

# ESTIMATIVA DE SALINIDADE DA SUPERFÍCIE DO MAR POR SATÉLITES: UM NOVO DESAFIO

Cecilio, C. M.; Gherardi, D. F. M.; Souza, R. B.

*Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil. cecilio<sup>1</sup>, douglas<sup>2</sup>, ronald<sup>3</sup>@dsr.inpe.br.*

## RESUMO

O oceano é considerado o grande armazenador e redistribuidor de energia do planeta, controlando grande parte da variabilidade climática. Previsões de tempo e clima necessitam um amplo conhecimento dos mecanismos que governam a dinâmica oceânica, e como suas variações podem afetar esse sistema. O objetivo desse estudo é descrever as principais influências da salinidade da superfície do mar nos processos oceanográficos e na variabilidade climática, destacando a importância científica dos novos programas espaciais dedicados à coleta sistemática de dados de salinidade da superfície dos oceanos em escala global.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto, SMOS, Aquarius.

## 1. INTRODUÇÃO

Abrangendo mais de 70% da superfície da Terra, o oceano exerce forte influência sobre o clima terrestre (LEVITUS *et al.*, 2010). Em constante movimento, os oceanos são considerados os grandes armazenadores e redistribuidores de energia do planeta. Essa energia é armazenada na forma de calor e transportada das regiões equatoriais em direção aos pólos, através de correntes oceânicas, que liberam o calor lentamente para a atmosfera (SEAGER *et al.*, 2002). Essa interação se dá através do acoplamento oceano-atmosfera, que é complexo e envolve trocas de calor e umidade (PEZZI *et al.*, 2009).

A circulação oceânica, impulsionada pelas diferenças de temperatura e salinidade, é denominada circulação termohalina. RAHMSTORF (2006) descreve a circulação termohalina como parte da circulação oceânica que é dirigida por fluxos de calor e água doce (precipitação e degelo) na superfície do mar e subsequente mistura de calor e sal ao longo da coluna d'água.

Modelos numéricos de previsão de tempo e clima necessitam de um conhecimento detalhado dos mecanismos que governam a dinâmica oceânica, e como suas variações podem afetar esse sistema (LE VINE *et al.*, 2010; LAGERLOEF *et al.*, 2010). Para tal, a coleta de dados *in situ*, embora muito importante, não permite o acompanhamento global da variabilidade oceânica em função da mobilidade e cobertura espacial limitadas, e disponibilidade de meios flutuantes (ROBINSON, 2004). Com o lançamento de satélites dedicados à observação do ambiente terrestre, a oferta de dados com grande cobertura espacial e temporal, como os dados de temperatura da superfície do mar (TSM), velocidade e direção do vento, nível do mar, cor do oceano, dentre outras variáveis vem sendo ampliada (ROBINSON 2004).

No entanto, apesar do grande avanço do sensoriamento remoto voltado para medição de parâmetros oceanográficos, até recentemente não existiam sensores orbitais voltados para coletar medidas de salinidade. FONT *et al.* (2004) descrevem que os modelos de circulação oceânica utilizam dados de TSM e altura do nível do mar a partir de satélites, porém para salinidade são usados médias climatológicas, mesmo essas sendo pouco representativas, uma vez que 30% da superfície do oceano nunca foi amostrada. O objetivo do presente trabalho é caracterizar a importância do conhecimento salinidade da superfície do mar (SSM) e descrever os novos programas espaciais dedicados à estimativa desse parâmetro.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Estimativas de salinidade dos oceanos por satélite: o estado da arte

A SMOS é uma missão da Agência Espacial Européia (ESA) destinada a fornecer mapas globais de umidade do solo e SSM. Lançada em novembro de 2009, transmite dados contínuos que são regularmente recebidos na estação de Villafranca na Espanha. Seu principal sensor é o Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis (MIRAS) que consiste de uma antena com três braços, cada um medindo 4,5 m. Nestes braços estão distribuídos 69 elementos denominados LICEF. Cada elemento recebe a radiação emitida pela Terra na banda L (1400-1427 MHz), essa radiação é então amplificada e armazenada. Resultados preliminares demonstraram que o sensor MIRAS possui calibração precisa, em conformidade com medidas realizadas em

solo. Uma descrição completa dos métodos para a calibração do sensor SMOS pode ser encontrado em CORBELLA *et al.* (2011). Como objetivo secundário o programa SMOS proverá informações sobre regiões de gelo e neve.

