



# XIX CBMET

CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA

JOÃO PESSOA PB | 07 A 11 DE NOVEMBRO DE 2016  
METEOROLOGIA: TEMPO, ÁGUA E ENERGIA



## FLUXOS VERTICAIS TURBULENTOS DE CALOR SENSÍVEL E MOMENTO ESTIMADOS A PARTIR DE TÉCNICAS ESPECTRAIS NA ESTAÇÃO ANTÁRTICA BRASILEIRA

Jennifer Guerra Sánchez, Jacyra Soares.  
IAG USP

### 1. INTRODUÇÃO

O microclima existente na superfície do planeta é adequado à vida humana devido aos processos de transporte turbulento de calor e vapor de água que ocorrem na camada limite superficial (CLS). Considerando a importância da região Antártica para o sistema climático global ainda são relativamente poucos os trabalhos que estudam estes processos nessa região. O presente trabalho tem como principal objetivo estimar os fluxos verticais turbulentos de calor sensível e momentum, utilizando técnicas espectrais (método indireto), e comparar esses resultados com os fluxos obtidos pelo método da covariância (método direto). Além disso será avaliada a relação entre a energia cinética turbulenta (ECT) e taxa de dissipação molecular da própria ECT. Este estudo utiliza dados de alta frequência obtidos pelo projeto *ETA "Estudo da turbulência na Antártica"* desenvolvido na Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz (EACF) (62°05'S, 58°23'O) em novembro de 2014 (Fig. 1).

