

Relatório Final de Pesquisa de Iniciação Científica

**PIBIC/CNPq**

**Período - Agosto de 2006 a Janeiro de 2007**

*Estudo das condições meteorológicas e oceanográficas no  
Arquipélago de São Pedro e São Paulo*

Aluno: Udo Tersiano Skielka

**Orientador: Jacyra Soares**

**Departamento de Ciências Atmosféricas  
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas  
Universidade de São Paulo**

**Março de 2007**

## Resumo

Devido à ausência de dados observacionais é limitado o número de estudos de processos físicos atmosféricos e oceânicos no Atlântico Sul que contribuem para as variações encontradas nos parâmetros de superfície marinha ou para os fluxos entre o oceano e a atmosfera. O presente projeto de pesquisa de Iniciação Científica se encaixa dentro do projeto FluTuA (Fluxos Turbulentos sobre o Atlântico). O FluTuA tem como objetivo primeiro investigar a interação oceano-atmosfera através da determinação observacional direta e contínua dos fluxos verticais turbulentos de calor sensível, calor latente e de momento sobre o oceano Atlântico no Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), localizado na região de mar aberto do oceano Atlântico tropical. Há poucas referências na literatura de observações meteorológicas e oceanográficas efetuadas diretamente no ASPSP. Existem, entretanto, vários resultados de modelos numéricos sobre a região em estudo. O ASPSP localiza-se em mar aberto, sobre a fratura tectônica de São Paulo e é formado por um grupo de pequenas ilhas rochosas, desabitadas e desprovidas de qualquer tipo de vegetação, localizadas a cerca de 1.100 quilômetros do litoral do Estado do Rio Grande do Norte ( $00^{\circ} 56' N$  e  $29^{\circ} 22' W$ ), em uma região privilegiada para o desenvolvimento de pesquisas meteorológicas e oceanográficas. Este trabalho de iniciação científica teve como objetivo fazer uma caracterização climática das variáveis meteorológicas e oceanográficas padrões – direção e velocidade do vento, temperatura do ar, temperatura da superfície do mar, umidade do ar, e precipitação – utilizando dados *in situ* do Projeto PIRATA (Relatório Parcial PIBIC 2005/2006). Posteriormente, foi feito com esses dados um estudo dos fluxos verticais turbulentos na interface ar-mar, calculando-os através do método *bulk*, o qual parametriza os fluxos utilizando as variáveis padrão, e comparando-os com as estimativas de outros projetos científicos (Relatório Final PIBIC 2005/2006). Neste relatório final são mostrados os valores estimados dos coeficientes de troca turbulenta – coeficientes de parametrização utilizados no método *bulk* – para os fluxos estimados pelo NCEP e o OAFlux, com o intuito de, futuramente, após a realização do Projeto FluTuA, comparar objetivamente a qualidade dos fluxos estimados por estes programas.

## 1. Introdução

Entre os oceanos tropicais, o oceano Atlântico se distingue por apresentar um ciclo sazonal pronunciado (Philander, 1979; Merle, 1980). Numerosos estudos (Merle et al., 1979; Servain et al., 1985; Servain and Legler, 1986; Arnault and Cheney, 1994) mencionam a presença de eventos climáticos anormais no Atlântico com duração variável de algumas semanas a vários anos. Eventos de curta duração, em particular no Golfo da Guiné, podem ser explicados pela dinâmica equatorial de origem puramente atlântica, como observado em 1968 (Servain and Legler, 1986; Reverdin and du Penhoat, 1987). Outras anomalias no Atlântico, de duração maior, como em 1984 (Delecluse et al., 1994) podem ser consideradas como uma combinação da dinâmica local e indiretamente da dinâmica equatorial associada ao fenômeno El Niño no oceano Pacífico equatorial. Em termos mais gerais, pode-se caracterizar a variabilidade do Atlântico como uma combinação de efeitos locais e indiretos.

As anomalias no Atlântico de duração de meses a alguns anos estão, em geral, associadas principalmente à combinação de fases do Atlântico Sul ou Norte. Quando o Atlântico Sul e Norte estão fora de fase, tem-se uma situação conhecida como “dipolo”, a qual apresenta uma forte componente decadal. Nesse caso a variabilidade do oceano está associada também à variabilidade da posição da Zona de Convergência Inter-Tropical (ZCIT).

A ZCIT apresenta um ciclo aproximadamente de um ano, estando entre 2°S e 1°N nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, e entre 8°N e 14°N nos meses de junho, julho e agosto (Hastenrath and Lamb, 1997; Hastenrath and Heller, 1997; Citeau et al., 1988; Nobre e Molion, 1998). A figura 1 ilustra a posição média da ZCIT para os meses de julho e janeiro.



**Figura 1.1:** Movimento sazonal da ZCIT.

O deslocamento norte-sul anômalo da ZCIT corresponde a estações secas e chuvosas, respectivamente. Em particular, anos de secas no Nordeste estão associados ao deslocamento anômalo da ZCIT para norte da sua posição climatológica (Wainer and Soares, 1997; Hastenrath and Heller, 1977; Moura and Schukla, 1981; Servain, 1991) que por sua vez podem afetar os recursos pelágicos do Golfo da Guiné (Binet and Servain, 1993) ou ao longo da costa brasileira (Vianna et al., 1996). Dessa forma, o estudo e a eventual previsão de eventos climáticos na região do Atlântico devem constituir uma das prioridades de pesquisa pelo seu impacto sócio-econômico análogo aos eventos associados ao fenômeno El Niño/Oscilação Sul no Oceano Pacífico.

Sabe-se que a temperatura da superfície do mar (TSM) é a variável oceânica que mais afeta a atmosfera e, portanto, qualquer tentativa de previsão da variabilidade do sistema oceano-atmosfera será sempre limitada pela capacidade de entender (e prever) os processos que modificam a TSM. Hoje em dia já existe uma quantidade significativa de modelos acoplados operacionais que prevêem a TSM com moderado sucesso usando uma formulação de fluxos de calor extremamente simplificada (Cane et. al. 1986; Chen et. al, 1995). Melhorar a previsão da TSM e, conseqüentemente, do sistema acoplado oceano-atmosfera, requer um tratamento mais realístico dos fluxos de calor e movimento entre o oceano-atmosfera.

Devido à ausência de dados observacionais é limitado o número de estudos de processos físicos relacionados com a variabilidade da região do Atlântico, em particular, à investigação dos vários processos atmosféricos e oceânicos que contribuem para as variações encontradas nos parâmetros de superfície marinha ou para os fluxos na interface oceano-atmosfera. Além dos estudos diagnósticos e prognósticos de mudança climática, muitos outros estudos requerem o conhecimento dos parâmetros de interação ar-mar de superfície: modelos operacionais de previsão de tempo, estudos sinóticos de meteorologia e oceanografia, estudos na região da plataforma continental, estudos dos ciclos biogênicos, modelos de previsão de onda, engenharia marinha, etc.

O *Projeto FluTuA – Fluxos Turbulentos sobre o Atlântico* (Soares et al., 2000), o qual tem como objetivo o estudo dos processos físicos de interação entre o oceano e a atmosfera tem como principal base de estudo sobre o Oceano Atlântico Tropical o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP).

O ASPSP é constituído de um grupo de pequenas ilhas rochosas, desabitadas, localizadas no hemisfério norte, a cerca de 1100 quilômetros da costa do Rio Grande do Norte (0°56'N 29°22'W), onde são realizadas pesquisas em diversas áreas da ciência.

Apesar do conhecimento de fenômenos meteorológicos atuantes, pouco se sabe sobre as características climatológicas da região equatorial do Oceano Atlântico devido à falta de monitoramento e de dados observacionais, o que limita o desenvolvimento de pesquisas.

## **1.1.Objetivo**

O objetivo geral deste trabalho é fazer uma caracterização oceanográfica e meteorológica e um estudo da interação da atmosfera com o oceano (ar-mar) – fluxos verticais turbulentos de calor sensível, calor latente e momento - da região do ASPSP, cujo conhecimento é pouco, mas de extrema importância, não apenas para o projeto FluTuA, mas também para outros projetos existentes com interesses científicos na região.

Na primeira etapa do trabalho apresentada no Relatório Parcial/CNPQ – fevereiro de 2006 - (RP), os esforços se concentraram na caracterização meteorológica e oceanográfica da região do ASPSP utilizando dados de projetos científicos que medem (Projeto PIRATA) ou estimam (Projeto OAFflux) as variáveis na região próxima ao ASPSP.

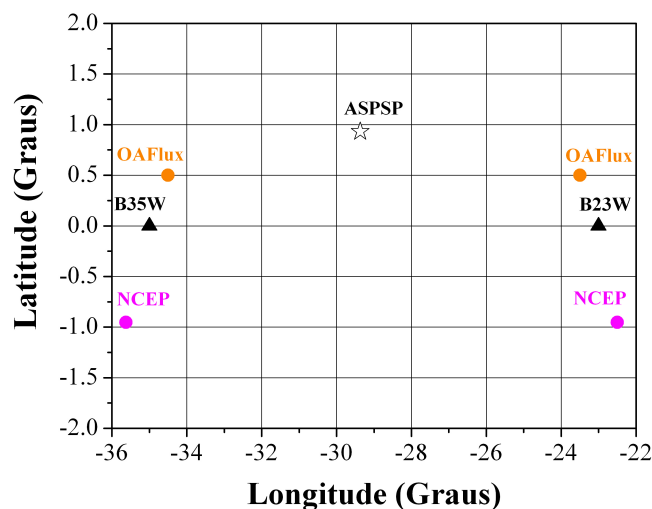
No Relatório Final PIBIC – 2005/2006 (RF) foram calculados os fluxos verticais turbulentos de momento, calor latente e calor sensível utilizando fórmulas *bulk* de parametrização com os dados do Projeto PIRATA. Com os fluxos de calor latente e sensível calculados, foi

possível compará-los com os fluxos estimados pelo Projeto OAFlux, o qual tem como principal objetivo estimar os fluxos em escala global a uma resolução de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ .

Nesta última etapa deste trabalho de iniciação científica, a qual é relatada aqui, são mostrados os resultados das estimativas dos coeficientes de troca turbulenta de modo que os fluxos parametrizados através do método *bulk* ficassem os mais próximos possíveis dos fluxos estimados pelas outras fontes (OAFlux e NCEP). O objetivo dessa estimativa é poder comparar de modo prático, futuramente, quando já estiverem concretizadas as medições do Projeto FluTuA, os fluxos estimados por essas diferentes fontes com os fluxos medidos *in situ*, e assim verificar a acurácia dessas fontes através dos valores desses coeficientes.

## 2. Região de estudo

Neste estudo de investigação da região do ASPSP foram utilizados os dados de duas das quinze bóias oceanográficas do Projeto PIRATA: *Jazz* - situada a  $0^\circ\text{N } 23^\circ\text{W}$  (B23W) - a aproximadamente 720 quilômetros de distância do arquipélago; e *Samba* - situada a  $0^\circ\text{N } 35^\circ\text{W}$  (B35W) - a aproximadamente 635 quilômetros do arquipélago. O motivo da escolha das bóias foi devido à maior proximidade que as duas têm com o arquipélago, sendo que este se encontra, geograficamente, entre as duas bóias, conforme ilustrado na Figura 2.1.



