

# ESTIMATIVA DOS FLUXOS TURBULENTOS VERTICAIS DE CALOR NA SUPERFÍCIE DO OCEANO ATLÂNTICO

*Livia Márcia Mosso Dutra e Jacyra Soares*

Inst. de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, Bra.  
[livia@model.iag.usp.br](mailto:livia@model.iag.usp.br) , [jacyra@usp.br](mailto:jacyra@usp.br)

**RESUMO:** O objetivo principal deste trabalho de pesquisa consiste em realizar a caracterização climatológica dos fluxos turbulentos de calor sensível e latente na interface oceano-atmosfera da região do arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), localizado em mar aberto no oceano Atlântico Tropical. Para isto, utilizaram-se os dados disponíveis na internet, sejam dados medidos in situ, sejam de programas de pesquisa que estimam variáveis utilizando diferentes algoritmos. Este trabalho está vinculado ao projeto FluTuA (Fluxos Turbulentos sobre o Atlântico), que utiliza uma torre micrometeorológica de dez metros de altura instalada no ASPSP, a fim de investigar a interação oceano-atmosfera na região. Os resultados obtidos mostram que a evolução dos fluxos apresenta alta dependência no espaço e no tempo, e observa-se diferenças significativas entre cada fonte de dados. Contudo, a evolução diária mensal dos fluxos turbulentos estimados apresenta a mesma tendência em aumentar e diminuir ao longo do ano, mesmo para diferentes pontos geográficos da região.

## **ABSTRACT: ESTIMATE OF THE HEAT TURBULENT VERTICAL FLUXES AT THE ATLANTIC OCEAN SURFACE**

The main goal of this research work is to perform the climatological characterization of the vertical turbulent fluxes of sensible and latent heat at the air-sea interface of the archipelago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) region, located in open sea in the Tropical Atlantic Ocean. It was used the internet available data, or measured in situ or data of programmes of research that estimated variables using different algorithms. This work is connect to the FluTuA (Fluxos Turbulentos sobre o Atlântico) project, that uses a ten meters micrometeorological tower installed at the ASPSP, to investigate the ocean-atmosphere interaction in the region. The results show that the developments of the fluxes have a strong dependency in space and time, and there is a significant difference between each data source. However, the daily monthly evolution of the estimated turbulent fluxes shows the same tendency to increase and decrease during the year, even to differents geographic points of the region.

**Palavras-Chave:** Fluxo turbulento, calor sensível, calor latente, arquipélago de São Pedro e São Paulo, oceano atlântico tropical.

## **1. INTRODUÇÃO**

Uma dificuldade potencial para a previsão climática no Atlântico tropical é a inicialização de modelos acoplados oceano atmosfera que requer o conhecimento dos fluxos turbulentos na interface. Dessa forma, a obtenção de estimativas dos fluxos de calor sensível, latente e de momento através de observações diretas com a maior precisão possível, é de fundamental importância não só para melhorar a atual rede de observações no Atlântico, mas também para determinar as escalas de variabilidade que são importantes na interação oceano-atmosfera (Wainer *et al.*, 2001).

Apesar da importância, estudos observacionais da camada limite superficial (CLS) realizados em regiões marítimas brasileiras por grupos de pesquisadores brasileiros são praticamente inexistentes (Bacellar *et al.*, 2004). Essa ausência se deve em grande parte às dificuldades técnicas associadas aos métodos de medidas e à falta de pessoal técnico/científico habilitado para realizar essas medidas no Brasil.

Este trabalho de pesquisa se encaixa dentro do projeto FluTuA (Fluxos Turbulentos sobre o Atlântico). O principal objetivo deste projeto é investigar a interação oceano-atmosfera através da determinação observacional de parâmetros meteorológicos e oceanográficos no oceano Atlântico Tropical. Essa investigação será feita utilizando uma torre Micrometeorológica de 10 metros de altura, instrumentada com sensores de resposta rápida e lenta, em uma plataforma fixa no Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), localizado na região de mar aberto do oceano Atlântico Tropical.

O objetivo do trabalho é investigar a metodologia de estimativa dos fluxos verticais turbulentos de calor sensível e latente para a região do ASPSP, utilizando os dados disponíveis na literatura e na internet e

realizando a caracterização climatológica dos fluxos para esta região. Os resultados obtidos serão futuramente comparados aos dos sensores de resposta rápida no âmbito do projeto FluTuA. As seções 2, 3 e 4 deste trabalho apresentam respectivamente a metodologia utilizada, os resultados obtidos e as conclusões.