O sensor Aquarius também opera na faixa de micro-ondas e é formado pela combinação de um radiômetro passivo com um escaterômetro ativo que operam ambos na banda L. Este instrumento é parte da missão Aquarius/SAC-D, uma parceria entre a agência espacial dos EUA (NASA) e a Agência Espacial Argentina (CONAE), com a participação do Brasil, Canadá, França e Itália. A plataforma orbital é composta de duas partes: a) o sensor Aquarius, desenvolvido pela NASA para medir SSM e (b) outros sete instrumentos de coleta de dados sobre o meio ambiente, como informações sobre precipitação, gelo marinho, velocidade de vento e TSM desenvolvidos pela CONAE que serão utilizados para complementar e calibrar as informações de SSM obtidas pelo sensor Aquarius. A antena do sensor Aquarius é a característica mais proeminente a bordo da plataforma, com um diâmetro de 2,5 m é formada por um refletor parabólico e três *feed horns*. Cada *feed horn* possui um radiômetro, totalizando três radiômetros no instrumento (LE VINE *et al.*, 2010).

Medidas remotas da SSM por sensores orbitais baseiam-se nos valores de emissividade da superfície do mar, que na frequência da banda L, depende basicamente da SSM e da TSM. A emissividade é medida como temperatura de brilho, em Kelvin, pelo radiômetro a bordo do satélite, e posteriormente relacionada à salinidade a partir da constante dielétrica da água do mar (BRASSINGTON; DIVAKARAN, 2009). No caso da superfície do oceano, as medidas de emissividade dependem também da rugosidade da superfície do mar (RSM), e de parâmetros relacionados ao sensor, como ângulo de incidência, frequência e polarização da onda eletromagnética (LE VINE *et al.*, 2010). Para a correção do efeito da RSM o sensor Aquarius possui também um escaterômetro que mede e corrige o efeito causado pelas ondas no oceano.

Os valores de salinidade no oceano aberto variam entre 32 e 37 psu apenas. Para alcançar os objetivos científicos das missões é necessário uma acurácia de aproximadamente 0,2 psu, correspondendo a mudança de 0,1 K na temperatura de brilho (LE VINE *et al.*, 2010). O que é uma medida desafiadora para um instrumento de sensoriamento remoto da Terra. Conforme as medidas se aproximam dos pólos a relação sinal ruído é reduzida devido aos menores valores de TSM, e conseqüentemente menores valores de emissividade. Segundo LAGERLOEF *et al.* (2008) esse erro é em parte compensado pelo aumento do número medidas realizadas em direção ao pólo, uma vez que esse região é mais vezes imageada pelo sensor. BRASSINGTON e DIVAKARAN (2009) estimaram a variância do erro associado às medidas de SSM, encontrando valores de 0,19 psu e 1 psu para um único pixel (70-90 km e 30-50 km) e para uma única observação, para os sensores Aquarius e SMOS respectivamente. Os autores afirmam ainda que a variância do erro de ambas as missões são grandes em relação à variabilidade estimada para a SSM. No entanto, quando utilizamos dados médios superiores a 10 dias e áreas maiores, a resolução torna-se mais precisa. LAGERLOEF *et al.* (2008) reconhecem que as medidas de SSM terão resolução espacial relativamente baixa, porém mais detalhadas que mapas derivados de dados históricos.

### 3. DISCUSSÃO

#### 3.1 A relevância das medidas de salinidade em escala sinótica

A SSM é a variável chave que faltava nos programas de observação da Terra por satélites, o que ajudará os cientistas a entender melhor as conexões entre a circulação oceânica, o ciclo global da água e o clima (LE VINE *et al.*, 2010). Diversos trabalhos (LAGERLOEF *et al.*, 2008; 2010) identificam a salinidade como um importante indicador do ciclo hidrológico, pois essa acompanha as diferenças resultantes de processos de evaporação, precipitação, descarga fluvial e degelo. Determinando importantes conseqüências para a dinâmica oceânica, assim como na capacidade do oceano absorver, transportar e armazenar calor e dióxido de carbono.

O conhecimento da distribuição espacial SSM no oceano global possibilita estimar os índices termohalinos, correntes oceânicas e a compreender melhor os mecanismos que determinam essa circulação (LAGERLOEF *et al.*, 2008). Variações de salinidade do oceano influenciam o ciclo de carbono oceânico, uma vez que esta desempenha um papel fundamental no estabelecimento do equilíbrio químico, que por sua vez regula a absorção e a liberação de CO<sub>2</sub> (ANDERSON *et al.*, 2010). A assimilação de medidas de SSM em modelos globais biogeoquímicos é fundamental para melhorar as estimativas de absorção de CO<sub>2</sub> pelos oceanos.

A salinidade tem também um papel importante na troca de energia entre o oceano e a atmosfera, como por exemplo, em regiões de forte precipitação onde ocorre a formação de uma fina camada de água, com baixa salinidade, e altamente estável (SPRINTALL; TOMZCAK, 1992). O acoplamento oceano-atmosfera nessa camada é alterado, afetando a evolução de oscilações tropicais intrasazonais, monções, e até mesmo fenômenos como El Niño – Oscilação Sul (ENOS). Os fluxos de água entre o oceano e a atmosfera

contabilizam a maior parte do ciclo hidrológico global, sendo 86% da evaporação e 78% da precipitação mundial ocorrendo sobre esse (SCHMITT, 1990).