**Figura 2.1:** Localização geográfica dos dados utilizados no estudo: bóia PIRATA em  $0^\circ 35^\circ\text{W}$  (triângulo preto) e bóia PIRATA em  $0^\circ 23^\circ\text{W}$  (triângulo preto); dados do Projeto OAFlux – (círculos laranja) e; dados do NCEP (círculos roxo).

Na primeira parte do trabalho, a qual foi apresentada no RP, em fevereiro, os dados do OAFlux utilizados foram de um único ponto de grade, o mais próximo do ASPSP, já que o objetivo era de fazer um reconhecimento do clima da região. Já para as estimativas dos fluxos turbulentos, mostradas no RF, foram utilizados dados de dois pontos de grade do OAFlux, sendo esses os pontos com maior proximidade das bóias oceanográficas utilizadas, com o intuito de comparar os fluxos estimados com os fluxos calculados com as fórmulas *bulk* de parametrização utilizando os dados das bóias.

Nesta última parte deste trabalho de iniciação científica apresentada neste relatório, foram adicionados às comparações fluxos turbulentos estimados pelo NCEP em dois pontos de grade, sendo estes também de maior proximidade às duas bóias do PIRATA utilizadas. A Tabela 2.2 mostra os pontos de grades utilizados referentes a cada fonte de dados e as proximidades desses pontos com cada bóia. Na Figura 2.1 é possível visualizar geograficamente os pontos de grade e o ASPSP.

PIRATA	OAFflux	NCEP
B35W	0,5°N 34,5°W	0,95°S 35,6°W
B23W	0,5°N 23,5°W	0,95°S 22,5°W
<b>Distância das bóias</b>	70 km	100 km

**Tabela 2.2:** Localização e distância aproximada entre as bóias e cada ponto de grade utilizado referente a cada fonte de dado.

### 3. Dados Utilizados

No intento de fazer uma caracterização climática e um estudo de interação ar-mar da região do ASPSP foi feito um levantamento na *internet* em *web sites* de projetos que dispõem de dados de variáveis meteorológicas e TSM, medidos ou estimados, o mais próximo possível do arquipélago.

A seguir são comentados os projetos dos quais foram utilizados os dados neste trabalho e suas características

#### 3.1. Projeto PIRATA – *Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic*

Projeto em atividade desde 1997, realizado no âmbito internacional entre Brasil, França e EUA, o qual tem como objetivo a aquisição de dados oceanográficos e meteorológicos utilizando uma rede de quinze bóias oceanográficas espalhada pelo oceano Atlântico tropical. Nessas bóias estão instalados diversos instrumentos, a maioria realizando medidas de alta resolução (10 minutos). Os dados estão disponíveis no endereço <http://www.pmel.noaa.gov/PIRATA/>.

#### 3.2. Projeto OAFflux – *Objectively Analyzed Air-Sea Flux*

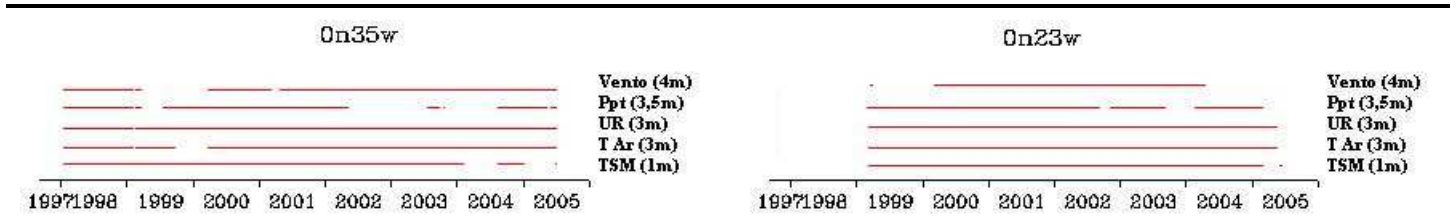
Projeto do *Woods Hole Oceanographic Institute*, tem como principal objetivo estimar, através de métodos numéricos acoplados - utilizando dados de observações em superfície, satélites e gerados por modelos numéricos - os fluxos de troca de energia entre o oceano e a atmosfera (exceto o fluxo de momento) em todo o globo, a cada 0°30' de latitude por 0°30' de longitude. O projeto disponibiliza também estimativas de algumas variáveis meteorológicas como temperatura do ar e TSM, disponibilizando-as em seu *web site* - <http://www.whoi.edu/science/PO/people/lyu/res-flux.html>. Atualmente o projeto apresenta dados diários e mensais no intervalo de 1981 até 2002.

#### 3.3. Dados da reanálise do NCEP

Foram utilizados na comparação dados de fluxo de momento, fluxo de calor sensível e latente. Vale ressaltar que a utilização dos dados do NCEP neste estudo comparativo é de extrema relevância, já que esses dados são intensamente utilizados pela comunidade científica.

### 3.4. Variáveis utilizadas e especificações

São mostradas na Figura 3.1 as variáveis do Projeto PIRATA utilizadas no trabalho e a disposição dos instrumentos instalados nas bóias oceanográficas. No trabalho foram utilizadas médias diárias.



**Figura 3.1:** Série temporal de medidas realizadas nas respectivas bóias oceanográficas do projeto PIRATA utilizadas no trabalho. Essas informações estão disponibilizadas no site do Projeto PIRATA.

Como mostradas na Figura 3.1, as séries de medidas do Projeto PIRATA eventualmente possuem intervalos com falta de dados devido a ocorrências técnicas.

Os dados do projeto OAFflux utilizados foram de 1999 a 2002, utilizando os dados de fluxos turbulentos de calor sensível e calor latente, sem interrupções na série temporal. Do NCEP foram utilizados dados de fluxo de momento, calor sensível e calor latente, de 1999 a 2003, também sem interrupção na série temporal.

### 4. Considerações teóricas

Fórmulas de parametrização são utilizadas na determinação de fluxos turbulentos a partir de variáveis básicas (temperatura ar, TSM, umidade, intensidade do vento) medidas *in situ* ou estimadas por sensoriamento remoto. Essas parametrizações são utilizadas em modelos numéricos na estimativa dos fluxos em grande escala, já que são poucos os locais existentes que medem esses fluxos diretamente sobre o oceano.

A utilização das fórmulas bulk é o método mais comum no meio científico para parametrização de fluxos turbulentos verticais sobre o oceano e tem sido constantemente aprimoradas por pesquisadores. De modo mais simplificado, as fórmulas bulk podem ser representadas pela relação

$$F \propto C_{XZ} u_z (\Delta s_z) \quad (4.1)$$

onde  $F$  é o fluxo,  $u_z$  é velocidade do vento medida a uma altura de referência  $z$  e  $\Delta s_z$  é a diferença do valor da variável básica apropriada ao fluxo (velocidade do vento, temperatura ou umidade) entre a superfície e a altura  $z$ . A maioria dos processos físicos têm sido parametrizados pelos chamados “coeficiente de troca turbulenta”,  $C_{XZ}$ , para cada fluxo ( $C_D$ ,  $C_E$ ,  $C_H$  – coeficiente de arrasto, de transferência de umidade e de calor, respectivamente), os quais variam com a altura  $z$  e a estabilidade atmosférica em relação à superfície (intensidade do vento e rugosidade da superfície), tendo, geralmente, a altura de dez metros e estabilidade neutra como referência ( $C_{X10n}$ ). Dependendo do fluxo a ser calculado e do estado da atmosfera em relação às variáveis influentes,

ou seja, em relação às características da região de estudo, estes coeficientes podem ser considerados constantes (WGASF, 2000).

Alguns experimentos estimaram valores para esses coeficientes para diferentes condições do oceano Pacífico. Na Tabela 4.1 são mostrados alguns dos coeficientes estimados empiricamente.

<b>Autores</b>	<b>Valores dos Coeficientes</b>
Enriquez e Friehe (1997)	$10^3 C_{DN}=0,509+0,65 \bar{u}_z$ $10^3 C_{HN}=10^3 C_{EN}=1,05$
Dupuis et al. (1997)	$10^3 C_{DN}=0,66+117000 \bar{u}_z^{-2}$ para $\bar{u}_z < 5,2 \text{ms}^{-1}$ $10^3 C_{HN}=10^3 C_{EN}=1,2$ para $\bar{u}_z < 5,2 \text{ms}^{-1}$
Garrat (1977)	$10^3 C_{DN}=0,75+0,067 \bar{u}_z$ para $4 < \bar{u}_z < 21 \text{ms}^{-1}$
Smith (1989)	$10^3 C_{HN}=1,0$ para $4 < \bar{u}_z < 14 \text{ms}^{-1}$ $10^3 C_{EN}=1,2 \pm 0,1$ para $4 < \bar{u}_z < 14 \text{ms}^{-1}$
<b>Tabela 4.1:</b> Coeficientes de transferência estimados empiricamente e as condições de intensidade média do vento a altura z e de estabilidade neutra.	

Apesar de existirem poucos locais de medições diretas de fluxos sobre o oceano, esses experimentos são muito importantes e necessários para o desenvolvimento e calibração das equações de parametrização. Os fluxos medidos diretamente são tidos como um limite para a acurácia de estimativas indiretas. Apesar disso, esses estudos diretos, em geral sobre camada limite superficial (CLS), no Atlântico tropical e sul ainda são inexistentes.

#### 4.1. Cálculo de fluxos turbulentos

Os fluxos turbulento de momento ( $\vec{\tau}$ ), calor sensível ( $H$ ) e calor latente ( $LE$ ) são representados pelas Equações (4.2).

$$\begin{aligned}
 |\vec{\tau}| &= \rho \overline{w'u'} = -\rho u_*^2 \\
 H &= \rho c_p \overline{w'T'} = -\rho c_p u_* T_* \\
 LE &= \rho L_e \overline{w'q'} = -\rho L_e u_* q_*
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

Nessas equações,  $w'$ ,  $T'$ ,  $q'$  e  $u'$  representam as flutuações da velocidade vertical, temperatura, umidade e vento, respectivamente, em torno de um valor médio definido experimentalmente de acordo com a região de estudo. Como pode ser observado nas Equações (4.2), a turbulência é calculada através da covariância entre essas flutuações. As constantes  $\rho$  é a densidade do ar ( $1,15 \text{ kg m}^{-3}$ ),  $c_p$  é o calor específico do ar a pressão constante ( $1004 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) e



$L_e$  é o calor latente de vaporização ( $2,5 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ ). As escalas características  $T_*$ ,  $q_*$  e  $u_*$  são baseadas na teoria da similaridade de Monin-Obukhov (TSMO) (Panofsky e Dutton, 1984; Greenaert, 1990).

