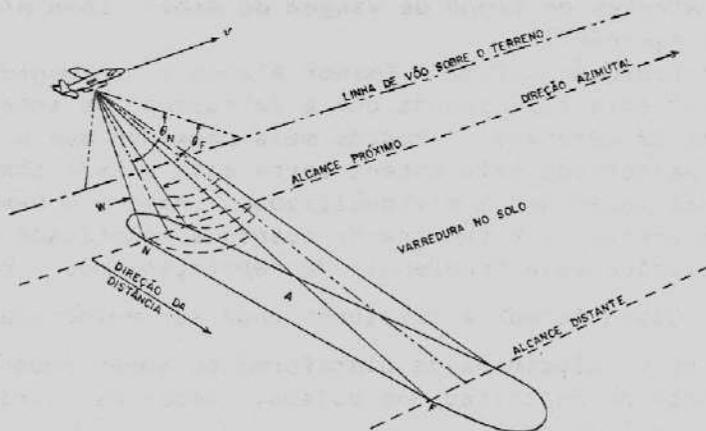


FIGURA 5 - Esquema de funcionamento do radar de visada lateral. Fonte: AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE (1968).

A resolução espacial em um radar de visada lateral com abertura real depende, basicamente, da largura do feixe de radiofrequência emitido pela antena. A largura desse feixe, por sua vez, varia com o inverso do comprimento (ou diâmetro) da antena, de tal forma que quanto maior a antena melhor a resolução.

O radar de visada lateral de **abertura sintética** usa o efeito doppler e o registro do histórico das fases do sinal refletido para simular uma antena muito grande. A antena (ou abertura) utilizada efetivamente pode não ser maior que alguns metros; entretanto, a abertura obtida eletronicamente é muitas vezes maior que a real, daí o termo "abertura sintética".

O RAS adquire informação tanto de azimute como de distância de cada elemento de imagem durante o tempo em que o objeto ou característica está dentro da área "iluminada" pelo feixe de radar. A separação e integração dos elementos de imagem à mesma distância, porém separados na direção do vôo é possível porque a frequência doppler ligada a cada um deles é diferente e única. A variação de frequência é detectada comparando-se a frequência emitida por oscilador estável com a recebida pela antena. É registrada a história das frequências, para cada eco, a cada incremento de distância. A distância é

obtida através do tempo de viagem do sinal, como nos radares convencionais.

A resolução máxima δ (menor elemento de imagem discernível) está relacionada com a velocidade da antena (velocidade da aeronave). Pontos mais próximos que a distância percorrida pela antena entre dois pulsos consecutivos não podem ser individualizados. Assim, o menor elemento discernível é tão grande quanto a velocidade da antena dividida pela frequência de repetição dos pulsos ($\frac{V}{f_{rp}}$). Dessa forma, a resolução pode ser melhorada diminuindo-se a velocidade da plataforma ou aumentando-se a frequência da repetição dos pulsos. Ambas as variações porém, são limitadas.

Dá-se o nome de **difusômetro** (scatterometer) a um radar que envia o seu feixe no mesmo plano vertical que contém a trajetória da plataforma, para frente, para trás, ou ambos, e registra a quantidade de radiação que retorna.

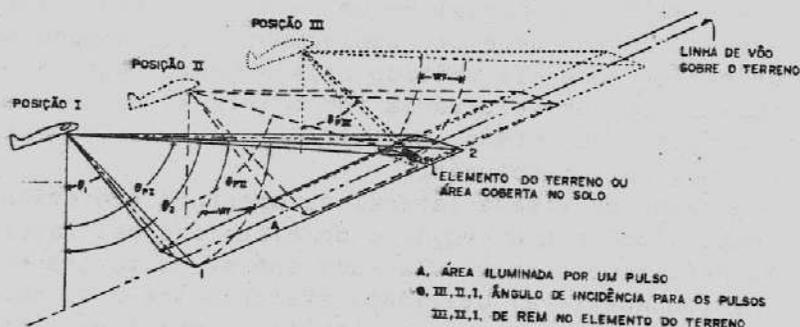


FIGURA 6 - Esquema de funcionamento do difusômetro. Fonte: AGI (1968).

