Relatório Parcial de Pesquisa de Iniciação Científica

PIBIC/CNPq

Período - Agosto de 2005 a Julho de 2006

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

Fevereiro de 2006

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 Atlântico tropical. 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° 56' N e 29° 22' W), em uma região privilegiada para o desenvolvimento de pesquisas meteorológicas e oceanográficas - o oceano Atlântico Tropical. Este projeto de iniciação científica tem como objetivo estudar as características meteorológicas e oceanográficas do ASPSP utilizando dados de variáveis meteorológicas e oceanográficas disponíveis na internet. Nesta primeira fase do trabalho foi feito um estudo das características climáticas da região do Oceano Atlântico Equatorial utilizando dados, medidos e estimados, de dois projetos (Pirata e OAFlux) em três localizações diferentes, a fim de caracterizar o clima do ASPSP. Na fase subseqüente pretende-se continuar a investigação das características meteorológicas e oceanográficas com ênfase nos fluxos verticais turbulentos na interface ar-mar.

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 Pacifico 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; Hanstenrath 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 deve constituir uma das prioridades de pesquisa pelo seu impacto sócio-econômico análogo aos eventos associados ao fenômeno El Niño/Oscilação Sul no Oceano Pacifico.

É sabido 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 a 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 diversas pesquisas.

1.1.Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é fazer uma caracterização oceanográfica e meteorológica e um estudo da interação oceano-atmosfera – 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 em questão.

Nesta primeira etapa do trabalho os esforços se concentraram na caracterização meteorológica e oceanográfica da região do ASPSP.

2. Materiais e Métodos

A seguir é relatado o andamento do projeto quanto à busca por informações e dados na região do Oceano Atlântico Equatorial, o mais próximo possível do ASPSP, e à metodologia aplicada na utilização dos dados para essa primeira parte do estudo.

2.1. Dados utilizados

No intento de fazer uma caracterização climática 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.

2.1.1. Projeto Pirata

Estão sendo utilizados no estudo da caracterização climática da região do ASPSP os dados do *Projeto Pirata – Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic (http://www.pmel.noaa.gov/pirata/)* - 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).

2.1.2. Projeto OAFlux

O presente trabalho utiliza também dados estimados do projeto *OAFlux – Objectively Analized Air-Sea Flux* - do *Woods Hole Oceanographic Institute* (WHOI), o qual 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 em todo o globo, a cada 0°30' de latitude por 0°30' de longitude. O projeto *Oaflux* realiza também estimativas de variáveis meteorológicas como temperatura do ar, temperatura da superfície do mar (TSM), entre outras, disponibilizando-as em seu *web site (*http://www.whoi.edu/science/PO/people/lyu/res-flux.html*)*.

2.1.3. Variáveis utilizadas e especificações

São mostradas na tabela 2.1 as variáveis estudadas na caracterização climática da região do ASPSP, os respectivos intervalos de tempo em que elas estão disponibilizadas e a disposição dos instrumentos instalados nas bóias oceanográficas do *Projeto Pirata.*

	Pirata – B35W	**Pirata – B23W**	**WHOI**
1. Temperatura do ar	janeiro/1998 a julho/2005	março/1999 a maio/2005	1989 a 1999
	Instrumento de medida a três metros acima da superfície do mar. Unidade em Celsius.		Unidade em Celsius.
2. Temperatura da Superfície do Mar (TSM)	Janeiro/1998 a abril/2005	março/1999 a fevereiro/2004	1989 a 1999
	Instrumento de medida situado a um metro de profundidade. Unidade em Celsius.		Unidade em Celsius.
3. Precipitação acumulada	janeiro/1998 a maio/2005. Sem dados de 2003	março/1999 a março/2005	**Não disponível**
	Instrumento de medida situado a três metros e meio acima do nível do mar. Unidade em milímetros por hora		
4. Umidade relativa do ar	janeiro/1998 a julho/2005	março/1999 a maio/2005	**Não disponível**
	Instrumento de medida situado três metros acima do nível do mar.		
5. Componentes do vento (intensidade e direção)	janeiro/1998 a julho/2005	março/1999 a junho/2004	**Não disponível**
	Instrumento de medida situado a quatro metros acima do nível do mar. Unidade em metros por segundo e grau para intensidade e direção.		
Taxa de amostragem	Dez minutos		Estimativas diárias

Tabela 2.1 – Variáveis disponíveis das diferentes fonte de dados utilizadas, seus períodos de observação e especificações das instalações dos instrumentos nas *bóias Pirata*.

As séries de dados do *Projeto Pirata* eventualmente possuem intervalos com falta de dados devido a ocorrências técnicas.

2.2. Região de estudo

Para o estudo da caracterização climática da região do ASPSP foram utilizados os dados de duas das quinze bóias oceanográficas do *Projeto Pirata*: *Jazz*[*] - situada a 0°N 23°W (B23W) - a aproximadamente 720 quilômetros de distância do arquipélago; e *Samba** - situada a 0°N 35°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.

O Projeto Pirata nomeia cada uma de suas bóias com ritmos musicais.

Como para os dados adquiridos no *Projeto Pirata*, a localização geográfica escolhida para o estudo com os dados do WHOI foi o mais próximo possível do arquipélago, em 0°30'N 29°30'W, a aproximadamente 50 quilômetros do ASPSP.

O ASPSP encontra-se aproximadamente a 1100 km da cidade de Natal.

A figura 2.1 ilustra as localizações geográficas das fontes de dados e das cidades mais próximas ao arquipélago.