Na CLS, os fluxos verticais turbulento são aproximadamente constantes, o que permite escrever as Equações (4.2) em termo de escalas características de velocidade, também conhecida como velocidade de fricção, ( $u_*$ ), temperatura ( $T_*$ ) e umidade específica ( $q_*$ ). De acordo com a TSMO (Panofsky e Dutton, 1984; Greenaert, 1990):

$$\begin{aligned} u_* &= \sqrt{C_D} (\bar{u}_z - \bar{u}_0) \\ T_* &= (C_H / \sqrt{C_D}) (\bar{T}_z - \bar{T}_0) \\ q_* &= (C_E / \sqrt{C_D}) (\bar{q}_z - \bar{q}_0) \end{aligned} \quad (4.3)$$

Pela Equação (4.2), a velocidade de fricção também pode ser representada como  $u_* = \sqrt{-\overline{w'u'}}$ .

Embora consideradas de determinação puramente empírica, as fórmulas bulk podem ser derivadas utilizando as equações adimensionais do perfil vertical e a TSMO (Greenaert, 1990). Aqui será mostrada de forma sucinta a determinação das fórmulas bulk através das equações mostradas.

A determinação dos fluxos turbulentos pode ser dada utilizando as relações empíricas:

$$\begin{aligned} \overline{u'w'} &= -C_D (\bar{u}_z - \bar{u}_0) (\bar{u}_z - \bar{u}_0) \\ \overline{T'w'} &= -C_H (\bar{T}_z - \bar{T}_0) (\bar{u}_z - \bar{u}_0) \\ \overline{q'w'} &= -C_E (\bar{q}_z - \bar{q}_0) (\bar{u}_z - \bar{u}_0) \end{aligned} \quad (4.4)$$

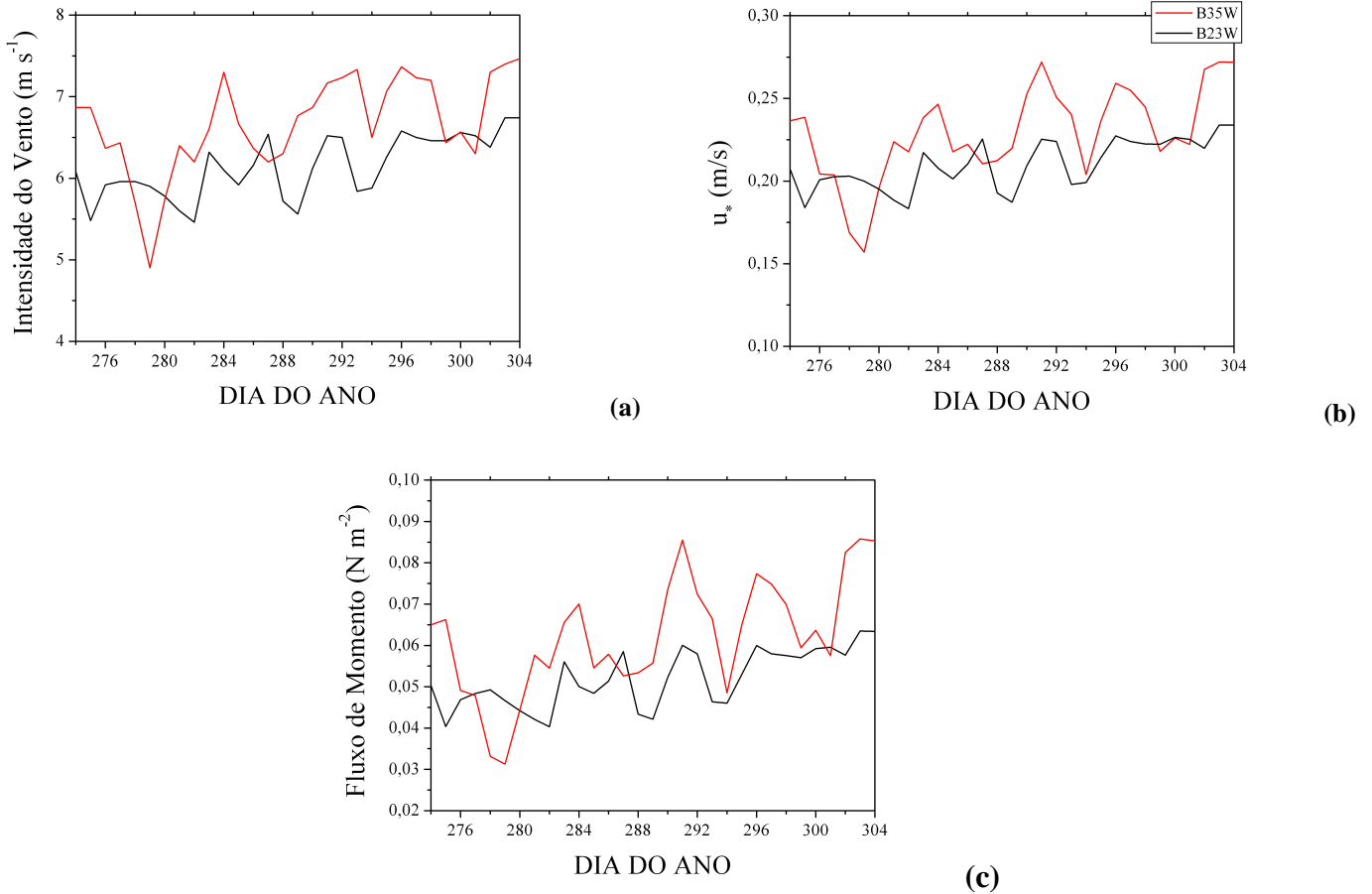
onde os fluxos turbulentos são representados pelas covariâncias. As variáveis  $u_0$ ,  $T_0$  e  $q_0$  correspondem à velocidade do vento, temperatura e umidade, representativas na camada superficial, descritas mais adiante.

Substituindo (4.4) em (4.2), chega-se às fórmulas bulk:

$$\begin{aligned} \overline{\tau} &= \rho_0 C_D (\bar{u}_z - \bar{u}_0)^2 \\ H &= -\rho_0 c_p C_H (\bar{u}_z - \bar{u}_0) (\bar{T}_z - \bar{T}_0) \\ LE &= -\rho_0 L_e C_E (\bar{u}_z - \bar{u}_0) (\bar{q}_z - \bar{q}_0) \end{aligned} \quad (4.5)$$

As quais permitem o cálculo dos fluxos turbulento através das variáveis meteorológicas padrões. Substituindo as Equações (4.3) nas (4.4) é possível representar os fluxos como a Equação (4.2) em função das escalas características.

A Figura 4.1 mostra um exemplo, para o mês de outubro (dia do ano 274 ao 304), do fluxo de momento e a escala característica de velocidade do vento juntamente com a média diária da intensidade do vento entre todos os anos de dados disponíveis das variáveis medidas pelo Projeto PIRATA.



**Figura 4.1:** Intensidade do vento (a) , escala de velocidade (b) e fluxo de momento (c). Médias para as bóias PIRATA B35W (linha vermelha) e B23W (linha preta) para o mês de outubro.

## 4.2. Considerações sobre a camada limite sobre o oceano

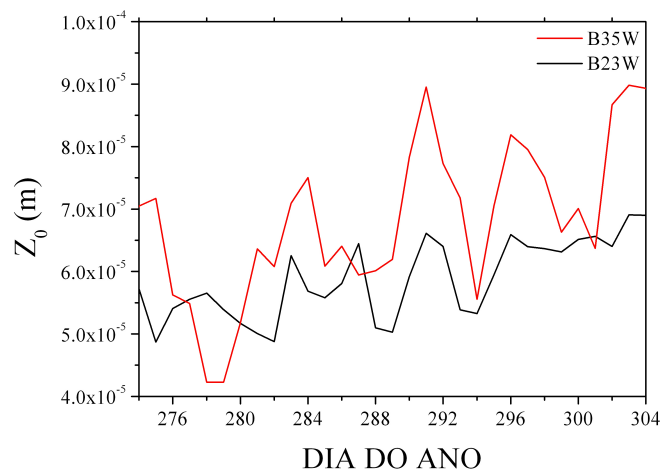
Sobre a superfície oceânica a velocidade média do ar pode ser diferente de zero e corresponde ao valor da velocidade média na altura  $z_0$ , ou seja,  $\bar{u}_0 = \bar{u}(z_0)$ , na qual  $z_0$  é o comprimento de rugosidade da superfície, que pode ser calculado pela relação:

$$z_0 = \alpha_c \frac{u_*}{g} + 0,11 \frac{\nu}{u_*} \quad (4.6)$$

onde  $g$  é a aceleração da gravidade ( $9,8 \text{ m s}^{-2}$ ),  $\nu$  é a viscosidade cinemática do ar ( $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) e  $\alpha_c$  é constante de Charnock, para a qual, o melhor valor sugerido na literatura é 0,011 (Fairall, 1996a). Dentre outras equações existentes para o cálculo de  $z_0$ , a Equação (4.6) é a mais utilizada por ser válida para superfícies lisas - segundo termo do lado direito da equação, definido

empiricamente em diversos experimentos - ou rugosas, definido por Charnock (1955), enquanto outras relações são dadas para superfícies com características aerodinâmicas específicas. Porém é muito difícil saber o valor exato de  $\bar{u}_0$ , o qual é comumente considerado nulo.

Na Figura 4.2 são mostradas médias de  $z_0$  para as bóias B35W e B23W para o mês de outubro (dia do ano de 274 até 304). Os valores são condizentes com os resultados preliminares obtidos na campanha de medições do projeto FluTuA (Soares et al., 2004). Uma tabela do Royal Aeronautical Society (1972) ilustrada no livro de Arya (Introduction to Micrometeorology) mostra valores de  $z_0$  para diversos tipos de superfícies, sendo para a superfície oceânica de, aproximadamente,  $8,0 \times 10^{-4}$  metro para regiões de mar aberto calmo até  $8,0 \times 10^{-3}$  metro para áreas costeiras com vento moderado (Arya, Introduction to micrometeorology).



**Figura 4.2:** Rugosidade da superfície calculados com os dados da B23W (linha preta) e B35W (linha vermelha) para o mês de outubro. Médias dos dias do ano entre os anos de dados disponíveis.

A temperatura do ar e a umidade específica média na superfície correspondem aos valores médios desses parâmetros nas alturas  $z_{0T}$  e  $z_{0q}$ , ou seja,  $\bar{T}_0 = \bar{T}(z_{0T})$  e  $\bar{q}_0 = \bar{q}(z_{0q})$ . Esses parâmetros são equivalentes ao  $z_0$ , para a temperatura e umidade específica média na CLS. Na presença de intensa mistura turbulenta, a temperatura do ar representativa da superfície corresponde ao valor da TSM e a umidade específica representativa da superfície corresponde à umidade específica de saturação na temperatura da superfície.

