

4. O ar

4. The air

Jacyra Soares¹, Amauri Pereira de Oliveira¹, Udo Tersiano Skielka¹ e Jacques Servain²

1. Laboratório de Interação ar-mar. Departamento de Ciências Atmosféricas – IAG – USP.
2. Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UMR-182, Paris, France. Atualmente como cientista visitante da *FUNCEME*.

Abstract

The climate on the “Arquipélago de São Pedro e São Paulo” (ASPSP) has influence of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), which is an area of low pressure that forms where the Northeast trade winds meet the Southeast trade winds near the equator. As these winds converge, moist air is forced upward. This causes water vapor to condense as the air cools and rises, resulting in a band of clouds and precipitation around the globe. This band moves seasonally and from February to May it is over the ASPSP. The maximum accumulated precipitation of 370 mm occurs in April. The Southeast trade wind velocity varies between 4 and 7 m s⁻¹ during the whole year and the air temperature amplitude is less than 1°C around 27°C. Almost nothing is known about the smaller scale atmospheric phenomena around the ASPSP region. Sensible, latent and net heat fluxes, near ASPSP, obtained from different climatology show important discrepancies among the fluxes, indicating the need to compare and assess the quality of fluxes derived from various sources, and to evaluate the parameterization used for different authors. Therefore, a scientific project (FluTuA Project) has been developed to measure turbulent fluxes at the ASPSP using a micrometeorological tower. The FluTuA Project is inserted in the Surface Ocean - Lower Atmosphere Study Program (SOLAS).

Key words: FluTuA, air-sea interaction, turbulent fluxes.

Introdução

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) localiza-se em uma região privilegiada para o desenvolvimento de pesquisas meteorológicas: o Oceano Atlântico Equatorial.

Durante todo o ano, a região equatorial do planeta recebe uma grande quantidade de energia na forma de radiação solar. Uma larga fração dessa energia chega diretamente na superfície através dos raios solares e é denominada radiação solar direta. Uma outra parte menor de energia

chega na superfície de maneira indireta e é denominada de radiação solar difusa. A soma da radiação solar direta com a difusa é denominada radiação solar global e o principal efeito causado à superfície é o aquecimento (Figura 1).

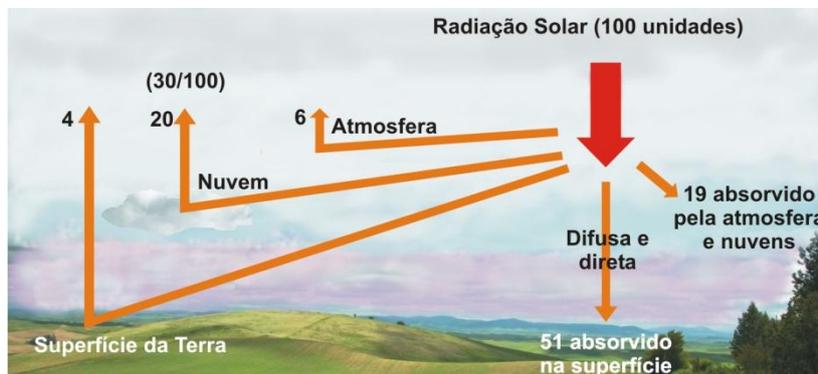


Figura 1: Esquema do balanço global de radiação no sistema Terra-atmosfera.

Figure 1: Diagram of the global balance of radiation in the Earth-atmosphere system.

Na região equatorial a energia recebida na forma de radiação solar é maior do que a perdida na forma de onda longa, gerando assim um saldo positivo de energia na faixa equatorial. Esse excedente é, então, transportado para as regiões de latitudes mais altas, tanto no hemisfério norte quanto no hemisfério sul (Figura 2), onde existe um saldo negativo de energia, tendo em vista que a energia perdida na forma de radiação de onda longa é maior do que a recebida na forma de radiação solar.