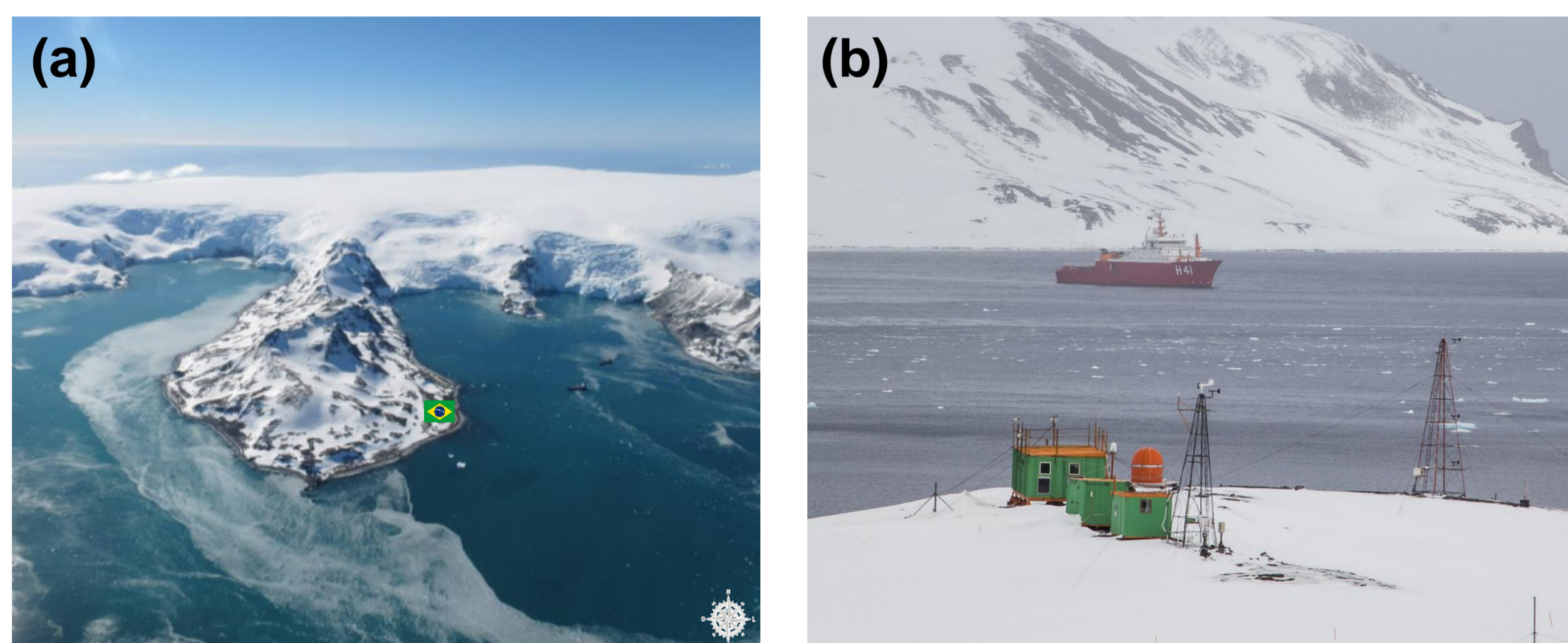


Figura 1. Em (a) Península de Keller na Ilha Rei George. A localização da EACF é indicada pela bandeira de Brasil e em (b) a estação meteorológica da EACF.

### 2. METODOLOGIA

O sistema de alta frequência - anemômetro sônico tridimensional que mede as três componentes da velocidade do vento e temperatura do ar (Fig. 2) - foi instalado em uma torre micrometeorológica a 11.74 metros de altura. Os dados foram processados utilizando o Software EddyPro, o qual garante a qualidade dos dados aplicando uma série de correções (Alves, 2016). Para a obtenção dos fluxos turbulentos pelo método indireto foram calculados os coespectros de momento e calor utilizando intervalos de 30 min dos dados obtidos com frequência de amostragem de 10 Hz. Os coespectros foram ajustados a uma função que permitiu analisar seu comportamento na alta frequência. A partir da integração desta função, em todo o intervalo de frequência, foi possível obter o valor dos fluxos verticais turbulentos de momento e calor sensível para as séries temporais (intervalos de 30 min) aqui estudadas. A validade da teoria do equilíbrio universal de Kolmogorov nos espectros turbulentos das componentes da velocidade do vento, permitiu utilizar a alta frequência dos espectros destas componentes para estimar a taxa de dissipação molecular de energia cinética turbulenta. A ECT associada a cada uma das séries turbulentas foi calculada a partir das variâncias obtidas diretamente das séries temporais. O período estudado compreende os dias entre o 22 (dia do ano 326) e 27 de novembro (331) de 2014, o qual, segundo Alves (2016), esteve a maior parte do tempo, caracterizado por uma atmosfera com estabilidade perto da neutralidade onde o vento predominante foi de leste, com características típicas de oceano.