## 5. Resultados

Os cálculos dos fluxos turbulentos foram feitos utilizando as médias diárias das variáveis do Projeto PIRATA, mostradas na Figura 3.1. Assim, foram calculados os fluxos médios diários de momento, calor sensível e calor latente utilizando as fórmulas bulk (Equações (4.5)). Os cálculos foram realizados utilizando a linguagem de programação Fortran 90.

## 5.1. Cálculos e procedimentos numéricos

Para o cálculo da umidade específica do ar,  $q$ , e umidade específica de saturação à TSM,  $q_s$ , (necessárias para calcular o fluxo de calor latente, Equação 4.2) a partir da umidade relativa, utilizou-se a relação:

$$UR = \frac{q}{q_s} \Rightarrow q = q_s \cdot UR \quad (5.1)$$

onde a umidade específica de saturação é calculada através da pressão de saturação do vapor d'água ( $e_s$ ), da constante dos gases do ar seco e do ar saturado ( $Rd/Rv = 0,622$ ) e da pressão à superfície ( $P = 1010 \text{ hPa}$ ) pela relação

$$q_s = 0,622 \left( \frac{e_s}{P} \right) * 1000 \quad (5.2)$$

para a qual é necessário calcular a pressão de vapor de saturação, que foi calculada utilizando a fórmula de Tetens:

$$e_s = e_0 \exp(T_2(T - T_0)/(T - T_3)) \quad (5.3)$$

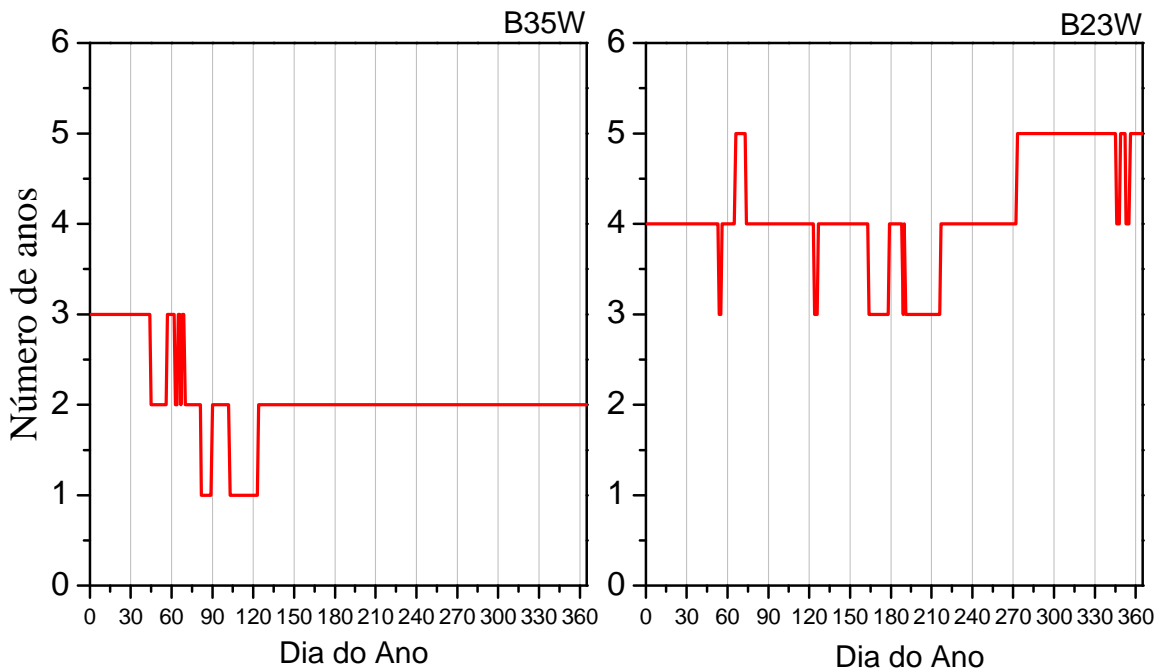
onde  $T$  é a temperatura correspondente à superfície ou à altura de referência  $z$ , dependendo do nível de interesse em que deseja calcular a umidade específica (se for na superfície utiliza-se a TSM),  $T_0$  é a temperatura de congelamento, igual a 273,16 K,  $e_0$  é a pressão de vapor de saturação a 0 °C, igual a 0,611 hPa,  $T_2$  e  $T_3$  são as constantes da fórmula de Tetens, sendo seus valores iguais a 17,67 e 29,66 K, respectivamente.

Os cálculos dos fluxos foram feitos somente para os dias que haviam todas as variáveis necessárias. Por exemplo, para dias que faltassem qualquer uma das quatro variáveis necessárias para o cálculo de qualquer um dos fluxos (intensidade do vento, temperatura do ar, TSM ou umidade), não eram calculados nenhum dos fluxos para esse dia, ou na falta de uma dessas variáveis o ano inteiro, que ocorreu no caso da B35W, para a qual não há dados de TSM para 2003, esse ano era desconsiderado. Assim, para cada bóia há um intervalo de tempo de fluxos calculados. Os intervalos de tempo com os dados de fluxos disponíveis para cada região e fonte são mostrados na Tabela 5.1.

Programas >	PIRATA		OAFlux		NCEP	
<b>Fluxos e Locais</b>	B35W	B23W	0,5N 34,5W	0,5N 23,5W	0,95°S 35,6°W	0,95°S 22,5°W
<b>Momento</b>	Fluxos calculados de 1999 a 2002	Fluxos calculados de 1999 a 2003	Não disponível		Disponíveis de 1999 a 2003	
<b>Calor sensível</b>			Disponíveis de 1999 a 2002			
<b>Calor latente</b>			Disponíveis de 1999 a 2002			

**Tabela 5.1:** Dados de fluxos utilizados no estudo.

Com os dados de fluxos disponíveis foram calculadas médias para cada dia do ano entre os anos de dados disponíveis para cada bóia a fim de estabelecer uma climatologia diária para as duas regiões. Para melhor interpretação dos resultados, são mostradas na Figura 5.1 as amostras dos dados para o cálculo da climatologia diária dos fluxos para cada bóia. Observa-se na Figura 5.1 a baixa amostragem das médias diárias para a B35W.



**Figura 5.1:** número de amostras utilizadas nos cálculos das climatologias diárias dos fluxos com os dados das bóias B35W e B23W.

Foram calculados os erros estatísticos de cada média, descritos pela Equação (5.4), a partir dos desvios padrão, Equação (5.5).

$$Erro = \frac{DP}{\sqrt{n}} \quad (5.4)$$

$$DP = \sqrt{Variância} \quad (5.5)$$

$$Variância = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (5.6)$$

Alguns erros aparecem com valores absurdos (~100%). Nestes casos, trata-se de poucos anos de dados disponíveis para aquele dia, no qual a média pode apresentar um valor “distante” dos dados, aumentando o valor da variância (Equação 5.6) e, conseqüentemente, aumentando o erro. Isso pode ocorrer também em períodos do ano quando a variabilidade das variáveis é maior, sendo

difícil fazer uma caracterização do clima com poucos anos de dados. Para erros iguais a zero, trata-se de dias com apenas um ano de dados disponíveis. Através das Figuras 3.1 e 5.1 é possível verificar os períodos em que houve falta de dados e que provavelmente aumentam as incertezas das médias.

## 5.2. Estimativa dos coeficientes de troca turbulenta

Como mostrado no RF, neste trabalho de iniciação científica foram utilizados inicialmente os coeficientes de troca revisados em trabalhos anteriores e considerados ideais para regiões oceânicas, e que são mais adequados à intensidade média dos ventos na região em estudo, sendo o coeficiente de arrasto determinado por Garrat, 1977, - no qual fez um levantamento de dez anos de experimentos de campos e definiu uma relação linear para o coeficiente de arrasto com o aumento da intensidade do vento - e os coeficientes de calor e umidade determinados por Smith (1988). Os valores destes coeficientes estão ilustrados na Tabela 4.1.

No RF, no qual foram comparados os fluxos turbulentos de calor sensível e latente, estimados pelo método bulk, com os fluxos estimados pelo Projeto OAFlux, foi mostrado que os valores dos fluxos estimados pelo OAFlux são maiores para as regiões das duas bóias, apesar de as variações sazonais das duas fontes terem a mesma fase. Devido a este fato, neste trabalho foram estimados novos valores para os coeficientes de troca com o objetivo de deixar os fluxos calculados próximos, na média, aos fluxos estimados pelas duas fontes, OAFlux e NCEP. Para isso, primeiramente, foi feita uma comparação entre essas duas fontes, a qual mostrou que ambas (OAFlux e NCEP) tem valores muito próximos para ambos os fluxos (lembrando que o OAFlux não estima fluxo de momento), o que era esperado, já que o OAFlux utiliza dados da reanálise do NCEP em suas estimativas. Ao ser observada a série temporal de ambas as fontes para os fluxos de calor sensível e latente, verificou-se que as séries temporais do OAFlux aparentaram ser uma suavização da série de dados do NCEP. Logo, foram determinados um único coeficiente de troca de calor e de vapor, representativo para ambas as fontes de dados (OAFlux e NCEP). Como os fluxos de momento do NCEP ficaram próximos aos valores estimados no trabalho, (Figuras 5.3.a e 5.3.b), não foram estimados novos valores para o coeficiente de arrasto.

Os valores dos coeficientes utilizados no trabalho são mostrados na Tabela 5.2. As comparações entre séries de dados são mostradas nos gráficos na seção 5.3.

Coeficientes		Arrasto ( $\times 10^{-3}$ )	Calor ( $\times 10^{-3}$ )	Vapor ( $\times 10^{-3}$ )
Literatura (antigos)		$0,75+0,067 \bar{u}_z$	1,0	1,2
Estimados (novos)	B35W	Não estimado	1,8	1,6
	B23W	Não estimado	1,6	1,7

**Tabela 5.2:** Coeficientes de troca utilizados nos cálculos dos fluxos turbulentos. “Antigos”, corresponde aos coeficientes de troca já utilizados no RF e “novos” aos coeficientes de troca estimados neste trabalho.

## 5.3 Climatologia dos fluxos e comparações

A seguir é apresentada a climatologia diária de fluxos calculados com os dados das bóias PIRATA comparando-os com os dados estimados do OAFlux e do NCEP. A Tabela 5.3 mostra valores relevantes que auxiliam nas comparações entre as fontes.

Região 00° 35°W	B35W – Antigos			B35W - Novos			OAFflux			NCEP		
	Min	Méd	Max	Min	Méd	Max	Min	Méd	Max	Min	Méd	Max
□ (x10 <sup>-3</sup> N m <sup>-2</sup> )	85 Março 1,6	44,8	247 Set 109,66	-	-	-	-	-	-	117 Abril 8,5	49,7	244 Set 95,7
H (W m <sup>-2</sup> )	348 Dez 0,2	3,5 ±0,1	105 Abril 10,1	348 Dez 0,4	6,4 ±0,2	105 Abril 18,1	353 Dez 2,33	7,5 ±0,1	32 Fev 13,8	349 Dez 1,0	7,1 ±0,1	299 Out 12,2
LE (W m <sup>-2</sup> )	85 Março 24,4	77,5 ±1	237 Agosto 130,6	85 Março 32,6	103 ±1	237 Agosto 174,1	118 Abril 75,4	105,6 ±0,8	240 Agosto 140,7	117 Abril 62,8	115 ±1	244 Set 179,6

**Tabela 5.3.a:** Valores mínimos, médios e máximos dos fluxos turbulentos (valores inferiores de cada quadrante), os dias do ano de suas ocorrências (valores inteiros superiores de cada quadrante) e o mês para cada coeficiente (antigos e novos) e cada fonte de dados (OAFflux e NCEP), na região da B35W.

