

## MEDIDAS DIRETAS E PARAMETRIZAÇÕES *BULK* DOS FLUXOS DE CALOR ENTRE O OCEANO E A ATMOSFERA NO ATLÂNTICO EQUATORIAL

Fernando Rossato<sup>1</sup>; Ronald Buss de Souza<sup>2</sup>

Autor para correspondência: rossato.fernando@hotmail.com

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima 1000, Santa Maria, RS - CEP: 97105-970; <sup>2</sup>Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CRS/INPE), Av. Roraima 1000, Santa Maria, RS - CEP: 97105-970

### RESUMO

Utilizando uma torre micrometeorológica, medidas diretas de fluxos de calor sensível ( $H$ ) e latente ( $L_e$ ) foram feitas a bordo do Navio de Pesquisa Hidroceanográfico Vital de Oliveira, no período entre 14 de novembro e 6 de dezembro de 2017, em sua derrota ao longo do meridiano 38°W durante o cruzeiro XVII do projeto PIRATA Brasil (*Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*). Usando dados meteorológicos e oceanográficos, os fluxos de calor também foram estimados a partir de parametrizações *bulk*. Este estudo descreve pela primeira vez as medidas diretas e as estimativas durante o período desse estudo, assim como as diferenças entre  $H$  e  $L_e$  obtidos através do método Covariância dos Vórtices (CV) e pelas parametrizações *bulk*. As séries de tempo de fluxos de calor via CV e *bulk* apresentaram uma variabilidade bastante semelhante, especialmente para a magnitude de  $L_e$ . O método *bulk* em geral subestimou  $H$  em relação ao método CV. O  $H$  médio foi 12 W/m<sup>2</sup> com o método CV e 5 W/m<sup>2</sup> com o *bulk*, e houve uma dependência das séries com a diferença entre a TSM e a temperatura do ar. Já para  $L_e$ , as magnitudes apresentadas pelos métodos diferiram, com o método *bulk*, na média da série temporal, superestimando substancialmente  $L_e$  em relação à CV (117 W/m<sup>2</sup> para *bulk* e 48 W/m<sup>2</sup> para CV). Para o ambos os fluxos, mas especialmente para  $L_e$ , as maiores diferenças entre os dois métodos ocorreram sob condições de ventos fortes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fluxos de calor entre o oceano e a atmosfera; Oceano Atlântico Equatorial; Projeto PIRATA

## DIRECT MEASUREMENTS AND BULK PARAMETERIZATIONS OF THE OCEAN-ATMOSPHERE HEAT FLUXES IN THE TROPICAL ATLANTIC

### ABSTRACT

Using a micrometeorological tower, direct measurements of sensible ( $H$ ) and latent ( $L_e$ ) heat fluxes were performed onboard the Brazilian Navy Research Ship Vital de Oliveira, during the period between 14 November and 6 December 2017, along her route on the 38 °W meridian during the 17th cruise of the PIRATA Brazil (*Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*) project. Using conventional meteorological and oceanographic data, the heat fluxes were also estimated from *bulk* parameterizations. The present study describes for the first time the direct measurements and the estimates, as well as the differences between  $H$  and  $L_e$  taken from the Eddy Covariance method (EC) and by

the *bulk* parameterizations. Both the EC and *bulk* time series presented a very similar variability, especially for the  $L_e$  magnitude. The *bulk* method, in general, sub estimated  $H$  in respect to the EC method. The mean sensible heat flux was  $12 \text{ W/m}^2$  for the EC method whereas it was  $5 \text{ W/m}^2$  for *bulk*, and there were a dependency of the series with the difference between the sea surface temperature and the air temperature. For  $L_e$ , the magnitudes presented by both methods differed, with the *bulk* method, in the temporal mean of the time series, super estimating substantially  $L_e$  in respect to the EC ( $117 \text{ W/m}^2$  for the *bulk* estimate and  $48 \text{ W/m}^2$  for EC). For both heat fluxes but especially for  $L_e$ , the major differences between the tow methods occurred on strong wind conditions.