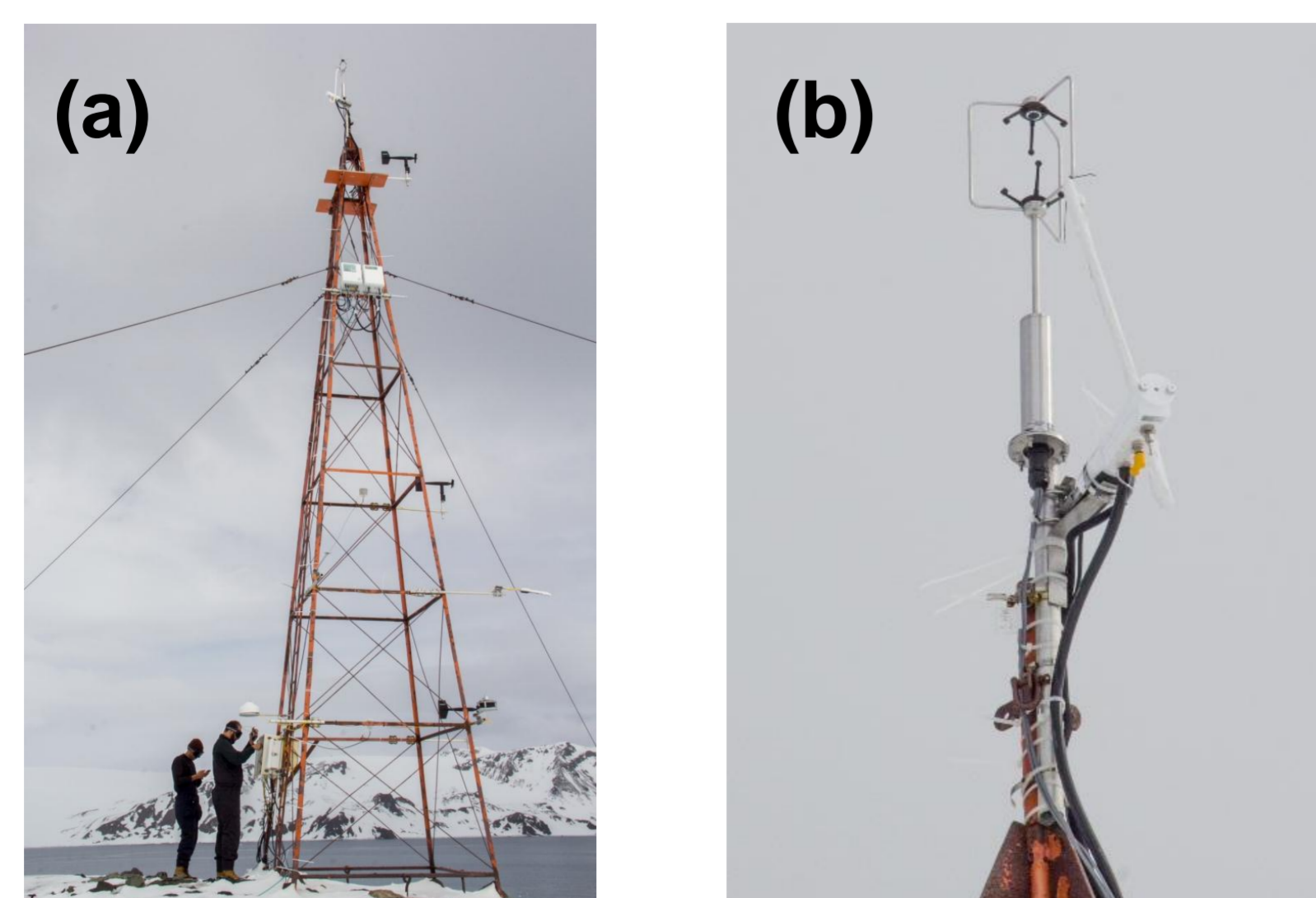


Figura 2: Torre micrometeorológica na EACF (a) instrumentos de alta e baixa frequências e (b) instrumentos de alta frequência instalados no topo da torre.

### 3. RESULTADOS

Os valores obtidos a partir da integração da função densidade coespectral (linha preta contínua da Fig. 3) no domínio de frequência permitiram estimar os fluxos turbulentos de calor sensível ( $\propto \overline{w'\theta'}$ ) e momento ( $\propto \overline{w'u'}$ ).