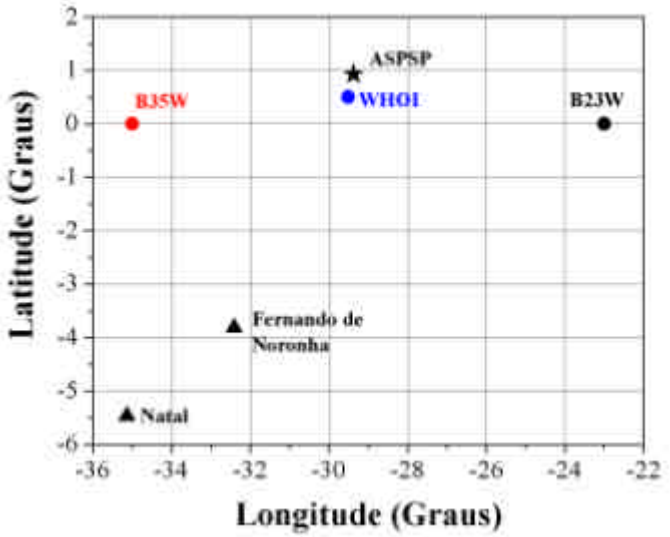

Figura 2.1: Localização geográfica dos dados utilizados no trabalho: bóia Pirata em 35°W (B35W) (círculo vermelho), bóia Pirata em 23°W (B23W) (círculo preto) e dados do Projeto *OAFlux – Objectively Analized Air-Sea Flux* - do *Woods Hole Oceanographic Institute (WHOI)* (círculo azul). Como referência foram colocados alguns locais geográficos (triângulos).

2.3 Metodologia

No estudo da região do ASPSP com os dados de alta resolução do *Projeto Pirata* foram calculadas, para cada variável, médias horárias, diárias e mensais. No caso da precipitação, foram calculados os acumulados horários, diários e mensais. Com os dados diários estimados pelo WHOI foram calculadas médias mensais. Para todos os cálculos foi utilizada a linguagem de programação *Fortran-90* (anexo I).

Para as variáveis de temperatura do ar, TSM, umidade relativa e intensidade do vento, amostradas a uma taxa de dez minutos, as médias foram calculadas como médias aritméticas.

Para o cálculo da direção média horária, diária e mensal, do vento foi utilizada a média vetorial, ou seja, foram calculadas as médias horárias e diárias das componentes u e v e, com essas médias, foram calculadas as direções médias utilizando dentro do programa de médias uma sub-rotina que faz a soma vetorial das médias das componentes do vento e

calcula o ângulo do vetor resultante adotando a referência meteorológica, na qual a direção norte encontra-se a zero grau, em sentido horário, e assumindo a direção do vento de onde este é originado, como é mostrado pela expressão 2.1 e na figura 2.2.

$$tg\alpha = \left(\frac{u}{v}\right) \Rightarrow \alpha = arctg\left(\frac{u}{v}\right) \qquad (2.1)$$

Na qual α é o ângulo mostrado na figura 2.2, entre o eixo da componente *v* e o vetor resultante da soma das duas componentes, *u* e *v*.

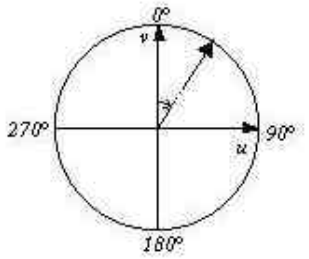

Figura 2.2: Referência meteorológica para direção do vento.

Com os dados de precipitação, amostrados a cada dez minutos, foram calculados os acumulados horários, diários e mensais, somando os valores para cada intervalo de tempo.

Para a estimativa das médias e dos acumulados foi utilizado como filtro as condições abaixo:

- Para médias ou acumulados horários e mensais: horas ou meses com 50% dos dados em falta (por exemplo três dados comprometidos a cada hora ou quinze dados para o mês), não é feito o cálculo para essa hora ou mês;

- Para médias ou acumulados diários: dias com três horas seguidas com dados comprometidos, não é feito o cálculo para esse dia.

Com as médias diárias foram feitos gráficos comparando as variações temporais anuais das variáveis das duas bóias e, com as variáveis e nos períodos de tempo coincidentes, os dados do WHOI.

Também foram construídos com as médias diárias de cada bóia e do WHOI em todo o intervalo de tempo em que há dados, histogramas para uma observação estatística e comparativa. Como o total de dados utilizados está contido num intervalo de aproximadamente 17 anos (os dados do WHOI tem início em 1989 e a B35W possui dados medidos até 2005,veja tabela 2.1), foram comparados os dados estatísticos entre cada fonte de dados a fim de melhorar as estimativas do clima na região do ASPSP.

Com as médias mensais foram calculadas, para cada variável, as médias entre os meses de cada ano de dados disponíveis para cada fonte e seus erros estatísticos, e esses gráficos comparados entre as fontes. Os erros estatísticos dessas médias foram calculados conforme a expressão 2.2.

$$Erro = \frac{DP}{\sqrt{n}} \qquad (2.2)$$

Na qual n é o número de dados utilizados no cálculo da média e DP o desvio padrão da média dado por: $DP = \sqrt{Var}$.

Na qual Var é a variância do conjunto de dados, dada por: $Var = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2$.

Na qual X_i são os dados utilizados no cálculo e $\overline{X}$ a média do conjunto de dados.