Estão em uso, atualmente, dois tipos de difusômetro: de pulso e REDOP. O **difusômetro de pulso** evoluiu a partir do radar altímetro, no qual um pulso de radiação é dirigido verticalmente da plataforma para baixo e, pela medida do tempo decorrido até o retorno do eco obtém-se uma medida da altura da plataforma. Um difusômetro de pulso emite radiação (em pulsos) para frente e para trás da plataforma e registra sequencialmente, do primeiro

(mais próximo) ao último retorno, a quantidade de energia eletromagnética retroespalhada pelo alvo, em termos percentuais. Difusômetros de pulso têm sido empregados nas frequências de 0,4; 1; 3; 10; 30 e 50 GHz. A radiação pode ser emitida ou recebida em polarização horizontal, vertical, circular ou elíptica. Pode ainda ser transmitida uma polarização plana, e recebida sua ortogonal. A resolução dos difusômetros de pulso, da mesma forma que nos radares de abertura real, está condicionada pelo tamanho da antena.

O difusômetro REDOP está para o de pulso como o radar de abertura sintética para o de abertura real. É, basicamente, um transmissor receptor de microondas, em onda contínua. A sigla REDOP vem de Reflectivity by Doppler. O espectro doppler desenvolvido em razão da velocidade da plataforma está relacionado com as características de refletividade e retro espalhamento do alvo ou terreno.

3 APLICAÇÕES NA OCEANOGRAFIA

Dentre as possíveis aplicações da radiometria de microondas na oceanografia merecem destaque:

- 1) Medida e mapeamento da temperatura da superfície;
- 2) avaliação da salinidade;
- 3) estudo da circulação superficial;
- 4) avaliação do estado do mar;
- 5) estudos da interface gelo/água;
- 6) definição do geóide;
- 7) detecção de filmes, películas e espuma na superfície.

3.1 Temperatura superficial

Este é, talvez, o parâmetro de maior interesse na oceanografia física. O seu conhecimento permite a identificação de massas de água e correntes, além de fornecer informações sobre as trocas energéticas na interface

água/ar e indicação sobre a atividade biológica.

Os organismos marinhos tendem a ser tão seletivos, quanto às temperaturas em que vivem, que uma pequena variação pode determinar uma sensível alteração na distribuição geográfica e temporal dos organismos marinhos. Por exemplo: em 1975 observou-se o quase desaparecimento da sardinha no litoral do estado de São Paulo, onde as capturas dessa espécie são tradicionalmente altas, e seu concomitante aparecimento em Sta. Catarina, uma região tradicionalmente de baixa produção. A partir de 1976 reverteu-se a situação, voltando as produções nessas áreas aos valores tradicionais. De todas as causas até hoje aventadas para esse fenômeno, uma única sustentável é a ocorrência de pequena variação nas condições oceanográficas da região (temperatura e/ou salinidade) durante o período anormal. Tal hipótese, porém, não pode ser verificada por falta de dados sinóticos da região.

Da mesma forma, uma massa de ar frio deslocando-se do continente para o mar, no inverno, pode ocasionar uma mortalidade na vida marinha, pela elevação das águas do fundo, causada pelos ventos costeiros.

Promovendo a capacidade de medir a temperatura superficial, com precisão, sobre uma grande área marítima, o sensoriamento remoto permitirá a previsão e, talvez, o monitoramento das migrações de espécies de interesse.

Até agora, os sensores mais empregados na medida da temperatura superficial do mar têm sido aqueles operando no infra-vermelho. Tais sensores, porém, são muito sensíveis às condições atmosféricas, tornando-se totalmente inoperantes quando há nuvens ou chuva.

Os radiômetros de microondas permitem medir a temperatura superficial praticamente com qualquer tempo. Apresentam porém, o inconveniente de maior volume e peso de antenas e circuitos.