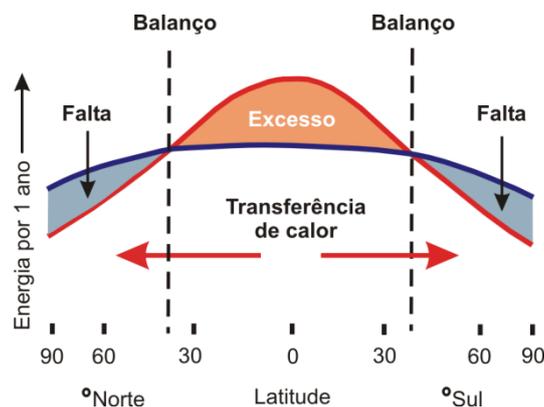


Figura 2: Esquema da distribuição do saldo de energia, por ano, em função da latitude.

Figure 2: Diagram of the energy net distribution, per year, in function of the latitude.

O aquecimento da região equatorial faz com que o ar, nesse local, fique relativamente mais leve do que nas regiões vizinhas de latitudes mais altas, gerando movimento ascendente. Este padrão de movimento induz a formação de uma célula fechada, que se estende até latitudes

subtropicais onde o ar desce. Na região onde o ramo ascendente desta célula está localizado é observada a formação de uma área de baixa pressão para onde o ar, próximo à superfície, se desloca dando origem aos ventos alísios.

Devido à rotação da Terra, os alísios vindos de norte ou de sul, ao soprares em direção ao equador, são sistematicamente defletidos para oeste. Dessa forma, os ventos alísios sopram predominantemente de nordeste (NE) no hemisfério norte e de sudeste (SE) no hemisfério sul (Figura 3).

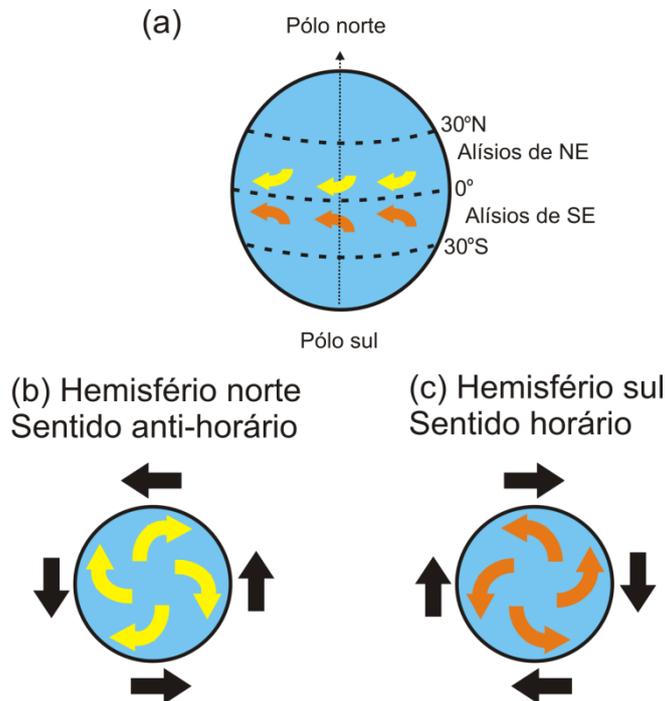


Figura 3: Representação esquemática (a) dos ventos alísios na faixa equatorial da Terra e do sentido de rotação da Terra nos hemisférios (b) norte e (c) sul. As setas internas ao globo terrestre indicam a deflexão sofrida pelos ventos próximos à superfície. As setas externas ao globo indicam o sentido de rotação da Terra vista do respectivo pólo.

Figure 3: Schematic representation (a) of the trade winds in the equatorial region of the Earth and the Earth rotation in the (a) northern and (c) south hemispheres. The arrows on the globe indicate the wind deflection near the surface. The arrows outside the globe indicate the direction of rotation of the Earth seen from the respective pole.

Quando os ventos alísios, de SE e de NE, se encontram perto do equador obrigam o ar quente e úmido a ascender, levando umidade do oceano para os níveis mais altos da atmosfera formando um cinturão de nuvens com intensa precipitação (Figura 4), conhecido como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

A ZCIT apresenta um ciclo de aproximadamente um ano, estando entre 17°S e 8°N nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, e entre 2°N e 27°N nos meses de junho, julho e agosto

(Riehl, 1979). Apesar da importância da ZCIT, ainda hoje não se consegue prognosticar corretamente como os movimentos da ZCIT afetam o clima e os padrões de tempo dessa importante região, dificultando a previsão de tempo e de clima no Brasil e na América do Sul como um todo.