## 2. METODOLOGIA

No intuito de realizar um levantamento das variáveis meteorológicas médias da região foram utilizados dados disponíveis na internet obtidos por duas bóias oceanográficas do PIRATA (Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic; Servain *et al.*, 1998). O PIRATA é um projeto em atividade desde 1997, realizado no âmbito internacional entre Brasil, França e EUA, que tem como objetivo a aquisição de dados oceanográficos e meteorológicos utilizando uma rede de quinze bóias oceanográficas espalhadas pelo oceano Atlântico tropical. Para este trabalho, foram escolhidas as bóias situadas em (0°N, 23°W) (B23W) e em (0°N, 35°W) (B35W), por serem as mais próximas ao ASPSP, estando a respectivamente 720 e 635 quilômetros aproximados de distância.

Utilizaram-se também dados de reanálise do NCEP (National Centers for Environmental Prediction), para o ponto geográfico mais próximo do arquipélago, a aproximadamente 125 quilômetros de distância em (0°N, 30°W).

A variável oceanográfica (temperatura superfície do mar – TSM) e as três variáveis meteorológicas (temperatura do ar, vento e umidade relativa) necessárias na estimativa dos fluxos turbulentos são disponibilizadas em alta resolução (a cada 10 minutos) no site do PIRATA. Calculou-se a média horária destes valores, para então estimar os fluxos a partir das equações bulk (WGASF), e com todos os anos disponíveis calculou-se a média horária para cada mês. O período disponível das médias diárias dos fluxos para a bóia B23W é de 1999 até 2003, e para a bóia B35W de 1999 a 2002, salvo algumas interrupções devido a falhas técnicas.

As equações tipo bulk são dadas por:

$$H = -\rho_0 c_p C_H u (T_{ar} - TSM) \quad (1)$$

$$LE = -\rho_0 L C_E u (q_{ar} - q_{sat}) \quad (2)$$

onde H e LE são respectivamente os fluxos de calor sensível e latente,  $\rho_0$  é a densidade do ar ( $1,15 \text{ kg m}^{-3}$ ),  $c_p$  é o calor específico do ar a pressão constante ( $1004 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ),  $C_H$  e  $C_E$  são os coeficientes aerodinâmicos de transferências (adotado aqui como 0,001; Smith, 1989), L é o calor latente de vaporização ( $2,5 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ ), u é a velocidade do vento,  $T_{ar}$  representa a temperatura do ar,  $q_{ar}$  e  $q_{sat}$  são respectivamente a umidade específica do ar e a umidade específica de saturação, calculada a partir da TSM (em  $\text{kg kg}^{-1}$ ).

O NCEP disponibiliza um período mais extenso de valores já estimados dos fluxos, de 1948 a 2007, porém em uma resolução de 6 em 6 horas (0h, 6h, 12h e 18h, horário de Greenwich). Com esse período, calculou-se a média destes quatro horários para cada mês do ano.

Os resultados finais de cada bóia PIRATA e do ponto de grade utilizado do NCEP foram interpolados no programa SURFER e plotados em um único gráfico, caracterizando a evolução média horária dos fluxos verticais turbulentos para cada mês do ano (seção 3 deste trabalho).

### 3. RESULTADOS

As médias horárias mensais dos fluxos turbulentos de calor sensível e latente com os dados disponíveis do NCEP seguem respectivamente nas *figuras 1.a e 1.b*. Os horários disponíveis eram às 0h, 6h, 12h e 18h - GMT. Em todo o trabalho, os dados foram plotados na hora local do ASPSP, atrasado em duas horas do horário de Greenwich.