PARIS (1971a) desenvolveu modelos das diversas variáveis envolvidas (refletividade da água, constante dielétrica, frequência, etc.) de forma a permitir que a temperatura de brilho de uma superfície aquática lisa (especial) fosse calculada para qualquer temperatura da água, salinidade, frequência de microondas, polarização ou ângulo de incidência. Estudos posteriores demonstraram que:

1) Para a maioria das frequências de microondas, acima de

8 GHz, a temperatura de brilho é uma função, pouco sensível, da temperatura superficial da água e da salinidade;

- 2) existe um pico na relação da razão de variação da temperatura de brilho com razão de variação superficial, nas frequências próximas a 5,8 GHz; outros picos ocorrem em ambas as extremidades da faixa de microondas;
- 3) os efeitos das mudanças na temperatura de brilho, causados pela temperatura superficial e salinidade, são menores para polarização horizontal que para polarização vertical, para observações em ângulo com o nadir.

3.2 Salinidade

Este é, depois da temperatura, o parâmetro cujo conhecimento é mais importante para o oceanógrafo. Sua importância vem do fato que a salinidade é o fator que mais especificamente distingue o ambiente marinho dos demais ambientes aquáticos, além de caracterizar as diversas massas de água que circulam e interagem no oceano. A salinidade é, ainda, junto com a temperatura, um dos parâmetros aos quais os organismos marinhos são mais seletivos.

O conhecimento da temperatura, salinidade e profundidade (topografia do fundo) permite o cálculo e identificação de massas d'água, elaboração de perfis de densidade e estudos da circulação em profundidade.

A medida da salinidade por sensoriamento remoto baseia-se em ser a constante dielétrica da água uma função da frequência de microondas, da temperatura e da salinidade. Sendo a temperatura de brilho a uma dada frequência de microondas função da constante dielétrica do alvo, pode-se, com o uso combinado de radiômetros de microondas em frequências diferentes (ou radiômetro de microondas e radiômetro infravermelho) inferir a salinidade juntamente com a temperatura da área estudada.

O desenvolvimento da medida da salinidade por sensoriamento remoto (radiometria de microondas) deve-se principalmente aos estudos de PARIS (1971) que chegou às seguintes conclusões:

- 1) As variações da salinidade causam variações sensíveis

na temperatura de brilho da água em frequências inferiores a 5 GHz; o efeito aumenta com a diminuição da frequência e aumento da temperatura da água;

- 2) os efeitos da variação da salinidade, da mesma forma que para temperatura, são menores para polarização horizontal, em observações fora do nadir;
- 3) em ângulos bastante próximos do nadir, a emissividade de uma massa de água com salinidade de 35‰, varia de 0,2 a 0,6; dessa forma, a refletividade (0,4 a 0,8) é alta, aumentando a influência da emissão de radiação térmica, em frequência de microondas, pela atmosfera.

Como resultado desse e de outros estudos (PARIS, 1972; DILINGER & PARIS, 1972) existem, atualmente, programas de computador, disponíveis através da NASA ou Lockheed Electronics Co., que utilizando os dados do radiômetro de microondas instalado na aeronave 927 da NASA e do PRT-5 (infravermelho) produz mapas (plots) de temperatura e salinidade.

Um radiômetro operando em 1,42 GHz foi usado para estudar a salinidade de um trecho do golfo do México, junto à foz do Mississipi, resultando o gráfico abaixo, (Figura 7) das respostas da temperatura de brilho em relação à temperatura e salinidade da água.

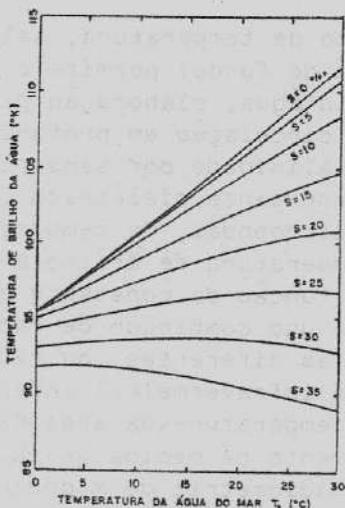


FIGURA 7 - Temperatura de brilho em função da salinidade da água. Fonte: PARIS (1972).