Os gráficos com as médias mensais climatológicas foram comparados também, para cada variável, com gráficos climatológicos da cidade de Natal, disponibilizados no *site* do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) – *www.inmet.gov.br* - já que esta é a cidade mais próxima ao ASPSP onde existem dados climatológicos de trinta anos. Essa comparação foi feita com o intuito de verificar se a climatologia da cidade pode ser utilizada como referência para estimativas de variáveis meteorológicas sobre o oceano no uso de modelos acoplados oceano-atmosfera.

De modo geral, espera-se comparando os dados entre as fontes, encontrar uma característica climatológica para o ASPSP, ainda que possuindo poucos anos de dados (em torno de 17 anos). Como a região de estimativa do WHOI tem proximidade maior com o arquipélago do que as *bóias Pirata*, pretende-se também verificar qual das bóias possuem características semelhantes com o WHOI.

3. Resultados e Discussão

São mostrados e discutidos aqui os resultados dos estudos da climatologia do ASPSP com as médias diárias e mensais.

3.1. Médias diárias

A seguir são mostrados e comentados para cada variável meteorológica os gráficos com os dados diários das *bóias Pirata* e do WHOI, comparando-os quando possível, utilizando os dados e os períodos de tempo ilustrados na tabela 2.1.

A tabela a abaixo auxilia na compreensão da escala temporal utilizada nos gráficos das variáveis, na qual foi utilizado o ano decimal. Utilizando como exemplo a escala do ano de 1998:

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ano Decimal	1998.00	1998.09	1998.16	1998.25	1998.33	1998.42	1998.50	1998.58	1998.67	1998.75	1998.83	1998.92

3.1.1 Temperatura do Ar

A figura 3.1.1 mostra a variação temporal das médias diárias da temperatura do ar para as bóias *Pirata* e os dados do WHOI nos anos coincidentes (1998 e 1999).

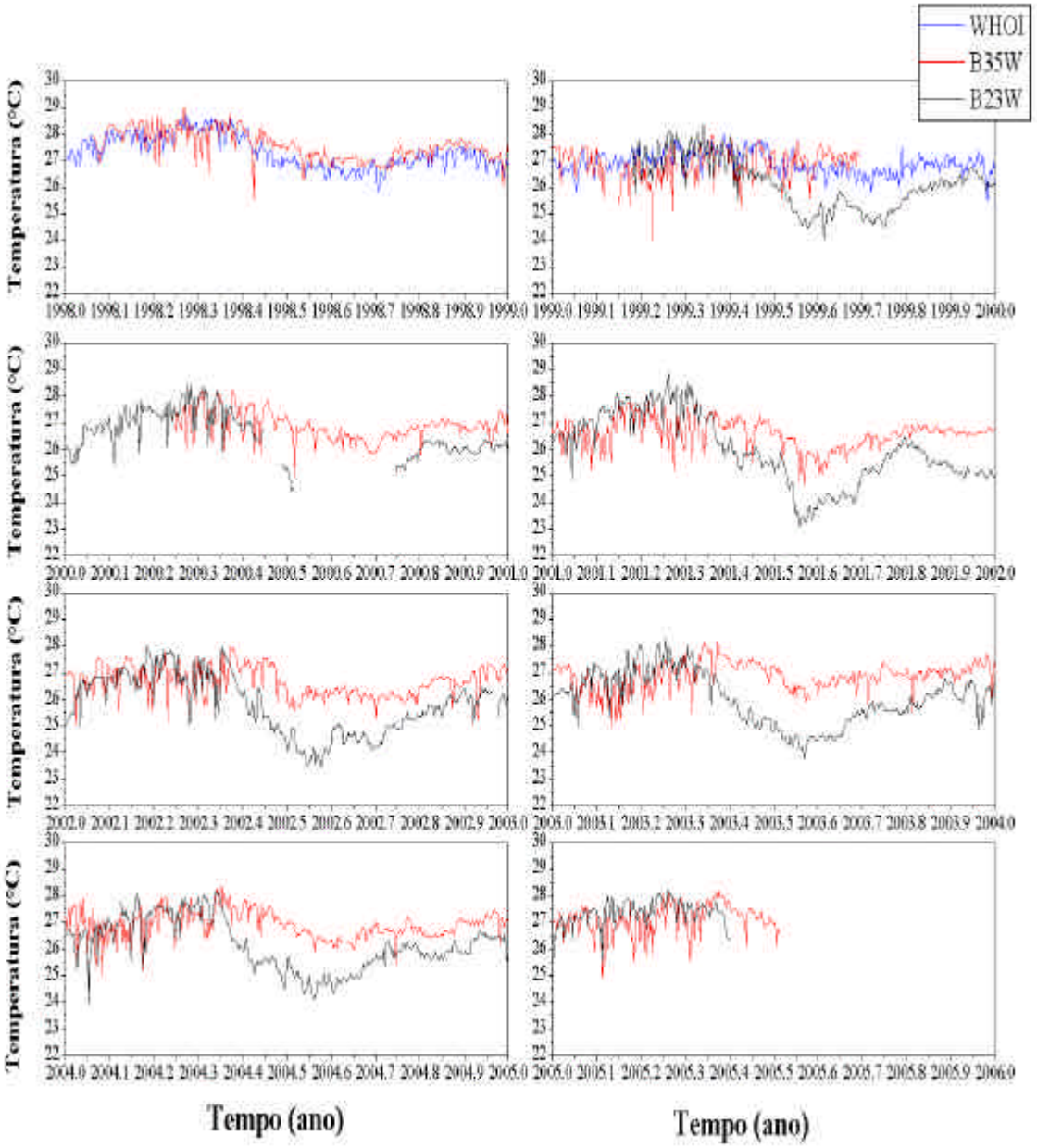

Figura 3.1.1: Variação temporal dos dados diários de temperatura do ar para cada fonte de dados: bóias Piratas (B35W – linha vermelha e B23W - linha preta) e WHOI (linha azul). De 1998 a 2005. Interrupções nas linhas são devidas à falta de dados.