**KEY-WORDS:** Ocean-atmosphere heat fluxes; Equatorial Atlantic Ocean; PIRATA Project

## INTRODUÇÃO / INTRODUCTION

Fluxos turbulentos superficiais são os principais caminhos através do qual a atmosfera é acoplada com o oceano. Eles fornecem mecanismos através dos quais *momentum*, energia, umidade e dióxido de carbono são transferidos entre o oceano e a atmosfera. (BOURASSA et al, 2010). Esses processos de interação ocorrem na interface da camada limite atmosférica marinha e camada limite oceânica (ACEVEDO et al., 2010; CAMARGO, et al., 2013; PEZZI et al., 2016).

Visando medir pela primeira vez fluxos turbulentos no Oceano Atlântico Equatorial, foi instalada a bordo de um navio oceanográfico brasileiro uma torre micrometeorológica para a coleta de dados meteorológicos em alta frequência (10 Hz), incluindo obter os fluxos de calor, *momentum* e gás através do método Covariância dos Vórtices (CV). O método CV é frequentemente utilizado para quantificar os fluxos entre uma superfície e a atmosfera, através das medidas de alta frequência de variáveis meteorológicas (STULL, 1988).

O método de parametrização *bulk*, também conhecido como "*bulk formulas*", é o método mais firmemente estabelecido para a determinação de fluxos de energia entre o oceano e a atmosfera, tendo como princípio físico a transferência de energia que ocorre em função do gradiente de propriedades entre dois meios, do vento médio e de coeficientes de transferência.

## OBJETIVOS DO TRABALHO / OBJECTIVES

O objetivo deste trabalho é descrever os fluxos de calor sensível ( $H$ ) e latente ( $L_e$ ) no Oceano Atlântico Tropical e as diferenças nos fluxos de calor sensível e latente obtidos pelas parametrizações *bulk* e pelo método CV com os dados obtidos pelo projeto PIRATA no período entre 14 de novembro e 6 de dezembro de 2017, durante a derrota do (NPqHo) Vital de Oliveira ao longo do meridiano  $38^\circ\text{W}$ .

## MATERIAIS E MÉTODOS / MATERIALS AND METHODS

Os dados usados aqui foram coletados durante o cruzeiro PIRATA XVII a bordo do (NPqHo) Vital de Oliveira. Dados meteorológicos foram coletados através de um analisador de gás e um anemômetro sônico instalados numa torre micrometeorológica instalada na proa do navio durante o cruzeiro. Dados de TSM foram coletados pelo termosalinógrafo do navio. A partir desses dados foram calculados os fluxos turbulentos de calor sensível e latente, através do método CV. Para corrigir os valor do vetor velocidade vertical do vento

devido ao movimento do navio, um acelerômetro foi também instalado na torre micrometeorológica. Nesse trabalho, para remoção de contribuições espúrias causadas pelo movimento do navio durante a coleta de dados em alta frequência, utilizamos a metodologia aplicada por Miller et al., (2008) baseada originalmente em Fujitani (1981).

Os fluxos turbulentos são determinados através da covariância entre as flutuações turbulentas da componente vertical do vento, e a variável em questão (no nosso caso, temperatura virtual medida pelo anemômetro sônico e a razão de mistura do vapor d' água medida pelo analisador de gás). Os fluxos de  $H$  e  $L_e$  são obtidos a partir dos dados observados *in situ* de acordo com a formulação de Aubinet, Vesala e Papale (2012):

$$H = \overline{\rho} C_d \overline{w' T_v'} \quad \text{Eq. (1)}$$

$$L_e = \overline{\rho} L_v \overline{w' r'} \quad \text{Eq. (2)}$$

onde  $C_d$  é a densidade média do ar seco determinada pela diferença entre a densidade do ar úmido ( $\rho$ ) e a densidade de vapor d' água ( $\rho_v$ ) medida pelo analisador de gás,  $C_p$  é o calor específico à pressão constante,  $L_v$  é o calor de vaporização da água e  $w'$ ,  $T_v'$  e  $r'$  são, respectivamente, as flutuações da componente vertical do vento, temperatura virtual e razão de mistura do vapor d' água.