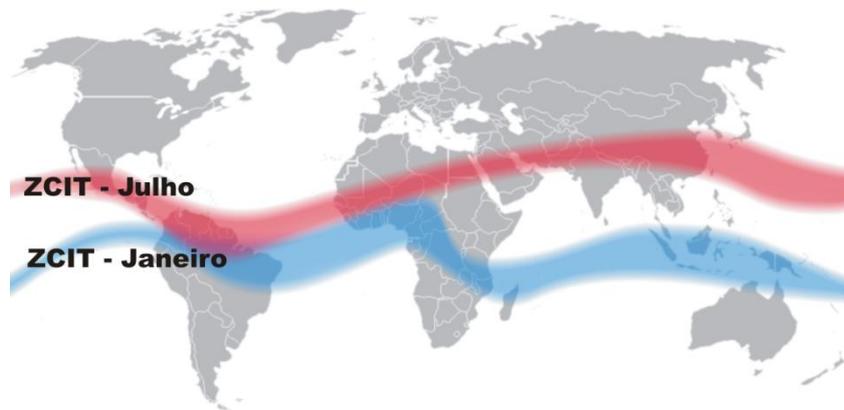


Figura 4: Posição média da zona de convergência intertropical (ZCIT) em julho (vermelho) e janeiro (azul).

Figure 4: Average position of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) in July (red) and January (blue).

Qualitativamente, o deslocamento anômalo da ZCIT para norte (sul) da sua posição climatológica corresponde à estação seca (chuvosa) do Nordeste do Brasil (Wainer and Soares, 1997; Hastenrath and Heller, 1977; Moura and Schukla, 1981; Servain, 1991). Os recursos pelágicos do Golfo da Guiné, por exemplo, também são afetados pelo deslocamento da ZCIT (Binet and Servain, 1993). Da mesma forma, em grande parte, os padrões de tempo e clima na região do ASPSP são determinados pela ZCIT.

Praticamente não existem observações “*in situ*” do tempo e do clima na região do Oceano Atlântico Equatorial devido às dificuldades operacionais de realizar medidas sobre o oceano. Atualmente, medidas sistemáticas de parâmetros meteorológicos são somente obtidas na Ilha Belmonte do ASPSP (<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>) pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e ao longo do equador, no oceano Atlântico, por bóias instrumentadas do Programa PIRATA “*Pilot Research moored Array in the Tropical Atlantic*”. O PIRATA (Servain *et al.*, 1998) é um projeto multinacional, desenvolvido por um grupo de cientistas da França, Brasil e Estados Unidos, que estuda as interações oceano-atmosfera, no Atlântico tropical, relevantes para a variabilidade climática regional em escalas de tempo sazonal, interanual ou mais longas (<http://www.pmel.noaa.gov/pirata/>).

Os dados obtidos pela bóia PIRATA localizada ao longo do equador, em 35°W, serão considerados aqui como representativos das condições meteorológicas da região do ASPSP, isto é, do Oceano Atlântico Equatorial. Na distribuição mensal de precipitação, observada nessa bóia (Figura 5) verifica-se que no primeiro semestre a ZCIT está sobre o ASPSP nos meses de janeiro a maio. O valor máximo de precipitação acumulada mensal de 370 mm, ocorre em abril. No segundo semestre a ZCIT está mais ao norte do ASPSP e observa-se menos precipitação sobre a região.