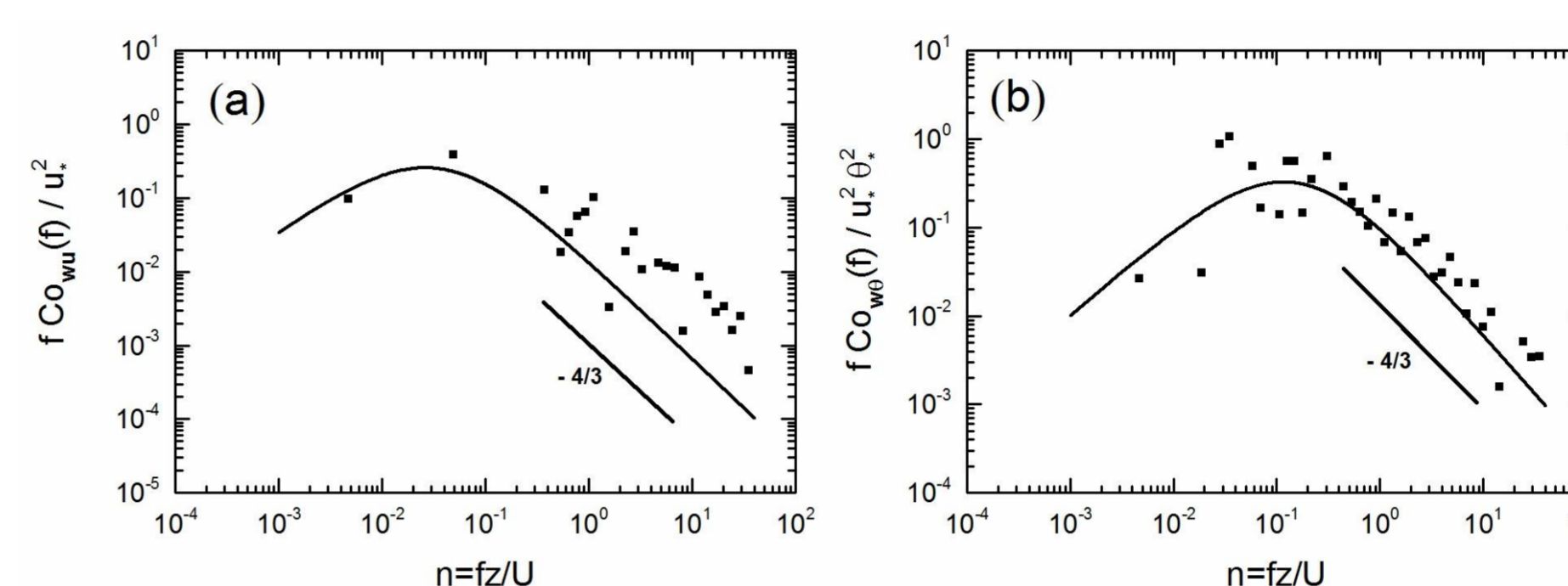


Figura 3. Densidades coespectrais de (a)  $(\overline{w'u'})$  e (b)  $(\overline{w't'})$  normalizadas por  $u_*^2$  e  $u_* \theta_*$ , respectivamente. As curvas contínuas representam o melhor ajuste à densidade coespectral estimada (pontos). A escala aplicada em ambos os eixos é log-log. O gráfico corresponde ao dia 331 do ano as 0100 HL com estabilidade próxima da neutralidade ( $\zeta = 0.02$ ).

Os fluxos estimados pelos métodos direto e indireto são ilustrados na Figura 4.