O método *bulk* utilizado aqui foi desenvolvido a partir da parametrização *bulk* descrita por Liu et al. (1979), com base na teoria da similaridade de Monin-Obuklov que considera o fluxo constante na camada superficial. Este método foi utilizado por Fairall et al. (1996), a versão 2.0 do código Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment (COARE), para determinação dos fluxos de calor latente e sensível no Pacífico Equatorial. Para este esquema utilizamos dados de umidade relativa, pressão atmosférica, velocidade do vento, temperatura do ar e TSM.  $H$  e  $L_e$  são estimados por:

$$H = \rho_a C_h (T_a - TSM) S \quad \text{Eq. (3)}$$

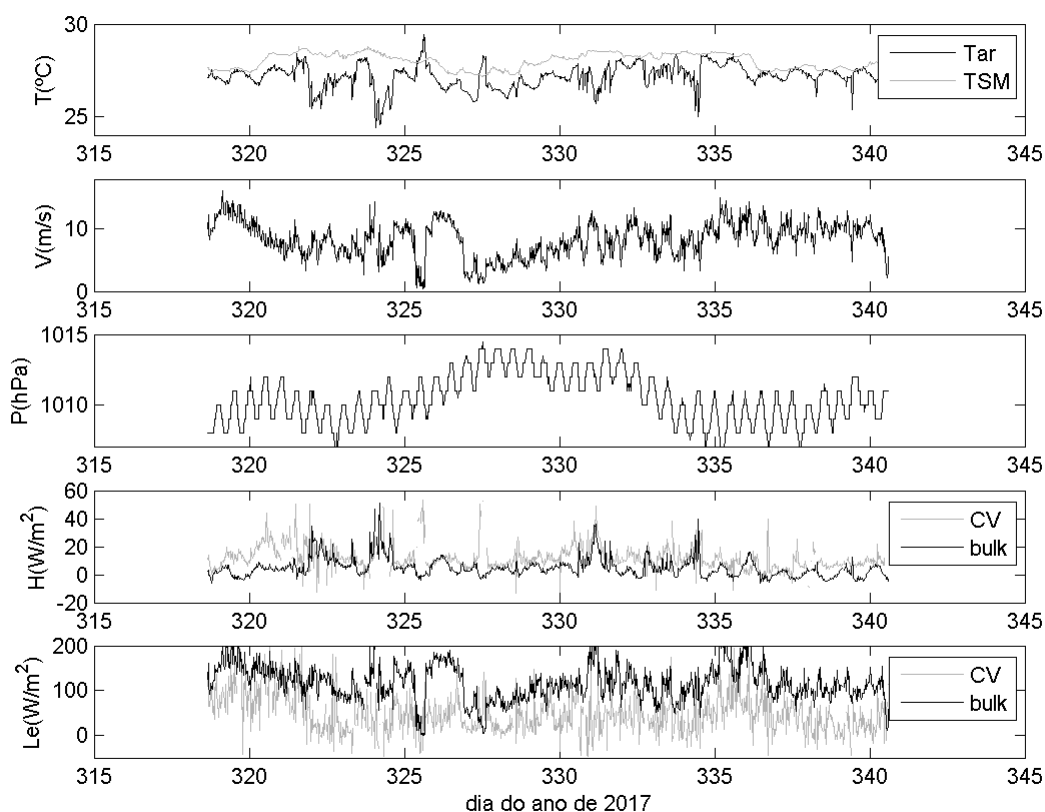
$$L_e = \rho_a C_e (q_s - q) S \quad \text{Eq. (4)}$$

onde  $C_h$  e  $C_e$  são respectivamente, os coeficientes de transferência turbulenta de calor sensível e latente, calculados a partir de parametrizações de Fairall *et al.* (2003). Esses coeficientes dependem do parâmetro de estabilidade e do comprimento de rugosidade da temperatura, umidade e *momentum*.  $C_p$  é o calor específico do ar á pressão constante,  $\theta$  é a temperatura potencial do ar,  $q_s$  é a umidade específica ao nível do mar,  $q$  é a umidade específica no nível de 10 metros,  $TSM$  é a temperatura da superfície do mar (temperatura de balde) e  $S$  é a velocidade média do vento na superfície do mar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO / RESULTS AND DISCUSSION