A figura 3.1.2 mostra histogramas com as médias diárias calculadas com os dados de cada *bóia Pirata* e com todos os dados diários estimados pelo WHOI (de 1989 a 1999).

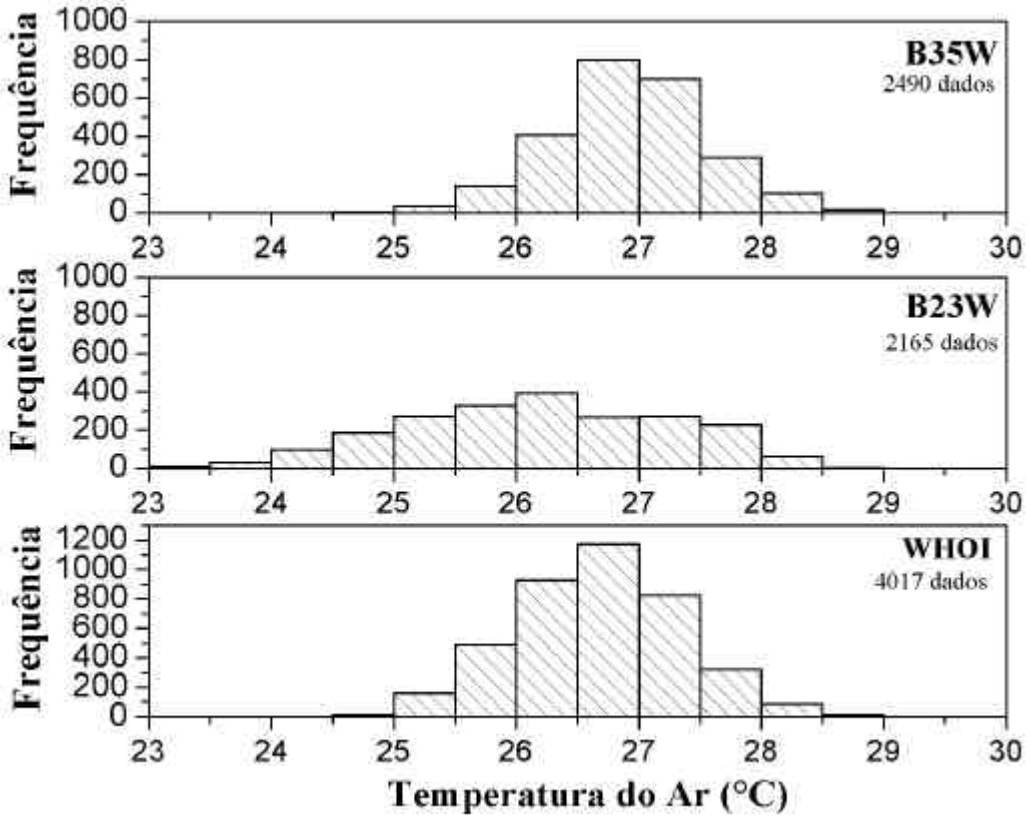

Figura 3.1.2: Histogramas de médias diárias calculadas com os dados de temperatura do ar das *bóias Pirata* e com os dados diários estimados pelo WHOI.

Observando os gráficos da variação temporal da temperatura do ar (figura 3.1.1) verifica-se um ciclo sazonal bem pronunciado para os conjuntos de dados de todas as fontes. A temperatura varia entre 25°C e 28°C nos meses entre janeiro e abril, começando a decair em meados de maio (*ANO,35* na escala, aproximadamente), apresentando temperaturas mais baixas entre julho e agosto (*ANO,55* aproximadamente), quando, após esse período, a temperatura volta a se elevar.

Comparativamente, a bóia B23W apresenta uma estação fria, entre julho e agosto, com temperaturas menores que a bóia B35W e os dados do WHOI, chegando, em alguns anos a 23°C, enquanto que a B35W e o WHOI raramente apresentam médias diárias abaixo de 25°C. Assim, pode-se verificar uma maior compatibilidade entre o dados da B35W com os dados do WHOI, como também é evidenciado nos histogramas na figura 3.1.2, nos quais a B23W se distingue das outras fontes. Para os três conjuntos de dados, a média do total de dados é bem próxima.

3.1.2. Temperatura da Superfície do Mar (TSM)

Na figura 3.1.3 são mostradas as variações temporais da TSM para as diferentes fontes.