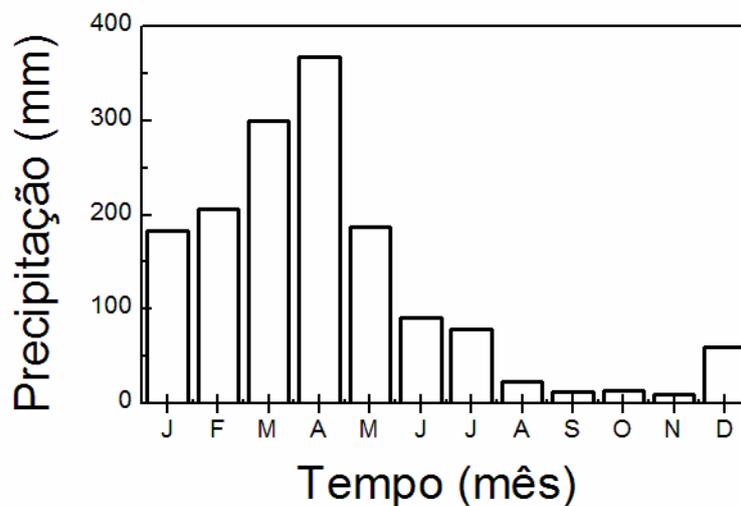


Figura 5: Precipitação observada (mm) em função dos meses do ano. Dados obtidos pela bóia 0°N-35°W do Programa PIRATA.

Figure 5: Observed precipitation (mm) in function of the months of the year. Data obtained by the 0°N-35°W buoy of the PIRATA Program.

Por outro lado, os dados meteorológicos obtidos na Ilha Belmonte do ASPSP são representativos somente do microclima da Ilha, pois refletem o comportamento térmico da superfície rochosa do local onde a Estação está instalada (Figura 6).



Figura 6: Mapa esquemático do ASPSP e localizações da Estação meteorológica automática (INMET) e da Torre micrometeorológica (FluTuA). A flecha vermelha indica a direção preferencial do vento no ASPSP.

Figure 6: Map of the ASPSP and locations of the automatic meteorological station (INMET) and of the micrometeorological tower (FluTuA). The red arrow indicates the preferential direction of the wind on the ASPSP.

O ar sobre a Ilha Belmonte do ASPSP

Os dados obtidos na Ilha Belmonte mostram que a variação diária da temperatura do ar em superfície é, em média, da ordem de $2,5^{\circ}\text{C}$ (Figura 7a). Essa variação - grande para uma região oceânica - ocorre devido ao aquecimento e resfriamento relativamente rápidos da superfície rochosa da Ilha, isto é, devido à presença da Ilha.

A intensidade dos ventos alísios, no local de instalação da Estação, é bastante constante e da ordem de 7 m s^{-1} (Figura 7b). Observa-se que a direção média dos ventos durante todos os horários do dia apresenta sempre uma componente da direção leste, isto é, os ventos estão sempre soprando do quadrante sudeste, definido pelas direções 90° e 180° (Figura 7c).