4 CIRCULAÇÃO SUPERFICIAL

A circulação superficial dos oceanos é, primariamente, o resultado da ação dos ventos predominantes. A transferência da energia dos movimentos atmosféricos para a superfície do mar põe em andamento os processos de transporte de água, que variam de pequenos movimentos costeiros aos grandes sistemas de correntes oceânicas.

Essa movimentação das águas se constitui em importante fator ecológico pela sua função de transporte e distribuição de nutrientes e oxigênio. A difusão na água se processa cerca de 10.000 vezes mais lentamente que no ar; dessa forma, sem as correntes e demais mecanismos de mistura da água do mar, um aumento de $2 \text{ cm}^3 / \text{l}$ no oxigênio dissolvido na superfície levaria cerca de 2.000 anos para atingir a profundidade de 10 metros.

As principais características indicativas das correntes marinhas são: temperatura, cor da água, rugosidade da superfície, salinidade e limites demarcados por espuma ou filmes.

Utilizando as características de rugosidade da superfície e sua resposta ao radar, MOSKOWITZ (1973) efetuou um levantamento da margem norte da corrente do golfo, com um radar de visada lateral operando nas bandas X e L. Segundo observações da temperatura da superfície, obtidas com um radiômetro infravermelho, (Figura 8) a margem norte da corrente do golfo apresenta três bruscas mudanças de temperatura, que aparecem na imagem do radar como três faixas de maior refletividade (Figura 9). A comparação dos limites da corrente observados por radar com observações de temperatura, mostrou muito boa concordância.

Na imagem de radar, o lineamento mais à direita representa a verdadeira margem da corrente do golfo; os outros dois representam os limites de um pequeno filamento de água fria aprisionado entre as corrente do golfo e a corrente costeira.

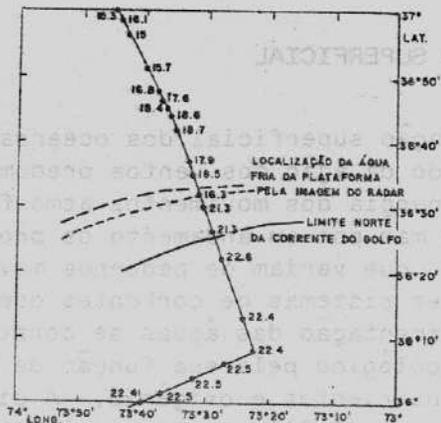


FIGURA 8 - Temperaturas superficiais obtidas com radiômetro infravermelho. Fonte: MOSKOWITZ (1973).