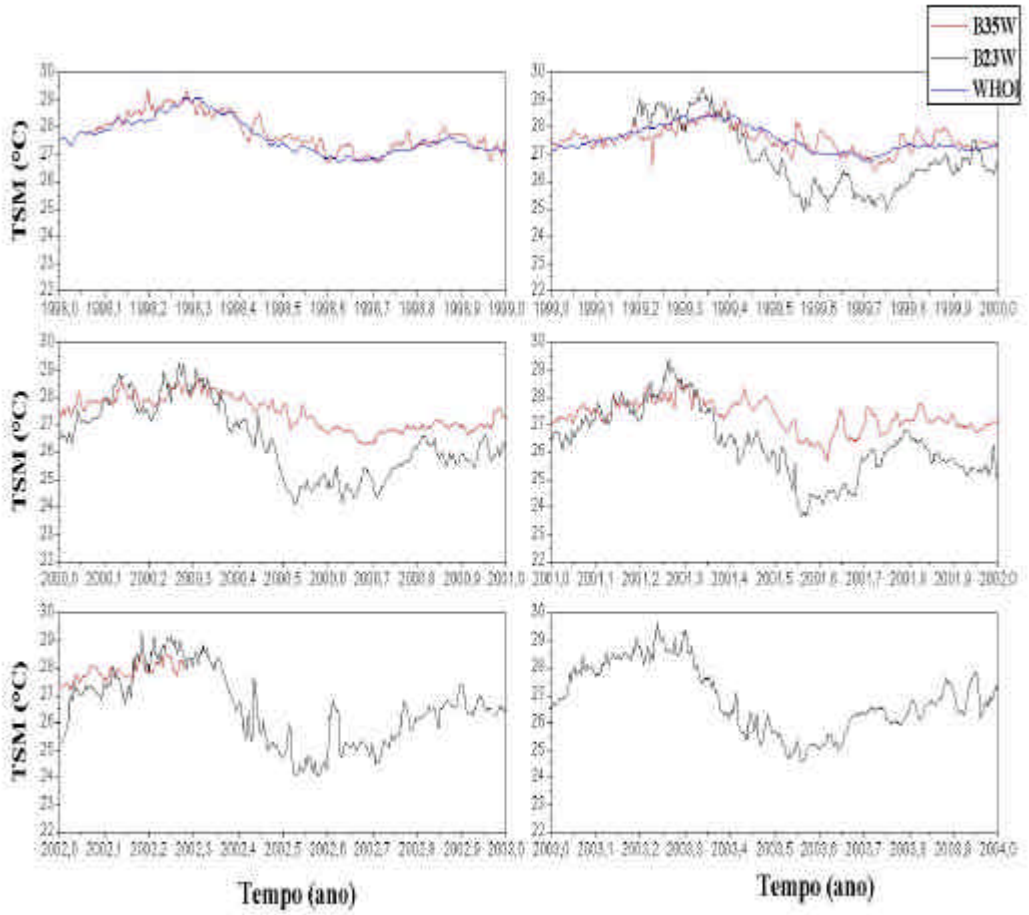

Figura 3.1.3: Variação temporal das médias diárias de TSM para cada fonte de dados: bóias Piratas (B35W – linha vermelha e B23W - linha preta) e WHOI (linha azul). De 1998 a 2003. Interrupções nas linhas são devidas à falta de dados.

Observa-se pela figura 3.1.3 um ciclo sazonal para TSM. Novamente o ciclo é mais pronunciado para a B23W, a qual apresenta maior variação de temperatura durante o ano, chegando a variar quase 6°C num ano, enquanto que a B35W e WHOI variam 3,5°C, aproximadamente. A variação temporal da B35W e do WHOI coincidem também para a TSM , apresentando menor variação entre as estações. Em geral, para as três referências, entre os meses de janeiro e abril aparece a estação quente, caindo a temperatura posteriormente, apresentando a estação fria entre julho e setembro, quando em meados de outubro a TSM volta a subir.

A figura 3.1.4 mostra histogramas com as médias diárias dos dados de cada *bóia Pirata* e com todos os dados do WHOI (de 1989 a 1999).

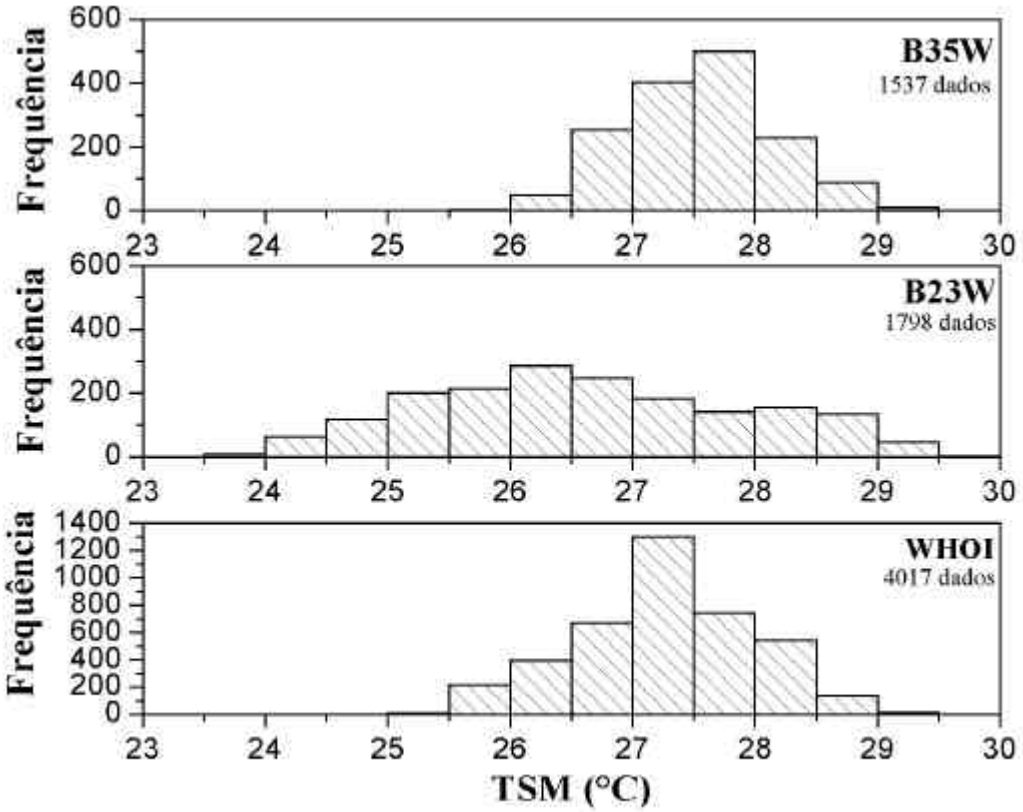

Figura 3.1.4: Histogramas de médias diárias calculadas com os dados de TSM das *bóias Pirata* e com os dados diários estimados pelo WHOI.