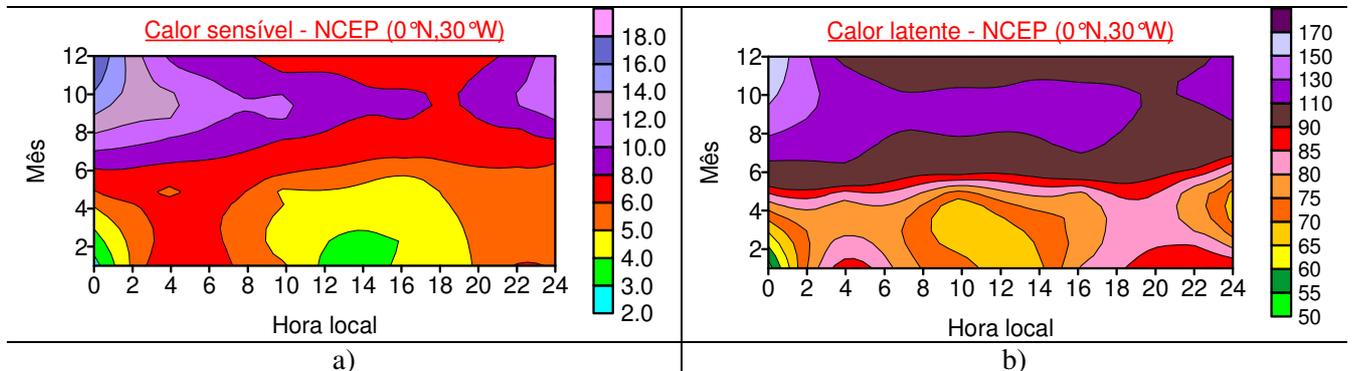


Figura 1: Evolução dos fluxos verticais turbulentos de a) calor sensível ( $W m^{-2}$ ) e b) calor latente ( $W m^{-2}$ ) para o NCEP na localização  $0^{\circ}N$  e  $30^{\circ}W$ .

É importante observar que os gráficos a) e b) da *figura 1* não estão na mesma escala de cores. O fluxo turbulento de calor latente é sempre maior que o calor sensível em regiões oceânicas.

A *figura 2* apresenta a evolução do fluxo de calor sensível estimado com os dados do PIRATA, para as duas bóias escolhidas. Este projeto disponibiliza os dados em alta resolução, e as médias efetuadas foram interpoladas no software Surfer para elaboração da figura.

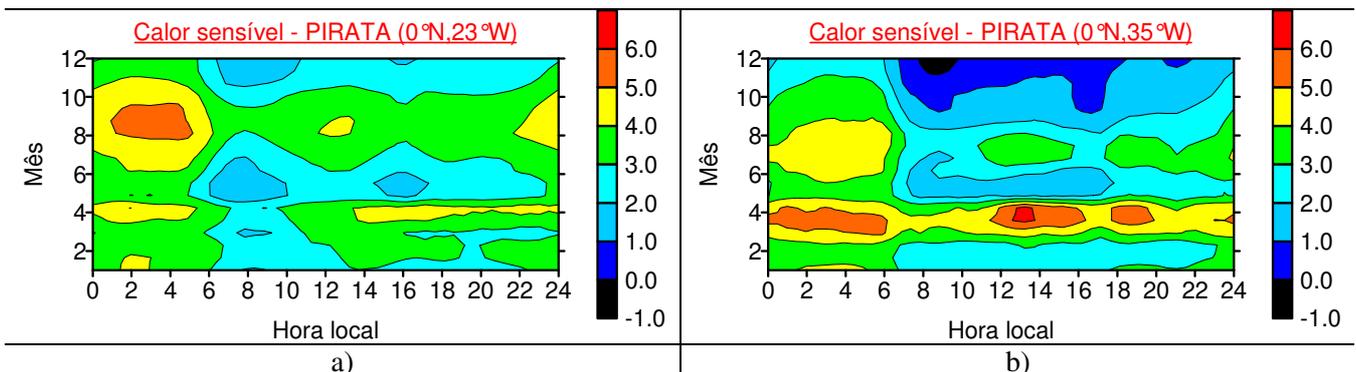


Figura 2: Evolução do fluxo vertical turbulento de calor sensível ( $W m^{-2}$ ) calculado com os dados do PIRATA, para as localizações a)  $0^{\circ}N$  e  $23^{\circ}W$  - B23W e b)  $0^{\circ}N$  e  $35^{\circ}W$  - B35W.

Vale ressaltar que o sentido do fluxo adotado neste trabalho é positivo quando vai da superfície em direção à atmosfera, e negativo quando ocorre o inverso.

Na *figura 3*, o resultado da evolução média horária do fluxo de calor latente, para as bóias PIRATA.