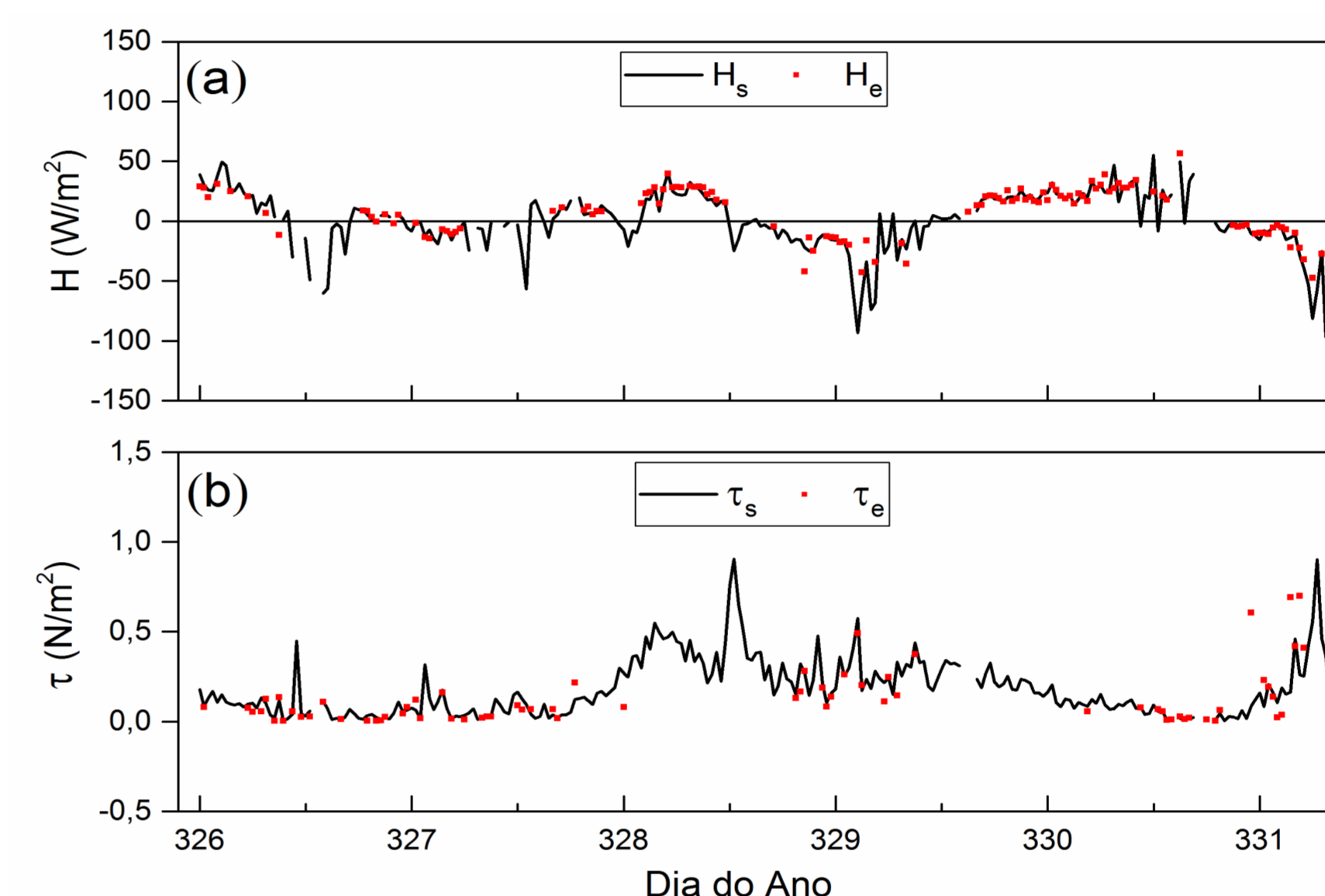


Figura 4. Estimativas dos fluxos verticais turbulentos de (a) calor sensível e (b) momento obtidas a partir da integração dos coespectros (pontos vermelhos). A linha preta contínua indica os fluxos turbulentos obtidos diretamente das séries temporais pelo método da covariância.

A taxa de dissipação molecular de energia cinética turbulenta ( $\epsilon$ ) foi estimada com base nas propriedades dos espectros turbulentos das componentes da velocidade vertical e zonal do vento no subintervalo inercial e é apresentada na Figura 5.