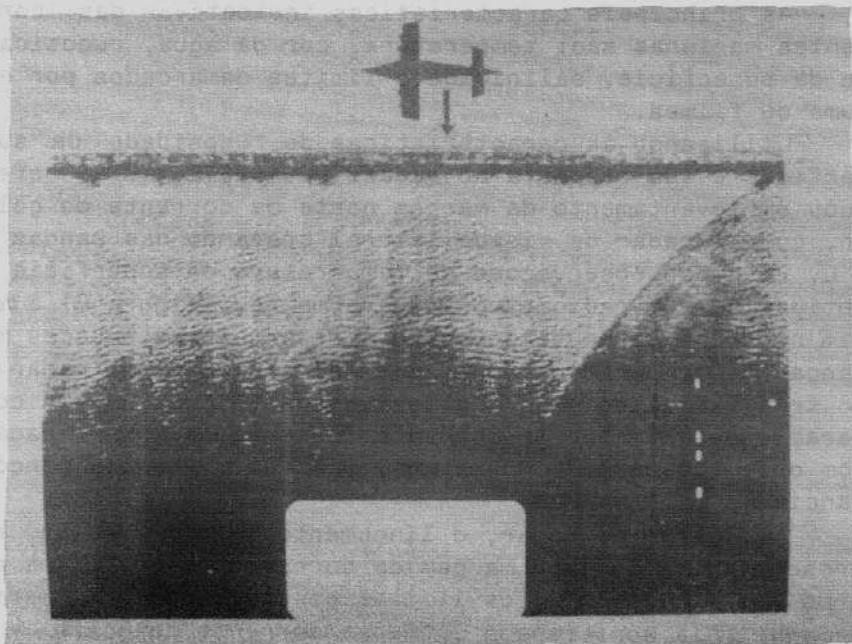


FIGURA 9 - Imagem de radar de visada lateral mostrando a margem norte da Corrente do Golfo e as subcorrentes adjacentes. Fonte: MOSKOWITZ (1973).

5 AVALIAÇÃO DO ESTADO DO MAR

Estado do mar, em seu sentido mais básico, é o grau de rugosidade de sua superfície. Essa rugosidade é criada, originalmente, pela tensão do vento na interface água/ar, e faz parte do intercâmbio de energia entre oceano e atmosfera.

A verificação do estado do mar é importante não só pela sua interferência com a navegação e pesca mas, principalmente porque as condições de rugosidade da superfície afetam as medidas radiométricas nela realizadas. Em náutica, a velocidade do vento é comumente utilizada para classificar o estado do mar, através da escala BEAUFORT.

Beaufort	Velocidade do Vento	
	nós	m/s
0	0	0
1	2	0,9
2	5	2,4
3	9	4,4
4	13	6,7
5	18	9,3
6	24	12,3
7	30	15,5

Beaufort	Velocidade do Vento	
	nós	m/s
8	37	18,9
9	44	22,6
10	52	26,4
11	60	30,5
12	68	34,8

As técnicas de sensoriamento remoto aplicadas à avaliação do estado do mar variam desde simples observações visuais da reflexão do sol na superfície (sun glitter) ao uso de vários tipos de radar.

A família dos sensores de microondas fornece ferramentas valiosas para a medida do estado do mar. A tempe

ratura de brilho medida por esses sensores, em determinadas faixas de comprimentos de onda, é afetada pela formação de espuma e pelos respingos causados por ventos fortes e pela rugosidade de superfície. Com base nessa informação foram desenvolvidos trabalhos para correlacionar a rugosidade da superfície com o estado do mar.

Visto que a cobertura de nuvens sobre o mar é, em média, de 60%, os sensores mais promissores para esses estudos são os ativos. Os dois mais utilizados são o difusômetro e o perfilômetro de ondas (wave prolifer). O difusômetro compara a intensidade do sinal emitido com a do recebido; quanto maior a rugosidade maior o espalhamento do sinal emitido e menor o retorno. A Figura 10 mostra a correlação entre o sinal de retorno do radar e o estado de mar. As linhas referentes aos estados 1 e 6 foram calculadas a partir de modelos teóricos. (AGI - 1968).

O perfilômetro é um radar altímetro de precisão que traça um perfil da altura das ondas ao longo da linha de vôo.