A Figura 1 mostra as séries de tempo da TSM e da temperatura do ar. Durante o cruzeiro PIRATA XVII, em geral a TSM esteve maior do que a temperatura do ar, favorecendo a turbulência e o fluxo de calor do oceano para a atmosfera. As séries de

magnitude do vento e pressão atmosférica (Figura 1) mostram um regime de intensidade de vento entre 1 e 16 m/s e a pressão entre 1007 e 1014 hPa. Na Figura 1, também é mostrada a variação temporal do fluxo de calor latente e sensível obtido pelos métodos da CV (linha cinza) e *bulk* (linha preta). Observa-se que a variabilidade e magnitude do fluxo de calor sensível são bastante semelhantes entre os dois métodos, com algumas diferenças em alguns picos. Para  $H$ , o fluxo médio foi 12 W/m<sup>2</sup> com o método CV e 5 W/m<sup>2</sup> com o *bulk*. Já em relação à distribuição temporal de  $L_e$ , as magnitudes apresentadas pelos métodos diferem substancialmente. Nesse caso, o método *bulk* superestima o calor latente (117 W/m<sup>2</sup>) em comparação ao método CV (48 W/m<sup>2</sup>).



**Figura 1.** De cima para baixo: séries de tempo da temperatura do ar e TSM, magnitude do vento, pressão atmosférica, fluxo de calor sensível ( $H$ ) e fluxo de calor latente ( $L_e$ ), durante o período de 14/11/2017 a 06/12/2017 (dia do ano 318,5 e 340,6) durante o cruzeiro PIRATA XVII.

## CONCLUSÃO / CONCLUSION

Este trabalho apresenta, pela primeira vez para o Oceano Atlântico Equatorial, medidas diretas de fluxos calor sensível e latente coletadas *in situ* a partir de uma torre micrometeorológica durante um cruzeiro de pesquisa oceanográfica. A comparação entre os métodos CV e *bulk* mostra que a variabilidade do fluxo de calor sensível é bastante semelhante entre os dois métodos, embora na média para o período o método *bulk* formula subestima o calor sensível comparando-se com o método da CV, com uma dependência com a diferença entre a TSM e a temperatura do ar. Já no fluxo de calor latente, as magnitudes apresentadas pelos métodos diferem substancialmente, com o método *bulk*, na média

temporal da série, superestimando o calor latente em mais de 100 % quando comparado ao método da CV. As maiores diferenças entre os dois métodos, principalmente no fluxo de calor latente, ocorre sob regimes de vento intenso.

## **REFERÊNCIAS / REFERENCES**

ACEVEDO, O. C.; PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; ANABOR, V.; DEGRAZIA, G. A. Atmospheric boundary layer adjustment to the synoptic cycle at the Brazil-Malvinas Confluence, South Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**, v. 115, n. D22, p. 1-12, nov 2010.

CAMARGO, R.; TODESCO, E.; PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. Modulation mechanisms of marine atmospheric boundary layer at the Brazil-Malvinas Confluence region. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 12, p. 6266–6280, 2013.

EDSON J. B. et al. On the exchange of momentum over the open ocean, **Journal of Physical Oceanography**, v.

43, p. 1589–1610, 2013.

FAIRALL, C. W.; BRADLEY, E. F.; ROGERS, D. P.; EDSON, J. B.; YOUNG, G. S. Bulk parameterization of air-sea fluxes for Tropical Ocean- Global Atmosphere Coupled-Ocean Atmosphere Response Experiment difference relative analysis. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, p. 3747-3764, 1996.

FAIRALL, C. et al. Bulk parameterization of air-sea fluxes: Updates and verification for thecoare algorithm. **Journal of Climate**, v. 16, n. 4, p. 571–591, 2003.

FUJITANI, T. Direct measurement of turbulent fluxes over the sea during AMTEX. **Papers in Meteorology and Geophysics**, v. 32, p. 119–134, 1981.

LIU, W. T.; KATSAROS, K. B.; BUSINGER, J. A. Bulk parameterization of air-sea exchanges of heat and water vapor including the molecular constraints at the interface. **Journal of Atmospheric sciences**, v. 36, p. 1722–1735, 1979.

MILLER, S. D., HRISTOV, T. S., EDSON, J. B., & FRIEHE, C. A. Platform motion effects on measurements of turbulence and air–sea exchange over the open ocean. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 25, n. 9, p. 1683-1694, 2008.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; FARIAS, P. C.; et al. Air?sea interaction at the Southern Brazilian Continental Shelf: In situ observations. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 121, n. 9, p. 6671-6695, 2016.

STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. p. 2-17.