Analisando os histogramas na figura 3.1.4, verifica-se, assim como para a temperatura do ar, maior coincidência entre os dados da B35W e WHOI e maior amplitude da TSM na B23W. A temperatura média da B35W e do WHOI são mais próximas. A B23W apresenta uma média menor.

3.1.3 Precipitação Acumulada

A figura 3.1.5 mostra a variação temporal da precipitação diária acumulada dos dados das *bóias Pirata.*

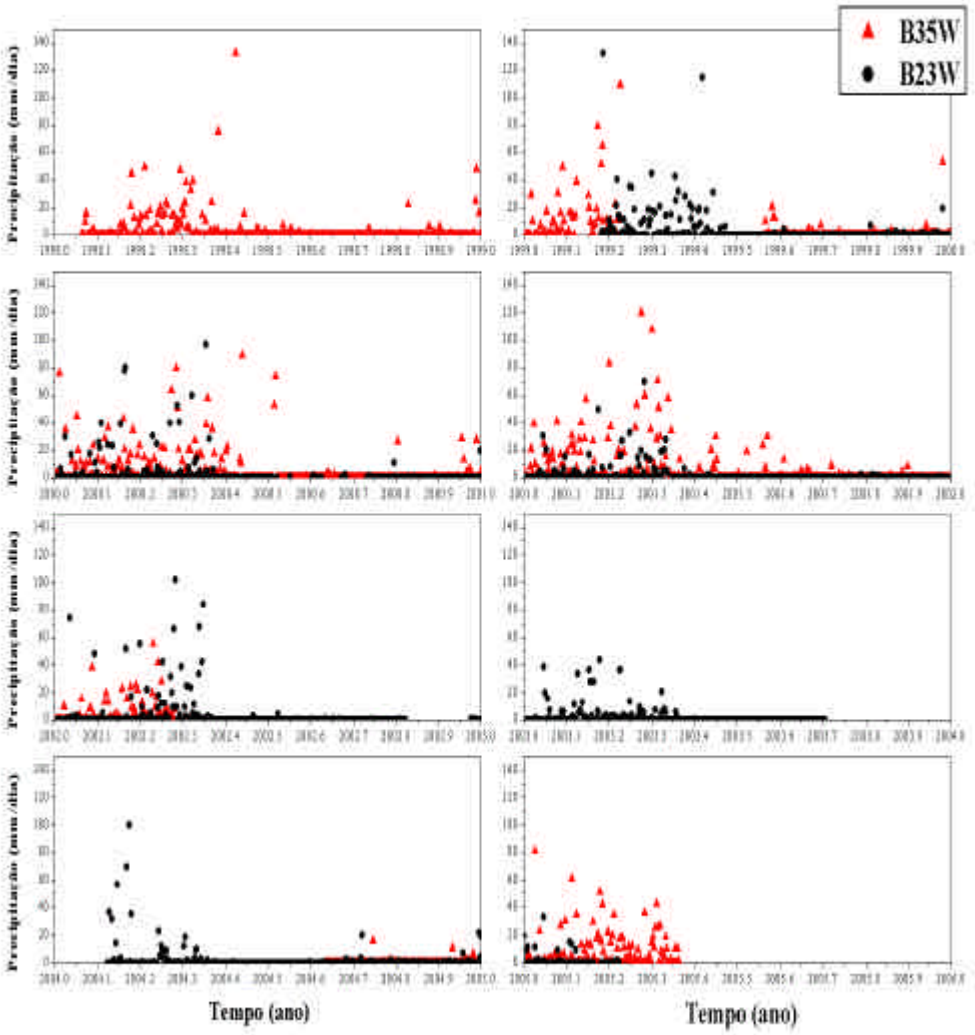

Figura 3.1.5: Variação temporal da precipitação diária acumulada das bóias Pirata (B35W – triângulos vermelhos e B23W – círculos pretos). De 1998 a 2005. Interrupções são devidas à falta de dados.

Na figura 3.1.5 é possível observar que entre janeiro e maio ocorre a estação chuvosa nas regiões das duas bóias Pirata. Além disso, observa-se também pela dispersão dos pontos, que existem poucos dias com chuvas, porém, a quantidade de precipitação acumulada diária da maioria dos dias que chovem indicam a ocorrência de chuvas intensas nas regiões.

3.1.4. Umidade Relativa

Observando a variação temporal das médias diárias de umidade relativa das *bóias Pirata* (figura 3.1.6), verifica-se que a B35W apresenta um suave ciclo sazonal, sem variações bruscas. Já a B23W possui pouca variação de umidade durante o ano. Esse resultado é esperado pois se trata da umidade relativa do ar sobre a região oceânica.