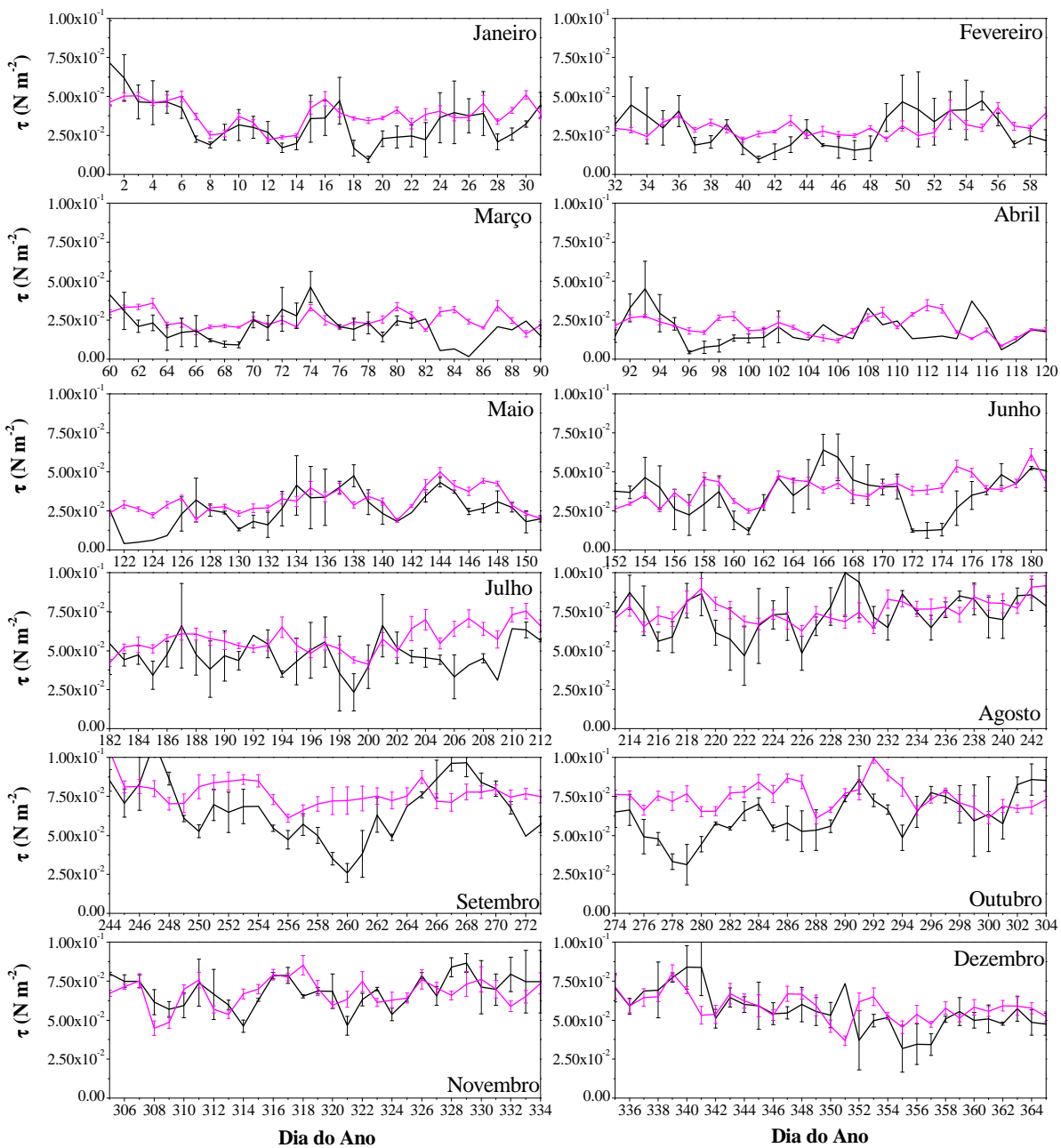
Região 00° 23°W	B23W – Antigos			B23W - Novos			OAFflux			NCEP		
	Min	Méd	Max	Min	Méd	Max	Min	Méd	Max	Min	Méd	Max
□ (x10 <sup>-3</sup> N m <sup>-2</sup> )	85 Março 5,3	36,6 ±0,9	189 Julho 91,1	-	-	-	-	-	-	115 Abril 1,4	29,6 ±0,8	234 Agosto 73,9
H (W m <sup>-2</sup> )	138 Maio -0,1	3,12 ±0,06	103 Abril 10,3	138 Maio -0,1	5,9 ±0,1	103 Abril 16,4	354 Dez 1,5	5,8 ±0,1	104 Abril 14,1	350 Dez -1,0	3,9 ±0,1	111 Abril 12,2
LE (W m <sup>-2</sup> )	67 Março 29,7	59,2 ±0,8	189 Julho 96,47	67 Março 42,1	84 ±1	189 Julho 136,7	365 Dez 59,8	87,1 ±0,6	127 Março 122,8	6 Jan 31,7	77,6 ±0,9	111 Abril 122,7

**Tabela 5.3.b:** Valores mínimos, médios e máximos dos fluxos turbulentos (valores inferiores de cada quadrante), os dias do ano de suas ocorrências (valores inteiros superiores de cada quadrante) e o mês para cada coeficiente (antigos e novos) e cada fonte de dados (OAFflux e NCEP), na região da B23W.

### 5.3.1. Fluxo de momento

Os valores dos fluxos de momento estimados com os dados da B23W e do NCEP são bastante próximos. Analisando os gráficos da Figura 5.3.a, os meses considerados de maior proximidade entre as duas fontes são: março, abril, maio, julho, agosto, e dezembro. Considerando o erro estatístico dos dados, esses meses possuem os mesmos valores de fluxo de momento para a maioria dos dias. Nos outros meses os resultados não são satisfatórios, ou por terem valores diários discrepantes mesmo apresentando série temporal parecida - como é o caso dos meses de janeiro e fevereiro - ou por terem os valores e séries temporal muito diferentes.

### Região da B35W



**Estimado** **HCEP**

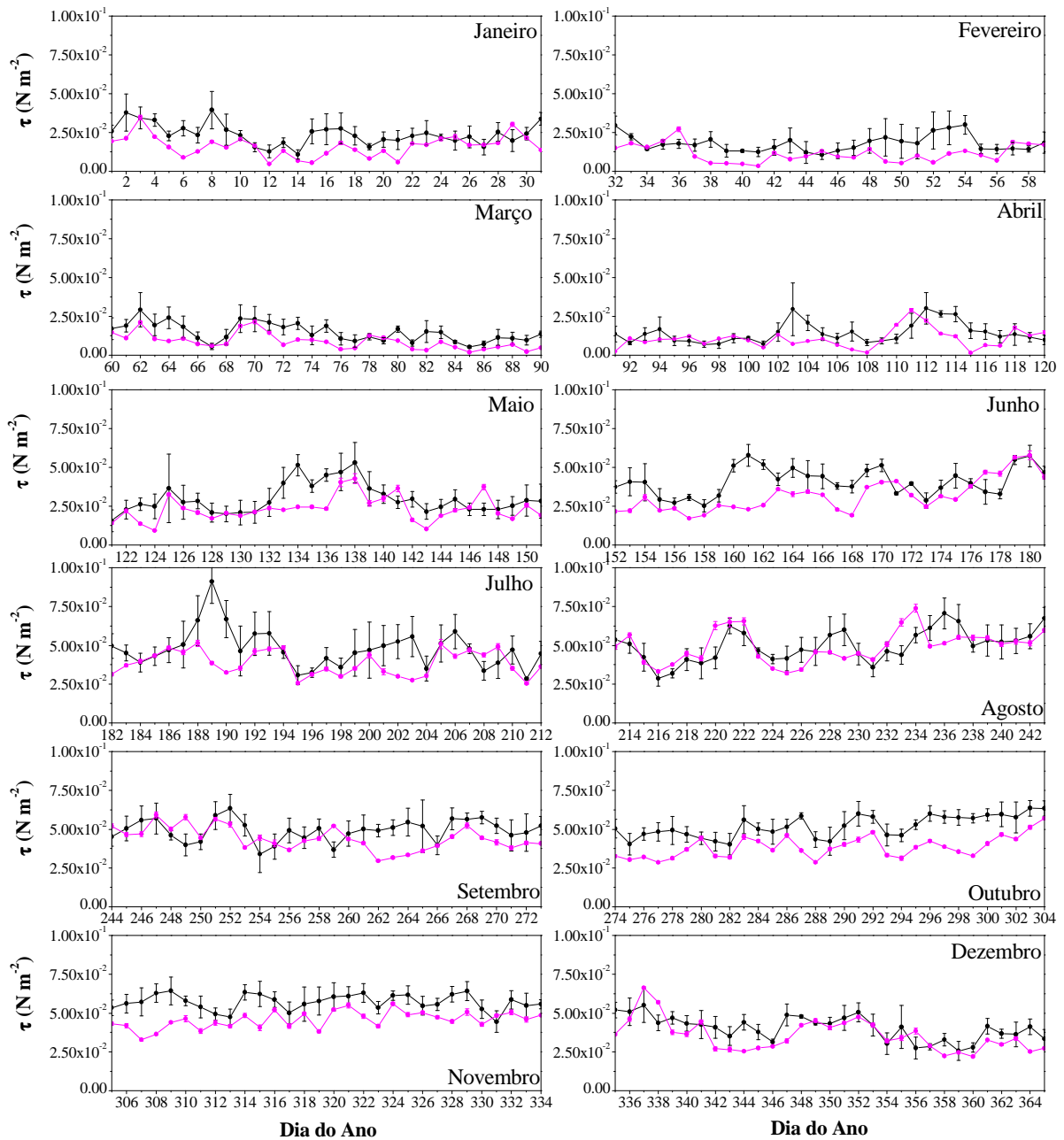
**Figura 5.3.a:** Climatologia diária dos fluxos de momento com os dados do NCEP (linha rosa) e B35W (linha preta), e os erros estatísticos para cada dia do ano.

Analisando o fluxo de momento para a região da B35W na Figura 5.3.b observa-se que, apesar da escassez de amostras para uma caracterização climatológica consistente, a semelhança das médias estimadas com os dados da B35W com a média de cinco anos feita com os dados do



NCEP podem indicar um comportamento padrão em um determinado período do ano para este fluxo nessa região do oceano.