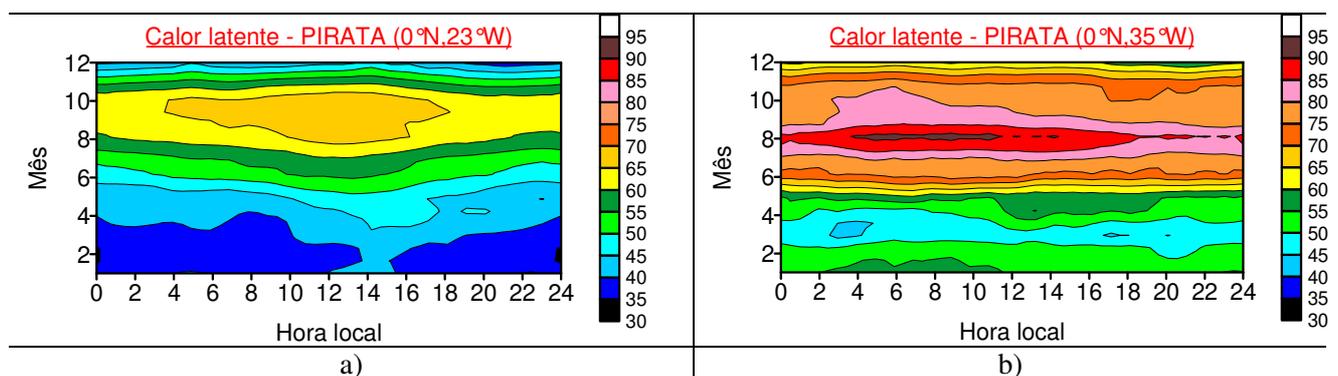


Figura 3: Evolução do fluxo vertical turbulento de calor latente ( $W m^{-2}$ ) calculado com os dados do PIRATA, para as localizações a)  $0^{\circ}N$  e  $23^{\circ}W$  - B23W e b)  $0^{\circ}N$  e  $35^{\circ}W$  - B35W.

## 4. CONCLUSÕES

Comparando o resultado apresentado nas *figuras 1 a 3*, a principal diferença que se destaca é que na *figura 1* os gráficos parecem ter formas mais geométricas e largas em todos os pontos. Isto ocorre pois os dados disponíveis do NCEP eram em baixa resolução, com apenas quatro dados ao dia, o que resulta em interpolações menos precisas e não tão definidas. Como o PIRATA disponibiliza as variáveis coletadas em alta resolução, os resultados obtidos com estes dados são melhores definidos.

Contudo, os resultados obtidos na *figura 1*, tanto para o fluxo de calor sensível quanto para o de calor latente apresentam tendências em aumentar nos últimos meses do ano, e diminuir nos primeiros meses. O mesmo observa-se na *figura 3*, para o fluxo de calor latente estimado com os dados PIRATA; os resultados obtidos pelas duas bóias estão na mesma escala de cores, e apesar de não apresentarem a mesma intensidade (a B35W chega a valores até  $30 \text{ W m}^{-2}$  superiores aos da B23W), os fluxos crescem ao longo do ano, atingindo seu valor médio máximo entre agosto e outubro. Observa-se assim, a forte dependência da evolução média horária dos fluxos no tempo e no espaço.

Na *figura 2*, a evolução média dos fluxos de calor sensível não parece seguir uma tendência linear de crescimento ao longo do ano, embora os valores obtidos por cada bóia não apresentem grande variação entre si. É importante notar que apenas a B35W apresentou valores médios negativos para o fluxo turbulento de calor sensível, indicando que o sentido do fluxo médio de calor sensível era da atmosfera em direção à superfície, em algumas horas do dia nos meses de outubro a dezembro. Fora este curto período, o sentido de direção predominante do fluxo é da superfície em direção à atmosfera, indicando que a temperatura do oceano é mais elevada que a temperatura do ar.

**AGRADECIMENTOS:** As autoras gostariam de agradecer ao CNPq e à FAPESP pelo auxílio e apoio ao projeto FluTuA e à Reitoria da Universidade de São Paulo pela bolsa de iniciação científica fornecida.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACELLAR, S., A. P. OLIVEIRA, J. SOARES, J. SERVAIN, 2004: Preliminary results of the surface radiation balance over the Tropical Atlantic Ocean. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 29/8 a 03/9 em Fortaleza, Ceará. CD.

SERVAIN, J.; BUSALACCHI, A. J.; McPHADEN, M. J.; MOURA, A. D.; REVERDIN, G.; VIANNA, M.; ZEBIAK, S.E., 1998: A Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic (PIRATA). The Bulletin of American Meteorological Society, 79, 2019–2031.

SMITH, S.D., 1989: Water vapor flux at the sea surface. Boundary-Layer Meteor., 47, 277-293.

WAINER, I., A. TASCHETTO, J. SOARES, A. P. OLIVEIRA, B. OTTO-BLIESNER, E. BRADY, 2003: Intercomparison of heat fluxes in the South Atlantic. Part I: The seasonal cycle. Journal of Climate, 16,4, 706-714.

WGASF, 2000: Intercomparison and validation of ocean-atmosphere energy flux fields. Final report of Joint WCRP/SCOR Working Group on Air-Sea fluxes (SCOR working group 110).