A maioria dos estudos sobre a variabilidade da salinidade são de caráter regional e/ou por tempo limitado. As missões SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) e Aquarius /SAC-D serão as primeiras a gerar dados globais de SSM. Essas medidas poderão ser usadas, por exemplo, para fechar o balanço hídrico oceânico, como valores de entrada em modelos climáticos acoplados e para acompanhar a formação de massas de água (LAGERLOEF *et al.*, 2008; 2010).

Outra aplicação importante das missões Aquarius/SAC-D e SMOS será avaliar o quão boas são as informações de micro-ondas de baixa frequência para fornecer dados que permitam discriminar icebergs no oceano. Caso a meta seja alcançada, as estimativas de concentração de gelo no verão irão melhorar significativamente, uma vez que os radares utilizados para a observação de gelo operam na faixa de micro-ondas de alta frequência e esses não conseguem distinguir icebergs relativamente pequenos em mar aberto (LAGERLOEF *et al.*, 2008).

#### 4. CONCLUSÕES

A utilização de dados derivados de sensores remotos para estimar a salinidade mostra-se como uma excelente ferramenta, uma vez que dados coletados *in situ* são escassos ou inexistentes. As missões SMOS e Aquarius fornecerão dados de SSM que, quando combinados com dados de outros sensores, como TSM, nível da superfície do mar, cor do oceano, velocidade do vento, precipitação e evaporação, irão fornecer melhorias nos estudos do clima regional e global. O acompanhamento SSM dará a comunidade científica uma percepção mais profunda da circulação oceânica, do balanço hidrológico e das mudanças climáticas, resultando em melhorias no monitoramento e previsão dos fenômenos climáticos. Assim, uma vez que tenhamos dados precisos de salinidade, um novo desafio começa.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, R. F.; ALI, S.; BRADTMILLER, L. I. *et al.*, 2010. Wind-driven upwelling in the southern ocean and the deglacial rise in atmospheric CO<sup>2</sup>. **Science**, v. 323, n. 13, p. 1443 - 1448.
- BRASSINGTON, G. B.; DIVAKARAN, P., 2009. The theoretical impact of remotely sensed sea surface salinity observations in a multi-variate assimilation system. **Ocean Modelling**, v. 27, p. 70–81.
- CORBELLA, I.; TORRES, F.; DUFFO, N. *et al.*, 2011. Miras calibration and performance: results from the SMOS In-Orbit Commissioning Phase. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. (Aceito)
- FONT, J.; LAGERLOEF, G. S. E.; LE VINE, D. M. *et al.*, 2004. The determination of surface salinity with the European SMOS space mission. **IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing**, v.42, p. 2196–2205.
- LAGERLOEF, G.; COLOMB, F. R.; LE VINE, D. M. *et al.*, 2008. The Aquarius/SAC-D mission: Designed to meet the salinity remote-sensing challenge. **Oceanography**, v. 21, n. 1, p. 52 – 81.
- LAGERLOEF, G.; SCHMITT, R.; SCHANZE, J.; KAO, H. Y., 2010. The ocean and the global water cycle. **Oceanography**, v. 23, n. 4, p. 82–93.
- LE VINE, D.M.; KAO, M.; GARVINE, R.; SANDERS, T., 1998. Remote sensing of ocean salinity: Results from the Delaware Coastal Current experiment. **J. Atmos. Oceanic Tech.** v.15, p. 1478-1484.
- LEVITUS, S.; ANTONOV, J.; BOYER, T. P. *et al.*, 2010. Warming of the world ocean. **Science**, v.287, p.2225–2229.
- PEZZI, L. P.; SOUZA, R.; ACEVEDO, O.; WAINER, I.; MATA, M. M.; GARCIA, C. A. E.; CAMARGO, R., 2009. Multi-year measurements of the oceanic and atmospheric boundary layers at the Brazil-Malvinas confluence region. **Journal Geophysical Research**, v114, p.D19103.
- RAHMSTORF, S., 2006. Thermohaline Ocean Circulation. In: **Encyclopedia of Quaternary Sciences**, Elsevier.
- ROBINSON, I. S., 2004. **Measuring the oceans from space: the principles and methods of satellite oceanography**. 1<sup>a</sup> Ed. Chichester, UK: Praxis Publishing, p.669.
- SCHMITT, B. R.W., 1994. The ocean freshwater cycle. In: **JSC Ocean Observing System Development Panel**. College Station, TX: Texas A&M University, 40 p.
- SEAGER, R.; BATTISTI, D. S.; YIN, J.; GORDON, N.; NAIK, N.; CLEMENT, A. C.; CANE, M. A., 2002. Is the Gulf Stream responsible for Europe's mild winters? **Q. J. R. Meteorol. Soc.** v.128, p. 2563– 2586.
- SPRINTALL, J.; TOMZCAK, B. M., 1992. Evidence of the barrier layer in the surface layer of the tropics. **Journal Geophysical Research** v. 97, n. C5, p. 7305–7316.