### Região da B23W



**Estimado**    **NCEP**

**Figura 5.3.b** – Climatologia diária dos fluxos de momento com os dados do NCEP (linha rosa) e B23W (linha preta), e os erros estatísticos para cada dia do ano.

Analisando os gráficos da Figura 5.3.b, as duas fontes apresentam valores próximos para a maioria dos meses. Os meses considerados de maior proximidade entre as duas fontes são: janeiro, maio, agosto, novembro e dezembro.

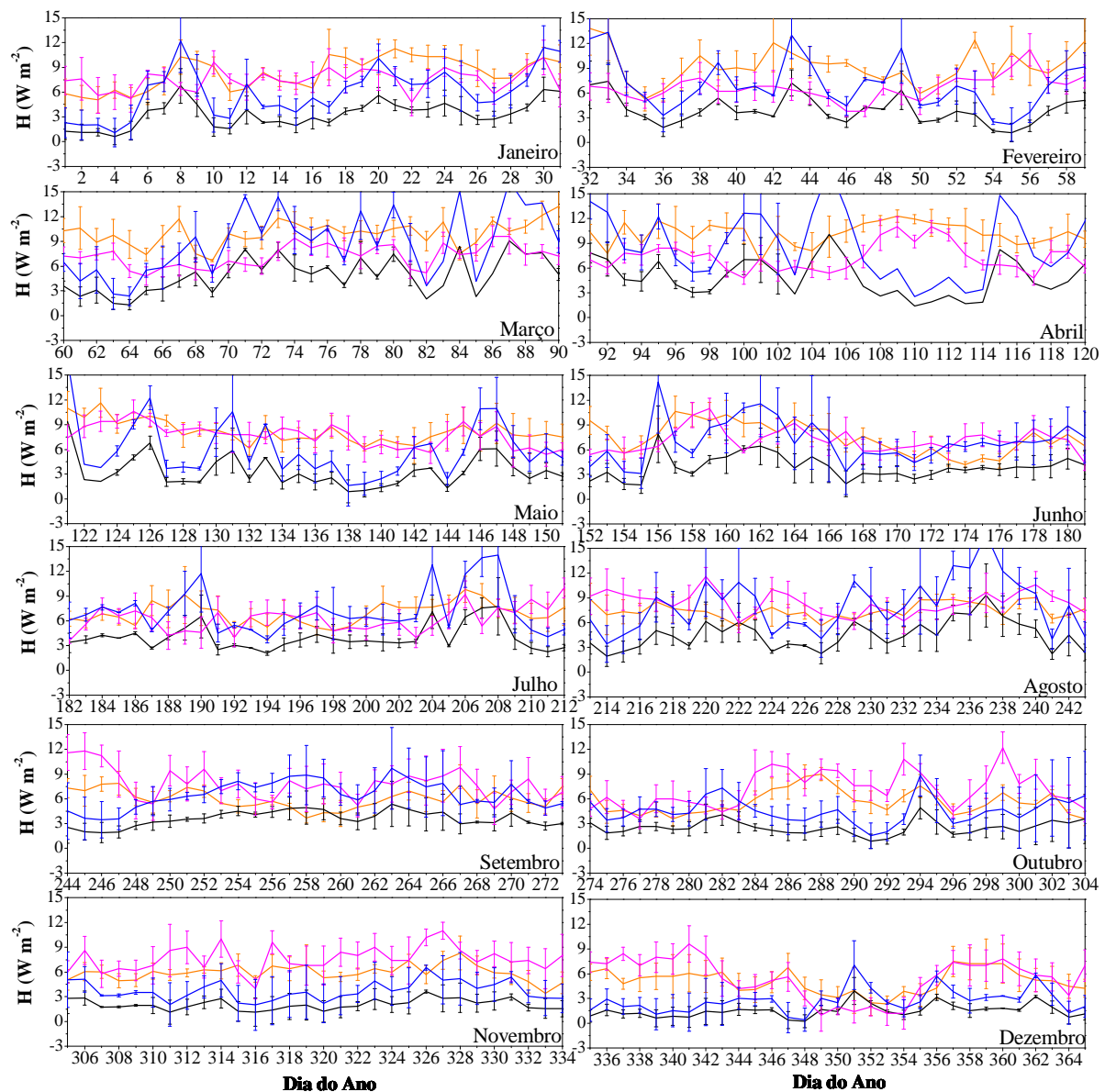
Considerando os resultados do estudo climatológico apresentado no RP, no qual verificou-se pelas médias mensais de intensidade do vento que o mês com o menor valor dessa variável é abril, sendo  $3,7 \pm 0,2 \text{ m s}^{-1}$  na B35W e  $2,9 \pm 0,2 \text{ m s}^{-1}$  na B23W, e os meses de maior intensidade do vento é entre agosto e novembro para ambas as bóias, entre  $7,2 \pm 0,1 \text{ m s}^{-1}$  na B35W e  $6,4 \pm 0,1 \text{ m s}^{-1}$  na B23W. Como era de se esperar, os fluxos de momento aparecem com valores na mesma proporção. Este fato está relacionado ao deslocamento anual da ZCIT que, quando está sobre a região, apresenta menor intensidade das componentes horizontais do vento, enquanto que, quando a ZCIT se encontra deslocada, os ventos alísios se encontram na região, aumentando o cisalhamento.

### 5.3.2. Fluxo de calor sensível

Analisando as Figuras 5.3.c e 5.3.d, em geral, para ambas as regiões, os fluxos de calor sensível são bastante dispersos, principalmente para a B35W. A região da B35W apresenta valores mais elevados e maiores variações do que a B23W durante praticamente todo o ano. O fluxo de calor sensível na B35W varia entre  $0,2 \text{ W m}^{-2}$  em dezembro, com os fluxos estimados com o coeficiente obtido por Smith, 1988, e  $18,1 \text{ W m}^{-2}$ , em abril, pelos fluxos calculados utilizando os novos coeficientes. Na B23W o mínimo e o máximo variam, respectivamente, entre  $-0,1 \text{ W m}^{-2}$ , em maio, para os fluxos calculados com ambos os coeficientes, e  $16,4 \text{ W m}^{-2}$  em abril, para os fluxos calculados com o novo coeficiente (ver Tabela 5.3.a e 5.3.b).

Para as duas regiões verifica-se a mesma sazonalidade: valores maiores e maior dispersão na primeira metade do ano e menores valores e dispersão no segundo semestre. Este fato está ligado com a variação anual da intensidade do vento, a qual é mais influente do que o gradiente de temperatura ar-mar principalmente na segunda metade do ano, quando o gradiente de temperatura é menor e os ventos apresentam maiores intensidades, baseando-se nas Equações (4.5) e nos resultados do estudo climatológico apresentado no RP.

## Região da B35W



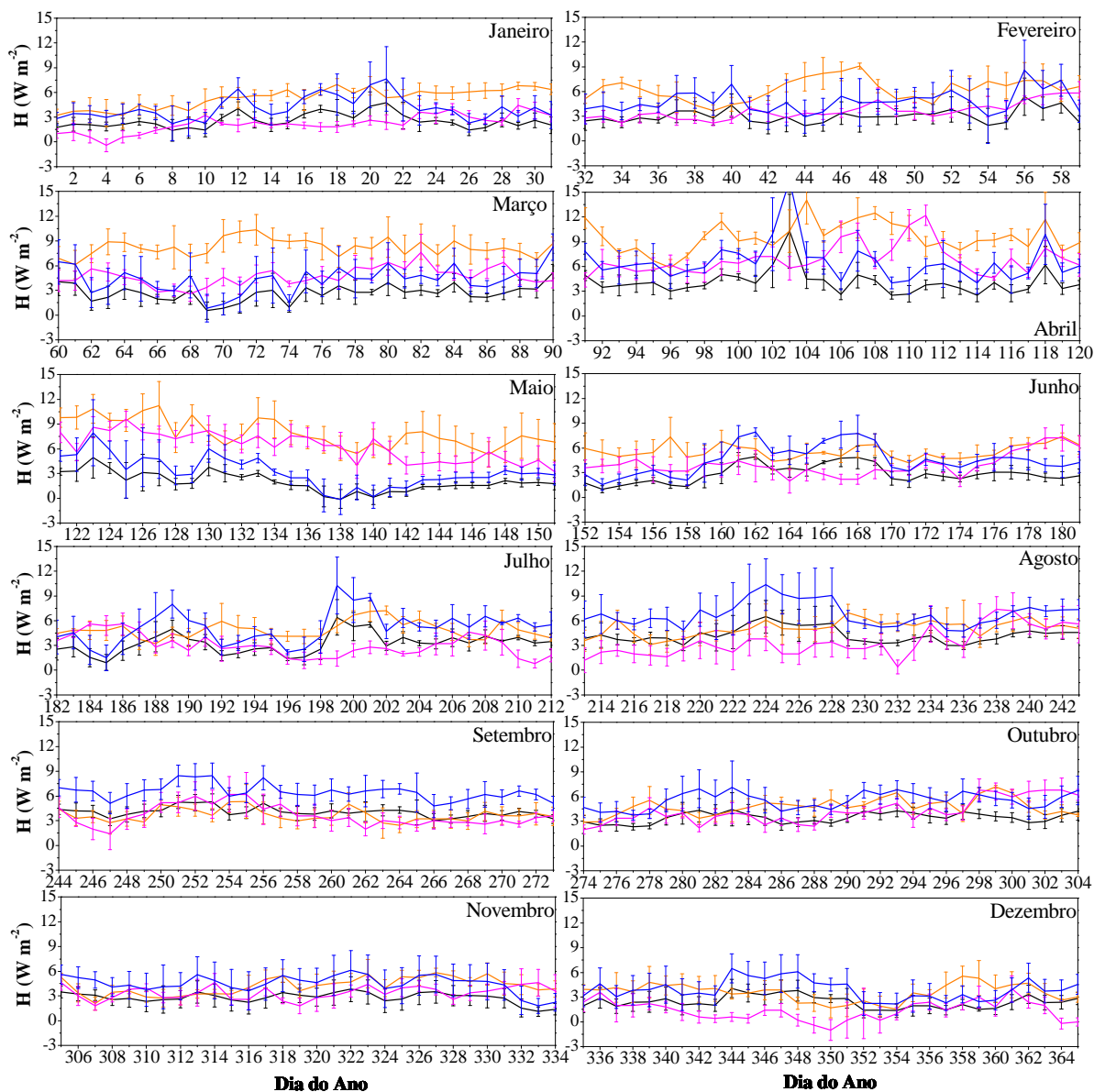
Estimado (antigo)
Estimado (novo)
IICEP
OAF flux

**Figura 5.3.c:** Comparação das climatologias diárias dos fluxos de calor sensível calculados com o coeficiente de calor de Smith, 1988 (linha preta) e o coeficiente de calor estimado (linha azul) com a climatologia dos dados do OAF flux (linha laranja) e do NCEP (linha rosa) para a região da B35W. As barras representam os erros estatísticos das médias.