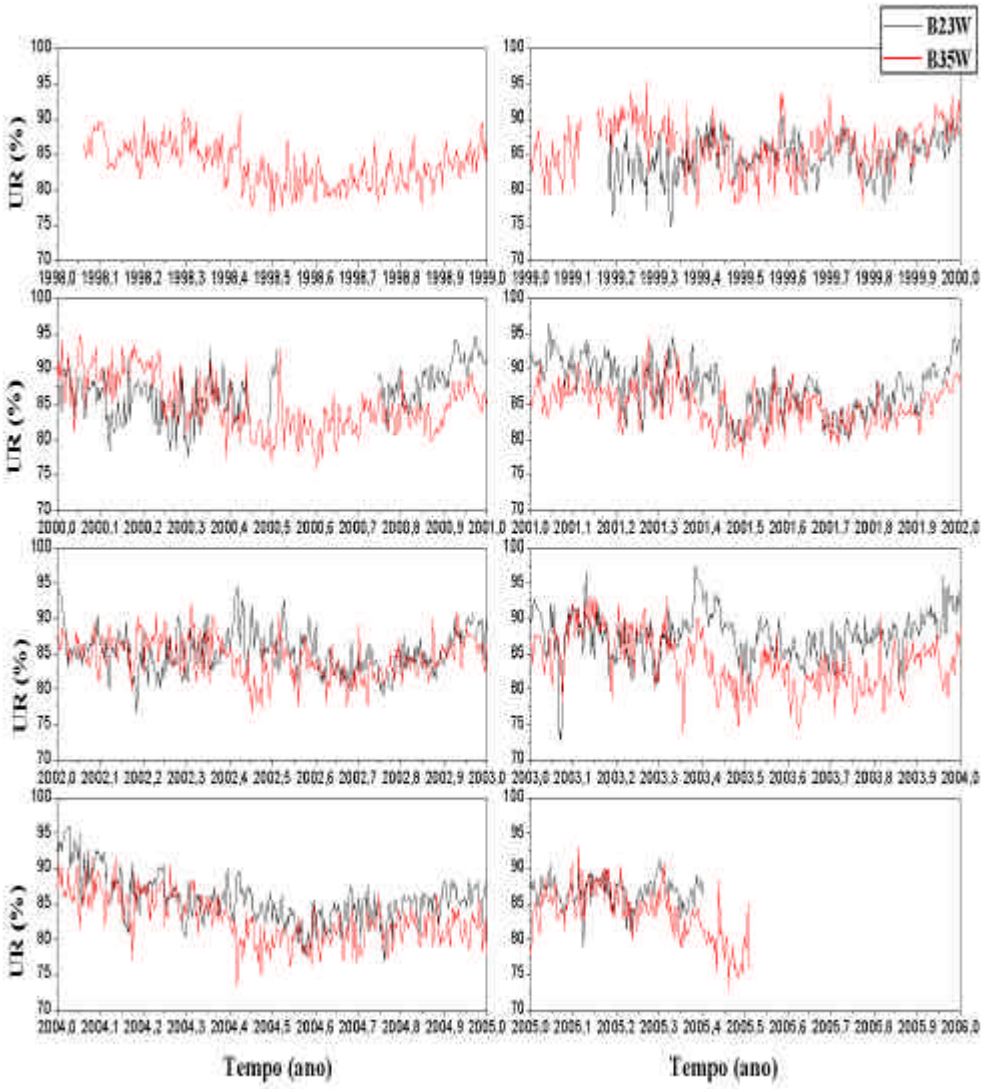

Figura 3.1.6: Variação temporal da umidade relativa das bóias Pirata (B35W – linha vermelha e B23W – linha preta). De 1998 a 2005. Interrupções nas linhas são devidas à falta de dados.

Analisando a figura 3.1.7 verifica-se que a B35W apresenta uma climatologia com valores menores de umidade relativa, apesar dos instrumentos das bóias estarem a mesma altura (três metros).

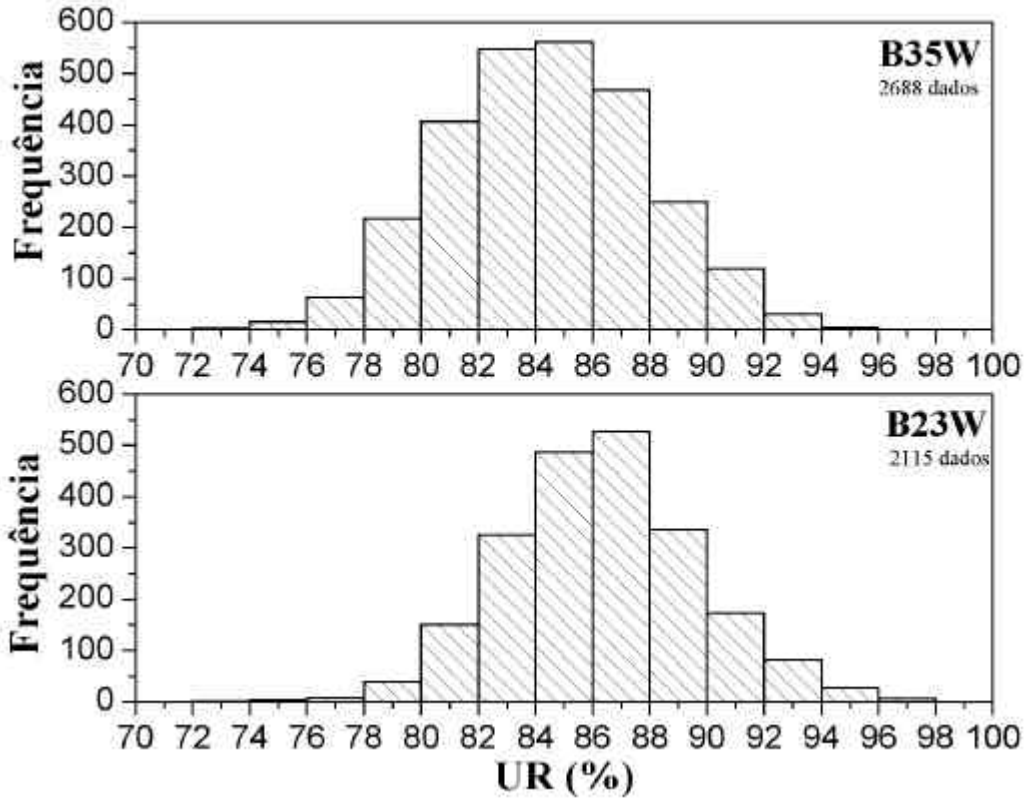

Figura 3.1.7: Histogramas com as médias diárias calculadas com os dados de umidade relativa das *bóias Pirata*.