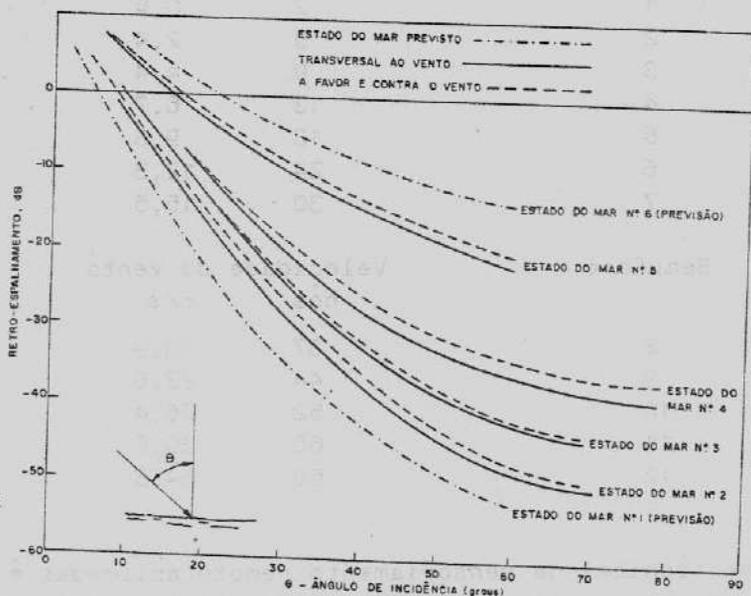


FIGURA 10 - Correlação entre espalhamento e estado do mar. Fonte: AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE (1968).

Outros dois sistemas vêm sendo testados para medida do estado do mar: o radar de visada lateral e o radar de quatro frequências. Este, usa a distribuição do espectro doppler para índice da altura das ondas. Espera-se que este aparelho venha suprir uma deficiência do difusômetro que é a perda do sinal nos estados do mar mais altos (ventos fortes).

6 GELO MARINHO

O gelo cobre grandes extensões do globo, variando na espessura de uns poucos centímetros a vários metros, e com arestas de pressão com até 30 metros de altura.

O objetivo do sensoriamento remoto do gelo marinho é determinar seus tipos de distribuição, de modo a poder fornecer informações válidas para o estabelecimento de rotas de navegação e planejamento de operações de pesca. O estado da capa de gelo ártica e sua dinâmica afetam, também, profundamente, as condições de clima no hemisfério norte.

Os sistemas básicos disponíveis para o sensoriamento remoto de gelo são: a) fotografia nas regiões do visível e infravermelho próximo; b) sensores infravermelhos na faixa de 1 a 40 m, com a principal janela em 8 a 14 m; c) sensores de microondas ativos e passivos. Os dois primeiros tipos de sensores (fotográficos e infravermelhos) são altamente limitados pelas condições climáticas, enquanto os sensores de microondas não têm essa limitação.

O radar de visada lateral tem sido usado na coleta de informações sobre os padrões de comportamento do gelo durante o inverno e verão. Embora as imagens resultantes não tenham a mesma resolução que as fotografias aéreas, apresentam grande importância para a definição dos limites e extensão da concentração de gelo no mar; além de ser operado por qualquer tempo.

Sensores de microondas passivos são de grande valia na determinação dos limites entre gelo e água e na localização de Icebergs. Como o gelo tem uma emissividade muito maior que a da água, apresenta uma temperatura de brilho maior que a da água. Essa grande diferença de temperatura de brilho aparece na forma de um degrau no traço

do radiômetro representando o perfil das temperaturas de brilho ao longo da linha de vôo.

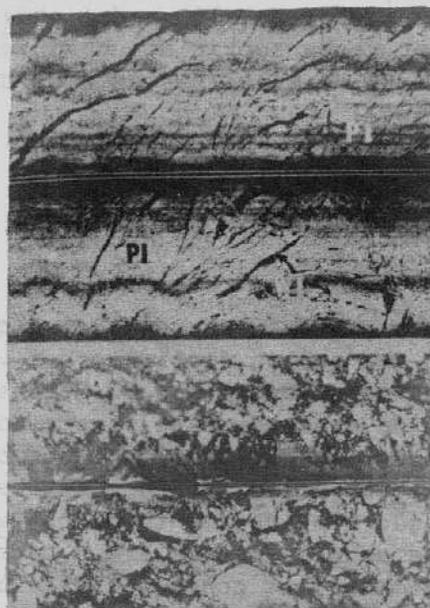


FIGURA 11 - Visualização de gelo novo e antigo, conforme aparecem em imagem RVL. Fonte: MCLERRAN (1969).