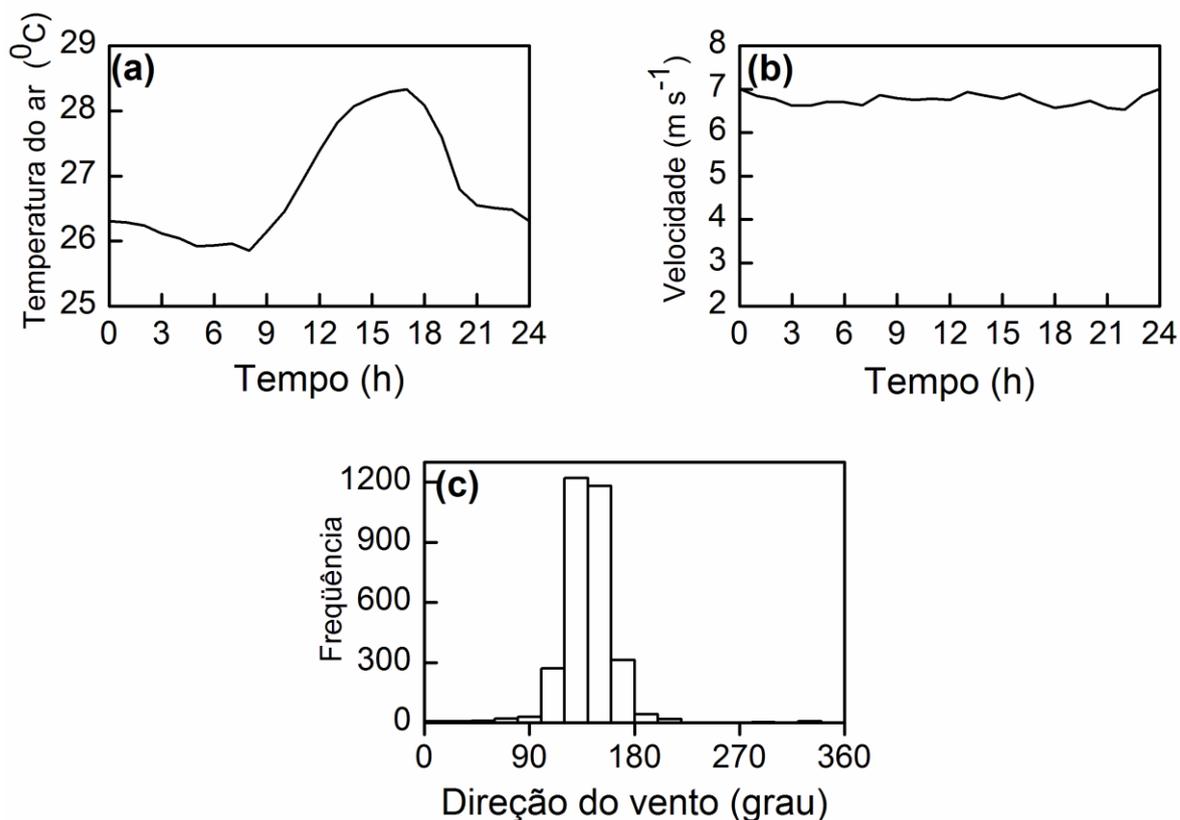


Figura 7: Dados da estação meteorológica automática mantida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no ASPSP e representativos do microclima da Ilha Belmonte. (a) Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) em função da hora do dia, (b) velocidade do vento (m s^{-1}) em função da hora do dia e (c) histograma da direção do vento.

Figure 7: Data from the automatic meteorological station, maintained by the National Institute of Meteorology (INMET) in the Archipelago. The data is representative of the Belmonte island microclimate. (a) Air temperature ($^{\circ}\text{C}$) in function of the hour of the day, (b) wind velocity (m s^{-1}) in function of the hour of the day and (c) histogram of wind direction.

Excluindo-se a influência das rochas que compõe o pequeno agrupamento de ilhas, no meio do oceano Atlântico, que é o ASPSP, a temperatura do ar deve variar bem menos do que a mostrada na Figura 7a, devido a maior capacidade térmica do oceano quando comparada a do material que compõem as superfícies continentais.

O ar na região do ASPSP

Dados obtidos com o auxílio da bóia PIRATA na região do ASPSP confirmam que a temperatura média do ar varia pouco (da ordem de 1°C) durante todo ano, conforme pode ser visto na Figura 8a. A velocidade (Figura 8b) e a direção (Figura 8c) dos ventos também variam pouco no decorrer dos meses.