As séries temporal dos fluxos calculados utilizando o valor estimado do coeficiente de calor aproximaram-se das séries do OAF flux e NCEP, na média. Utilizando nos cálculos o coeficiente de calor de Smith, esses fluxos eram, na média, 52% menores que os fluxos do OAF flux para a região da B35W, e 38% menores para a região da B23W. Utilizando nos cálculos os novos coeficientes de troca, essas diferenças diminuem para 14% e 1% menores, para a B35W e B23W, respectivamente. A grande variância e a menor proximidade entre os valores dos fluxos estimados das diferentes

fontes de dados da B35W estão associadas às pequenas amostras utilizadas nos cálculos das médias diárias e também à maior variabilidade dos padrões oceânicos e atmosféricos nessa região.

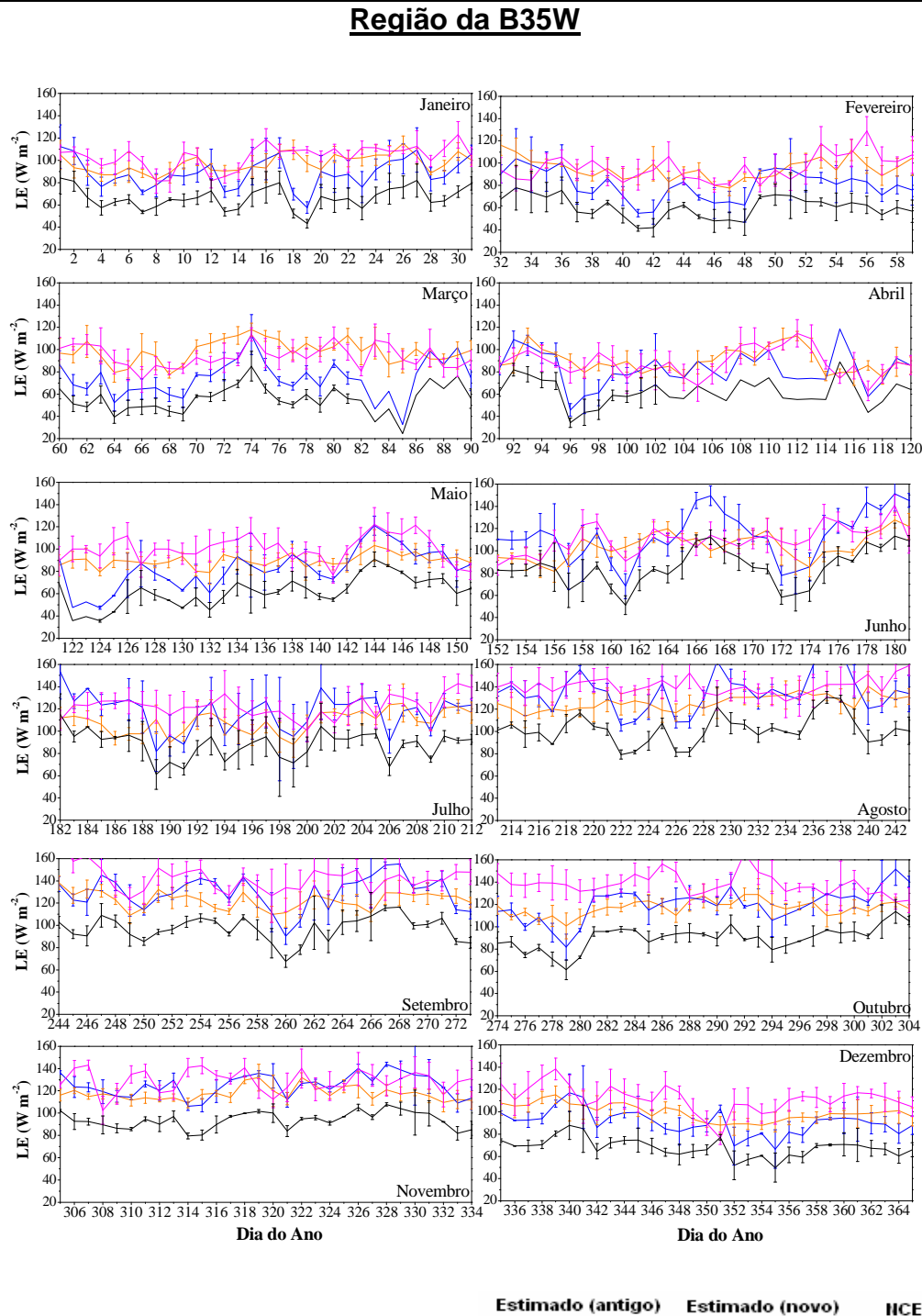
### Região da B3W



**Figura 5.3.d:** Comparação das climatologias diárias dos fluxos de calor sensível calculados com o coeficiente de calor de Smith, 1988 (linha preta) e o coeficiente de calor estimado (linha azul) com a climatologia dos dados do OAF flux (linha laranja) e do NCEP (linha rosa) para a região da B3W. As barras representam os erros estatísticos dos dados.

### 5.3.3. Fluxo de calor latente

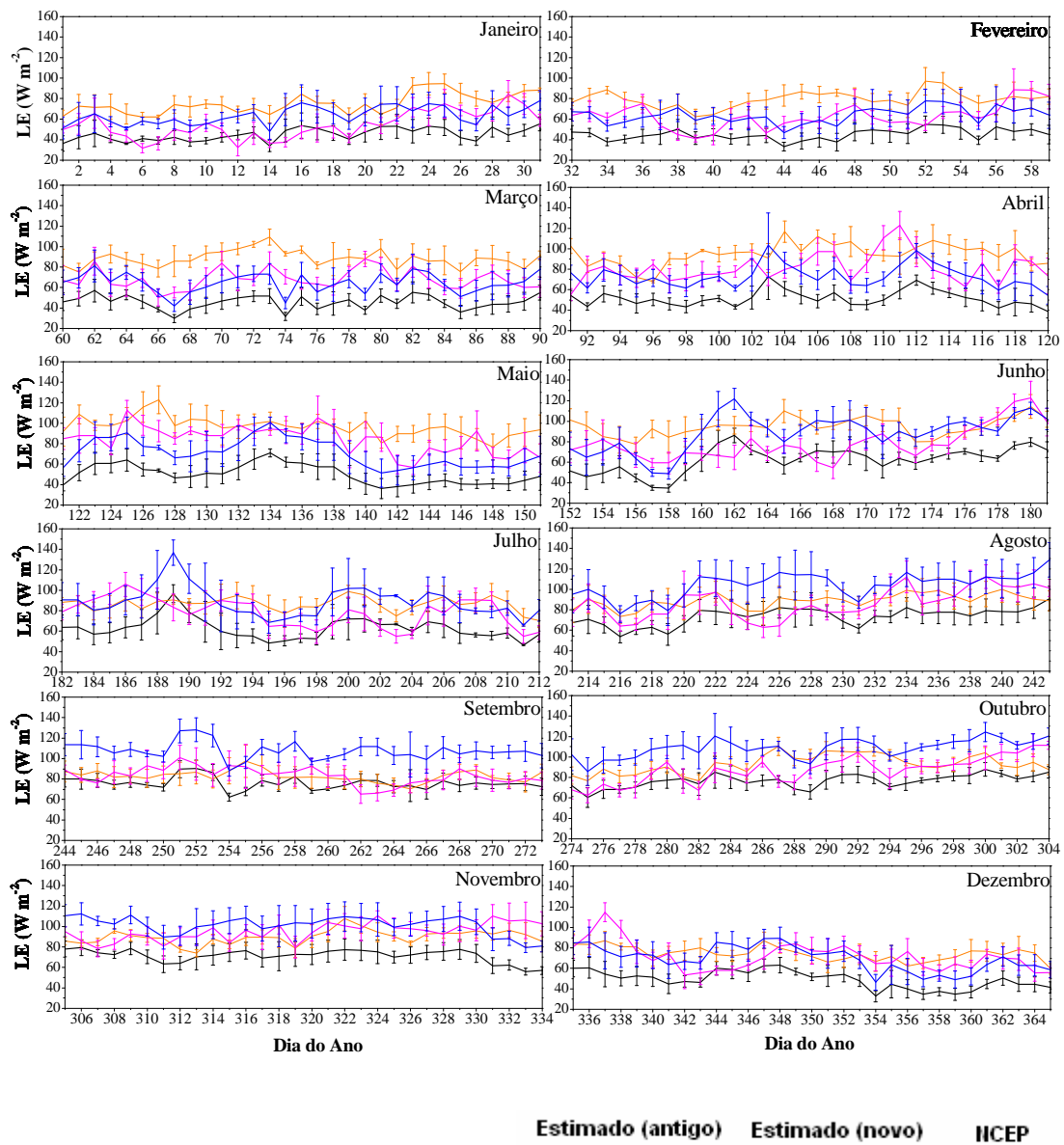
O fluxo de calor latente apresenta pouca variabilidade durante o ano, como é esperado para a região do oceano tropical, onde não há grandes variações de umidade no ar.



**Figura 5.3.e** - Comparação das climatologias diárias dos fluxos de calor latente calculados com o coeficiente de calor de Smith, 1988 (linha preta) e o coeficiente de calor estimado (linha azul) com a climatologia dos dados do OAF flux (linha laranja) e do NCEP (linha rosa) para a região da B35W. As barras representam os erros estatísticos dos dados.

Analisando as Figuras 5.3.f e 5.3.e, a região da B35W novamente apresenta os maiores valores e as maiores variações nos valores deste fluxo, tendo o valor máximo estimado pelo NCEP, de  $179,6 \text{ Wm}^{-2}$  em setembro, e o menor valor de  $24,4 \text{ Wm}^{-2}$  em março, valor estimado pelo método bulk utilizando o coeficiente de Smith. Na região da B23W a amplitude anual é menor, assim como a dispersão dos dados. O valor máximo é de  $136,7 \text{ Wm}^{-2}$  em julho com os dados calculados pelo método bulk com os coeficientes estimados, e o mínimo de  $29,7 \text{ Wm}^{-2}$ , em março, pelo método bulk com o coeficiente de vapor de Smith (Tabelas 5.3.a e 5.3.b).

### Região da B23W



**Figura 5.1.3.f** - Comparação das climatologias diárias dos fluxos de calor latente calculados com o coeficiente de calor de Smith, 1988 (linha preta) e o coeficiente de calor estimado (linha azul) com a climatologia dos dados do OAFflux (linha laranja) e do NCEP (linha rosa) para a região da B23W. As barras representam os erros estatísticos das médias.