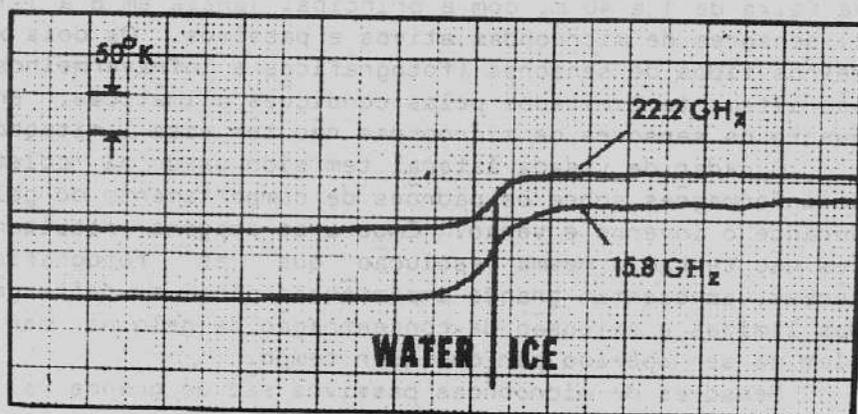


FIGURA 12 - Traço de radiômetro de microondas mostrando a transição de gelo (ice) para água (water). Fonte: ASP. MANUAL REMOTE SENSING.

7 DEFINIÇÃO DO GEÓIDE

Embora seja geralmente aceito que a terra apresenta uma superfície semelhante a uma elipsóide, a superfície de interesse para o oceanógrafo é o geóide, ou seja, aquela superfície teórica onde o vetor gravidade seja sempre normal à superfície do mar (se não houvessem ondas ou correntes). A superfície dos oceanos desvia-se desse plano por diversas razões, entre as quais destacam-se marés, ondas de tempestades, circulação provocada pelos ventos e diferenças de pressão barométrica.

Os desvios da superfície do oceano sobre o geóide podem ser da ordem de 50 a 80 metros, em uma distância horizontal de vários milhares de quilômetros (PERSON, 1969). Há variações menores associadas às grandes fossas, das quais se conhecem cerca de 20. A fossa de Porto Rico, por exemplo, tem uma depressão superior a 20 metros em uma distância horizontal de 3° de longitude (VONARNX, 1966).

O sensor requerido para esse tipo de medida é um radar altímetro, com precisão de ± 2 m, montado em um satélite de órbita estável em relação ao centro da terra.

Com a precisão nessa faixa é possível medir as principais marés. Na baía de Fundy as marés de sisigia da primavera podem ocasionar variações de até 17 m. Também as ondas de tempestades e tsunamis, se tiverem mais que três ou quatro metros poderão ser detectadas antes que atinjam o continente.

O sensoreamento remoto das declividades dos oceanos exigirá melhoramentos na sensibilidade dos altímetros. As grandes correntes ocidentais (GOLFO, BRASIL, KURO - SHIO e AGULHAS) apresentam os maiores declives, entretanto, a mais importante nesse aspecto, a do Golfo, não vai além de uma declividade de 1 m a cada 100 km (GREENWOOD et alii, 1967).

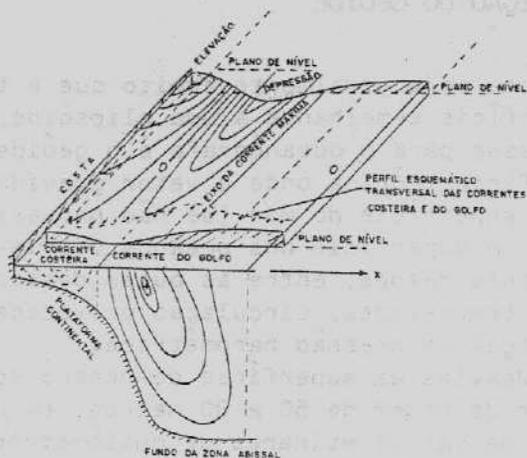


FIGURA 13 - Esquema das declividades do oceano associadas à Corrente do Golfo. Fonte: GREENWOOD et alii (1967).