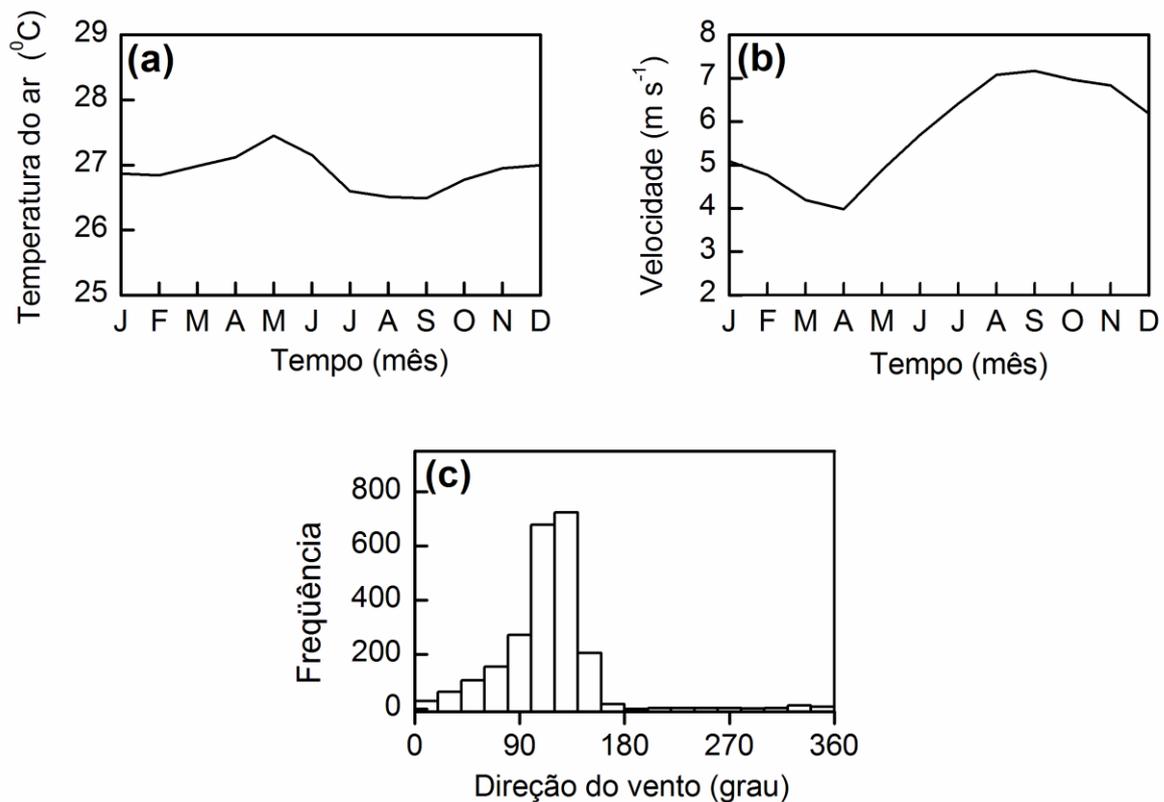


Figura 8: Dados obtidos pela bóia PIRATA localizada em 0°N - 35°W . (a) Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) em função dos meses do ano, (b) velocidade do vento (m s^{-1}) em função dos meses do ano e (c) histograma da direção do vento.

Figure 8: Data obtained from the PIRATA buoy located at 0°N - 35°W . (a) Air temperature ($^{\circ}\text{C}$) in function of the months of the year, (b) wind velocity in function of the months of the year and (c) histogram of wind direction.

Uma questão atual e bastante importante, que tem preocupado os cientistas e a sociedade como um todo, é a mudança climática que o planeta vem sofrendo, quer seja devido à ação humana ou à variabilidade natural do clima. A quantificação dos possíveis efeitos dessas mudanças no clima terrestre tem sido feita através da simulação de diferentes sistemas climáticos utilizando-se modelos matemáticos para reproduzir o comportamento da atmosfera. Um aspecto importante dessas simulações é a transferência de energia, massa e momento entre o oceano e a atmosfera, a qual ocorre através dos fluxos verticais turbulentos de calor, massa e momento (Figura 9). Esses fluxos estabelecem o acoplamento entre o oceano e a atmosfera representando processos chave no sistema climático.

Além de mudanças climáticas, o conhecimento das trocas turbulentas na interface ar-mar é importante para estudos diagnósticos e prognósticos aplicados à previsão de tempo, a dispersão de poluentes, etc. Apesar dos recentes avanços verificados nas técnicas de observação,

estimativas diretas desses fluxos permanecem limitadas no tempo e espaço, impedindo uma descrição climatológica em escala planetária desses fluxos, principalmente sobre os oceanos.

As tentativas, de diferentes grupos de pesquisa, em produzir uma climatologia desses fluxos baseada em modelos numéricos e dados de satélite, mostraram diferenças importantes entre os resultados obtidos (Wainer *et al.*, 2003).

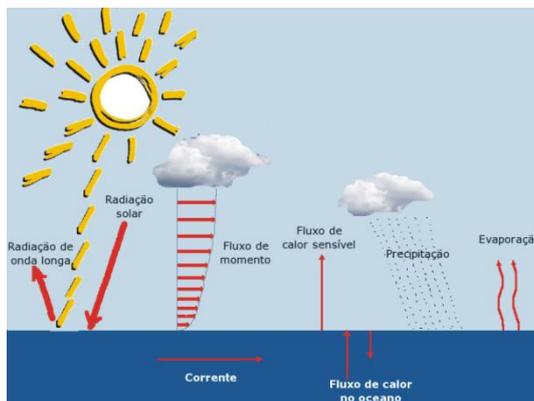


Figura 9: Esquema representativo dos fluxos verticais de energia, massa e quantidade de movimento entre a atmosfera e o mar. Esses fluxos verticais serão amostrados no ASPSP pelo Projeto FluTuA.