Comparando os resultados obtidos utilizando os coeficientes de troca estimados para as duas regiões, verifica-se que houve uma melhora nos resultados dos fluxos calculados em relação às outras fontes de dados. Como já haviam sido mostradas no RF, as variações sazonais das diferentes fontes mostravam fases semelhantes, porém, os dados estimados com os dados das bóias apareciam deslocados, com valores 27% menores, em média, para a região B35W, e 31% menores para a região B23W. Os fluxos estimados com os novos coeficientes diminuíram essa diferença para 3% na B23W. Já para a B35W, essa diferença muda para 24% a mais do que o OAFlux. Essas diferenças entre as duas regiões estão relacionadas com a maior variação dos padrões atmosféricos e oceanográficos relacionados à maior proximidade da B35W com o continente e também à falta de dados completos para o cálculo dos fluxos, sendo pequena a amostra de dados utilizada nos cálculos das médias dos fluxos nessa bóia.

## 6. Considerações finais

Este trabalho de iniciação científica teve como objetivo investigar as características climáticas e os parâmetros de interação entre a atmosfera e o oceano – fluxos turbulentos de momentos, calor sensível e calor latente – na região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), situado no Oceano Atlântico Equatorial, em  $00^{\circ} 56' N$  e  $29^{\circ} 22' W$ , utilizando os dados disponíveis na internet, sejam dados medidos *in situ*, sejam de programas de pesquisa que estimam esses fluxos utilizando diferentes algoritmos.

No Relatório Parcial – PIBIC, apresentado em fevereiro de 2006, foram mostrados os resultados do estudo climatológico da região do ASPSP utilizando dados de variáveis meteorológicas e temperatura da superfície do mar de duas bóias oceanográficas do Projeto PIRATA, as quais se encontram mais próximas ao ASPSP ( $00^{\circ} 23' W$  e  $00^{\circ} 35' W$ ) e de temperaturas do ar e da superfície do mar do Projeto OAFlux. Com isso, foram verificados padrões importantes do clima nesta região do Oceano Atlântico Equatorial: a temperatura da superfície do mar é predominantemente mais elevada do que a temperatura do ar – o que mostra que na região há transferência de calor do oceano para a atmosfera - e suas variações anuais possuem fases semelhantes; a estação chuvosa ocorre na primeira metade do ano, mais precisamente entre os meses de março e maio, quando os ventos alísios apresentam menor intensidade, sendo que estes são mais intensos na segunda metade do ano, o que demonstrou a presença a ZCIT nesta região na em meados de abril.

No Relatório Final – PIBIC, apresentado em agosto de 2006, foi realizado um estudo climatológico dos parâmetros de troca de energia entre a atmosfera e o oceano. Para isso, foram calculados através do método bulk de parametrização, utilizando os dados do Projeto PIRATA, os fluxos de momento, utilizando o coeficiente de arrasto estimado por Garret, 1977, calor sensível e calor latente, utilizando os coeficientes de calor e vapor estimado por Smith, 1988. Foi verificado que os parâmetros de troca eram mais elevados na região da bóia em  $00^{\circ} 35' W$ , assim como eram mais elevados também a amplitude anual e a dispersão dos dados. Foi verificado também que o fluxo de calor sensível é predominantemente positivo (referencial cartesiano) na região das duas bóias. Neste trabalho foram feitas também comparações entre os fluxos estimados neste trabalho com os fluxos estimados pelo Projeto OAFlux (com exceção do fluxo de momento, o qual o OAFlux não dispõe). Nessas comparações verificou-se que a variação sazonal dos fluxos de ambas as fontes tinham fases semelhantes, porém, os fluxos do OAFlux eram mais elevados do que os fluxos calculados no trabalho. Com isso, intentou-se, nesta fase final deste trabalho de iniciação

científica, estimar novos valores para os coeficientes de troca turbulenta de calor e vapor, de modo que esses novos coeficientes pudessem representar os valores das outras fontes de dados (OAFlux e NCEP) caso essas fontes utilizassem o método bulk de parametrização, a fim de, futuramente, quando já tiverem sido realizados os experimentos de campo do Projeto FluTuA, esses coeficientes serem uma forma prática de validar esse dados.

Neste relatório final foram apresentados os resultados dos cálculos dos fluxos turbulentos utilizando os coeficientes de troca turbulenta estimados. Os resultados foram comparados, novamente, com os fluxos de calor sensível e latente estimados pelo OAFlux e com os fluxos turbulentos estimados pelo NCEP em pontos de grades próximos às duas bóias oceanográficas das quais foram utilizados os dados. Os fluxos de momento estimados neste trabalho utilizando o coeficiente de arrasto estimado por Garrat, 1977, apresentaram valores muito próximos aos do NCEP. Os fluxos de calor latente e sensível estimados neste trabalho utilizando os novos coeficientes de troca apresentaram maior aproximação aos fluxos das outras duas fontes de dados (OAFlux e NCEP), principalmente para a região da bóia oceanográfica situada em 00° 23°W, onde as amostragens de dados para as climatologias diárias dos fluxos são maiores e a dispersão e a amplitude anual dos fluxos é menor do que na bóia em 00° 35°W. Porém, verificou-se que os coeficientes de troca aproximavam os dados em alguns períodos do ano, mais precisamente no segundo semestre, quando a dispersão dos fluxos é menor, enquanto que no restante as fontes ainda eram bastante discrepantes. Isso era esperado, já que os coeficientes de troca são variáveis espaço-temporais, e estes foram estimados baseados na média dos fluxos para todo o período.

Uma sugestão para futuros trabalhos de iniciação científica seria estimar os coeficientes de troca através de algum tipo de análise objetiva para períodos do ano em que há influências de padrões meteorológico e oceanográfico que alteram as características físicas da região de estudo, por exemplo, na presença e na ausência da ZCIT, o que demonstrou ser um fator determinante para as discrepâncias encontradas entre os fluxos das diferentes fontes.

## 7. Referências

- Arnault S. and R.E. Cheney, 1994, Tropical Atlantic sea level variability from GEOSAT (1985-1989). *J. Geophys. Res.*, **99**, C9, 18207-18224.
- Arya, S. P.: *Introduction to micrometeorology*.
- Binet D. and J. Servain, 1993: Have the recent hydrological changes in the Northern Gulf of Guinea induced the *Sardinella aurita* outburst?, *Oceanologica Acta*, 16, 247-260. Bjerknes J., 1964, Atlantic air-sea interaction. *Advances in Geophysics*, **10 (1)**, 1-82.
- Cane, M. A., S. E. Zebiak, and S. C. Dolan, 1986: Experimental forecasts of El Niño, *Nature*, **321**, 827-832.
- Chen, D., S. E. Zebiak, A. J. Busalacchi and M. A. Cane, 1995: An improved procedure for El Niño forecasting: implications for predictability, *Science*, **269**, 1699-1702.
- Citeau, J.; Berges, J.; Demarcq, H.; Mahé G., 1988. The watch of ZCIT migrations over tropical Atlantic as an indicator in drought forecast over Sahelian area. *Ocean-Atmosphere Newsletter*. **45**:1-3.
- Delecluse P., J. Servain, C. Levy, K. Arpe, L. Bengtsson, 1994: On the connection between the 1984 Atlantic warm event and the 1982-83 ENSO. *Tellus*, **46A**, 448-464.



- Fairall, C. W., E.F. Bradley, D.P. Rogers, J.B. Edson and G.S. Young, 1996, Bulk parameterization of air-sea fluxes for Tropical Ocean-Global Atmosphere Coupled-Ocean Atmosphere Response Experiment. *J. Geophys. Res.*, **101**, 3747-3764.
- Garratt, J.R., 1977: Review of Drag Coefficients over Oceans and Continents, *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 915-929.
- Geernaert, G.L., 1990: Bulk parameterization for the wind stress and heat fluxes. *Surface Waves and Fluxes*, **1**, 91-172.
- Hastenrath S. and L. Heller, 1977: Dynamics of climate hazards in northeast Brazil. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, **103**, 77-92.
- Merle J., 1980: Seasonal heat budget in the equatorial Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, **10**, 464-469.
- Merle J., M. Fieux, P. Hisard, 1979: Annual signal and interannual anomalies of Sea Surface Temperature in the eastern equatorial Atlantic. *Gate Sup II, Deep Sea Res.*, **26**, 77-101.
- Moura A.D. and J. Shukla, 1981: On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, **38**, 2653-2675.
- Nobre, C. A. e Molion, 1986: *Climanálise Especial. Edição Comemorativa de 10 anos.*
- Panofsky, H.A. and J.A. Dutton, 1984: *Atmospheric Turbulence*. 397pp, Wiley-Interscience, Nova York.
- Philander S.G.H., 1979: Variability of the tropical oceans. *Dyn. Atm. Ocean*, **3**, 191-208.
- Reverdin G. and Y. du Penhoat, 1987: Modeled surface dynamic height in 1964-1984: an effort to assess how well the low frequencies in the equatorial Atlantic were sampled in 1982-1984. *J. Geophys. Res.*, **92**, 1899-1913.
- Servain J., 1991: Simple climatic indices for the tropical Atlantic ocean and some applications. *J. Geophys. Res.*, **96**, 15137-15146.
- Servain J., J. Picaut, A.J. Busalacchi, 1985: Interannual and seasonal variability of the tropical Atlantic ocean depicted by 16 years of sea surface temperature and wind stress. *Coupled ocean-atmosphere models, J.C.J. Nihoul ed., Elsevier*, 211-235.
- Servain J. and D.M. Legler, 1986: Empirical orthogonal function analysis of tropical Atlantic sea surface temperature and wind stress: 1964-1979. *J. Geophys. Res.*, **91**, 14181-14191.
- Smith D.S., 1988: Water vapor flux at the sea surface. *Boudary – Layer Meteorology*, **47**, 277-293
- Smith D.S., 1988: Coefficients for sea surface wind stress, heat flux, and wind profiles as a function of wind speed and temperature. *J. Geophys. Res.*, **93**, 15467-15472.
- Soares, J.; A.P. Oliveira, J. Servain and S. A. Bacellar, 2004: Resultados preliminares do balanço de energia sobre o oceano Atlântico tropical (PROJETO FluTuA). In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2004, Fortaleza, Ceará.. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. CD.
- Vianna M., G.H.J. Pedras and J. Servain, 1996: Climatic driving and prediction of spiny lobster catches in Northeast Brazil. Submetido a *Oceanologica Acta*.
- Wainer, I. and J. Soares, 1997: North Northeast Brazil rainfall and its decadal - scale relationship to wind stress and sea surface temperature. *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 277-280.
- 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).

## **8. Outras atividades**

A seguir são mostradas outras atividades acadêmicas realizadas durante a segunda metade da vigência da bolsa PIBIC, primeiro semestre de 2006.

### **8.1. Disciplinas cursadas**

- Métodos Numéricos de Previsão do Tempo
- Laboratório de Meteorologia Sinótica
- Hidrometeorologia
- Interação Ar-Mar
- Introdução ao Radar Meteorológico

### **8.2 Participações em eventos**

- Participação no Simpósio de Internacional de Iniciação Científica da USP – SIICUSP-2007, com apresentação do trabalho em painel (Anexo I).
- Participação no XIV Congresso de Brasileiro de Meteorologia, com apresentação do trabalho em painel (Anexo II).