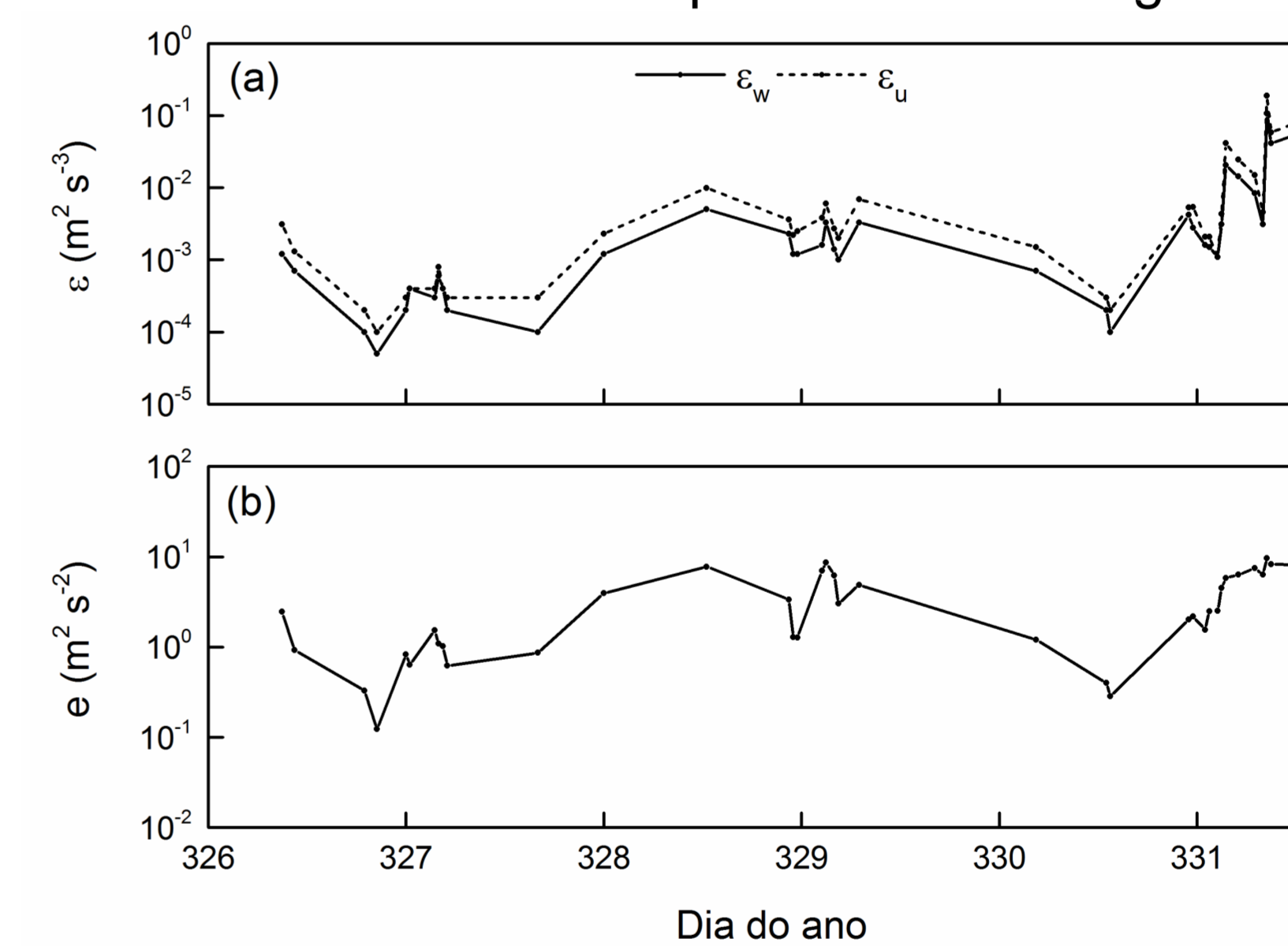


Figura 5. Estimativas (a) das taxas de dissipação molecular de ECT e (b) da ECT. Em (a)  $\epsilon_u$  e  $\epsilon_w$  são as taxas de dissipação calculadas a partir das componentes zonal e vertical do vento, respectivamente.

### 4. CONCLUSÕES

As estimativas das densidades coespectrais de  $(\overline{w'u'})$  e  $(\overline{w't'})$  na região das altas frequências, estão em acordo com o proposto na literatura por Wyngaard e Coté (1972), mostrando, em geral, um rápido decaimento com a potência  $-7/3$  no subintervalo inercial. Os valores dos fluxos verticais de calor sensível e momento obtidos a partir da integração dos coespectros turbulentos (método indireto), estão em concordância com aqueles valores de fluxos obtidos diretamente das séries temporais pelo método da covariância (método direto). Conforme esperado (Louis et al., 1983; Stull, 1988), a taxa de dissipação molecular da ECT está diretamente relacionada com o comportamento da própria ECT no período de estudo. Em geral a ordem de grandeza destes valores oscilou entre  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$   $m^2 s^{-2}$ .

### 5. REFERÊNCIAS

- Alves, M.A.A., 2016: Investigation of the energy balance and momentum flux in the atmospheric surface layer in a non-glaciated coastal area at Ferraz Station, Antarctic region. Dissertação (mestrado) Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 43 pp.
- Louis, J. F., Weill, A., Vidal-Madjar, D., 1983: Dissipation Length in Stable Layers. *Boundary-Layer Meteorology* **25**, 229-243.
- Stull, R. B. 1988: An introduction to boundary layer meteorology, *Kluwer Publications Ltd*, Dordrecht, 667p.
- Wyngaard, J. C. and Coté, O. R.: 1972: Cospectral Similarity in the Atmospheric Surface Layer, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* **98**, 590-603.

### AGRADECIMENTOS

O primeiro autor deseja agradecer a bolsa de estudo do CNPq. O segundo autor agradece o apoio financeiro do CNPq (305357/2012-3, 407137/2013-0). Ambos os autores gostariam de agradecer ao "INCT-APA", CNPq (574018 / 2008-5) e FAPERJ (E-16/170.023/2008).