Figure 9: Schematic representation of the vertical flux of energy, mass and momentum between the atmosphere and ocean. These vertical fluxes will be sampled in the ASPSP by the FluTuA Project.

A única forma de resolver estas discrepâncias é através de experimentos observacionais, com alta frequência de amostragem, durante um período de tempo longo para captar as variações sazonais dos fluxos verticais turbulentos de momento, calor sensível e calor latente.

Projeto FluTuA (Fluxos Turbulentos sobre o Atlântico)

O projeto FluTuA tem como objetivo principal investigar a interação oceano-atmosfera na região de oceano aberto do Atlântico Equatorial através da observação direta dos fluxos verticais turbulentos. As medidas serão efetuadas utilizando uma torre micrometeorológica instalada na face leste da Ilha Belmonte, bem próximo ao oceano (Figura 6) de forma que o ar amostrado seja proveniente diretamente do oceano, sem ter primeiro passado sobre as rochas da Ilha. Isso garante que os dados obtidos sejam representativos da região do ASPSP no Oceano Atlântico Equatorial.

Como parte do FluTuA, no período de 15 a 24 de Maio de 2002, foram realizadas observações contínuas entre Natal (RN) e o Arquipélago de São Pedro e São Paulo, a bordo do navio Comte Manhães (Bacellar *et al.*, 2004 e 2008).

A partir do segundo semestre de 2008 entrará em operação a torre micrometeorológica do Projeto FluTuA no ASPSP, efetuando medidas de fluxos de calor sensível, latente, momento e de dióxido de carbono de forma contínua e com grande resolução temporal. Estarão sendo observadas também as componentes do balanço de radiação - ondas curtas e ondas longas.

O projeto FluTuA faz parte do programa internacional SOLAS (*Surface Ocean - Lower Atmosphere Study*). Esse Programa é uma iniciativa internacional composto por cientistas de 23 países (<http://www.solas-int.org/aboutsolas/organisationandstructure/solasnetwork/brazil.html>)

Agradecimentos: Os autores agradecem ao CNPq, Fapesp, CAPES e ao *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD) pelo suporte dado ao projeto FluTuA.

Referências bibliográficas

BACELLAR, S. A.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J.; SERVAIN, J. Preliminary results of the surface radiation balance over the Tropical Atlantic Ocean. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Fortaleza, Ceará, 29/8 a 03/9. 2004.

BACELLAR, S. A. **Balanço de radiação na superfície do Oceano Atlântico**. Disponível em <http://www.iag.usp.br/meteo/labmicro/relatorios_pt.htm>. Acesso em: 27 mar. 2008.

BINET, D.; SERVAIN, J. Have the recent hydrological changes in the Northern Gulf of Guinea induced the *Sardinella aurita* outburst? **Oceanologica Acta**, 16, 247-260. 1993.

HASTENRATH S.; HELLER, L. Dynamics of climate hazards in northeast Brazil. **Q.J.R. Meteorol. Soc.**, 103, 77-92. 1977.

MOURA A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **J. Atmos. Sci.**, 38(7), 2653-2675. 1981.

RIEHL, H. **Climate and weather in the tropics**. Academic Press Inc, London, UK, 611 pp. 1979.

SERVAIN, J. Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications. **J. Geophys. Res.**, 96, 15137-15146. 1991.

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

WAINER, I.; SOARES, J. North Northeast Brazil rainfall and its decadal - scale relationship to wind stress and sea surface temperature. **Geophys. Res. Lett.** 24, 277-280. 1997.

WAINER, I.; TASCHETTO, A.; SOARES, J.; OLIVEIRA, A. P.; OTTO-BLIESNER, B.; BRADY, E. Intercomparison of heat fluxes in the South Atlantic. Part 1: The Seasonal Cycle. **Journal of Climate**, 16(4), 706-714. 2003.