8 FILMES, PELÍCULAS E ESPUMA NA SUPERFÍCIE

Esses fenômenos estão, geralmente, ligados aos processos internos dos oceanos e podem ser utilizados como indicadores dos padrões de ventos na superfície ou dos movimentos internos da camada superior do oceano. Filmes e películas de origem biológica podem indicar a presença de cardumes de pescado de valor comercial, enquanto os de origem mineral podem apontar fontes poluidoras.

Esses fenômenos inibem a evaporação da superfície do mar e, assim, parecem mais quentes aos sensores térmicos. Na região das microondas as películas e filmes aumentam a temperatura de brilho.

É sabido que quando um cardume de peixes se alimenta de outro são liberados óleos orgânicos que formam um filme de espessura molecular na superfície.

Tanto os sensores infravermelhos como os de microondas podem detectar tais filmes. Entretanto, para a identificação do tipo de óleo, sem a qual não resulta nenhuma informação de interesse para a pesca, são necessários sensores em ultravioleta. Atualmente, desenvolvem-se ,

também, estudos sobre a aplicação de sistema LASER para essa finalidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE 1968 Introduction to Electromagnetic Remote Sensing. Washington D.C.
- DILINGER, A. & PARIS, J. 1972 Salinity and Temperature analysis Program, apud HUEBNER: The Marine Environment. in: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Manual of Remote Sensing. Washington, D.C. p. 1553-22.
- GREENWOOD, J.A., NATHAN, A. & NEUMANN, G. 1967 Radar altymetry from a spacecraft and its potential applications to geodesy and oceanografy New York - N.Y. University.
- LINSTZ, J.R. & SIMONETT, D.S. 1978 Remote Sensing of Environment. Reading Massachusetts.
- Mc LERRAN, V.H. 1969 Remote Sensing and interpretation of Sea-Ice features. In: BADGLEY, P.C.; MILOY, L. & CHILDS, L. 1969 Oceans from Space. Houston Texas. p. 159-170.
- MOSKOWITZ, L.I. 1973 The feassibility of ocean currente mapping via synthetic aperture radar methods. In: Remote sensing in oceanography, proceedings of the ASP Fall Convention. Florida.
- PARIS, J. 1971 Transfer of Thermal Microwaves in the Atmosfere. apud HUEBNER: The Marine Environment. In: ASP. Manual of Remote Sensing. Washington, D.C. p. 1553-22.
- PARIS, J. 1972 Prediction of the response of Earth Pointed Sensors (PREPS), apud HUEBNER. The Marine Environment. In: ASP Manual of Remote Sensing. p.1553 - 22.
- PIERSON, W.J.Jr. 1969 The sea Surface. In: BADGLEY , P.C., MILOY, L.; CHILDS, L. 1969 Oceans from Space. Houston Texas, p.104-30.
- SWITS, G.H. The Nature of Eletromagnetic Radation. In: ASP. Manual of Remote Sensing, Washington D.C., cap. 3, p.54(51-73).
- VON ARNX, W.S. 1966 Level-Surface profiles across the Puerto Rico Trench. *Science*, 154(3757):1651-53.

EXPEDIENTE

Revisão: PqC. Henrique Arruda Soares e Su
zana Sendacz

Diagramação, revisão bibliográfica: Bibl.
Marly Borini

Acompanhamento e revisão de datilografia:
Bibl. Marly Borini e Argentino Simas

Datilografia: Elza Ayako Koyama de Araújo

Capa: Regina Célia Barbosa da Silva

Ilustração: Macleyd de Souza Marcelino

Serviços Gráficos: João Gomes de Moraes e
José Maria Cintra da Silva

Distribuição: Seção de Biblioteca



GOVERNO QUÉRCIA



SECRETARIA DA

AGRICULTURA

Editado e impresso pelo Instituto de Pesca
Av. Francisco Matarazzo, 455 - CEP 05001-SP