3.1.5 Intensidade e Direção do Vento

A seguir são mostrados e discutidos os dados de intensidade e direção do vento, medidos pelas bóias Pirata.

3.1.5.a. Intensidade do Vento

Analisando a variação temporal da intensidade do vento (figura 3.1.8) é possível verificar seu ciclo sazonal.

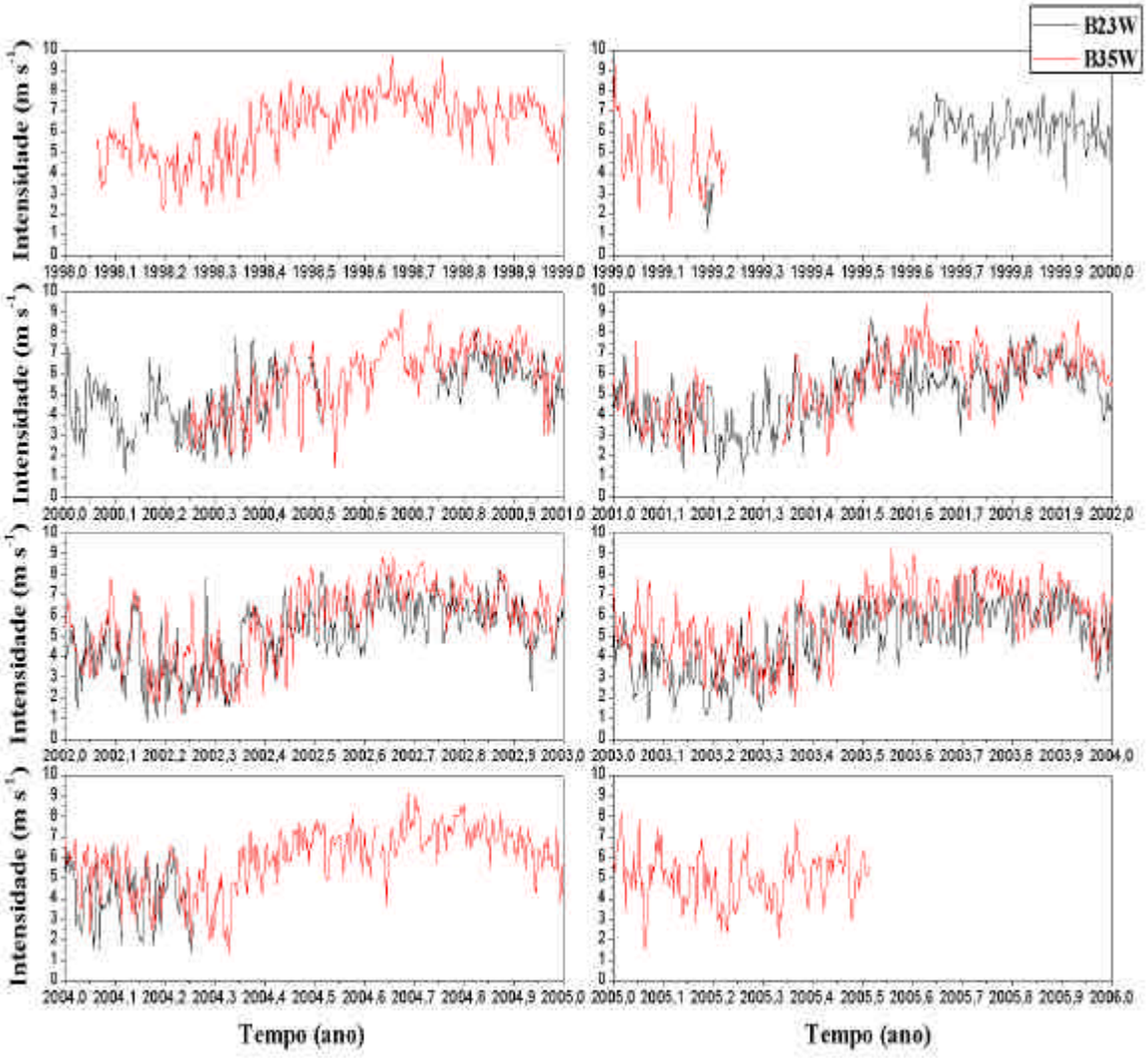

Figura 3.1.8: Variação temporal da intensidade do vento das bóias Pirata (B35W – linha vermelha e B23W – linha preta). De 1998 a 2005. Interrupções nas linhas são devidas à falta de dados.

Para ambas as bóias são observados ventos menos intensos nos primeiro meses do ano, entre janeiro e maio, e ventos mais intensos de julho a novembro, aproximadamente (figura 3.1.8). A B35W apresenta ventos ligeiramente mais intensos que a B23W. Os ventos nas regiões das bóias raramente ultrapassam 8 m s^{-1} (figura 3.1.9).

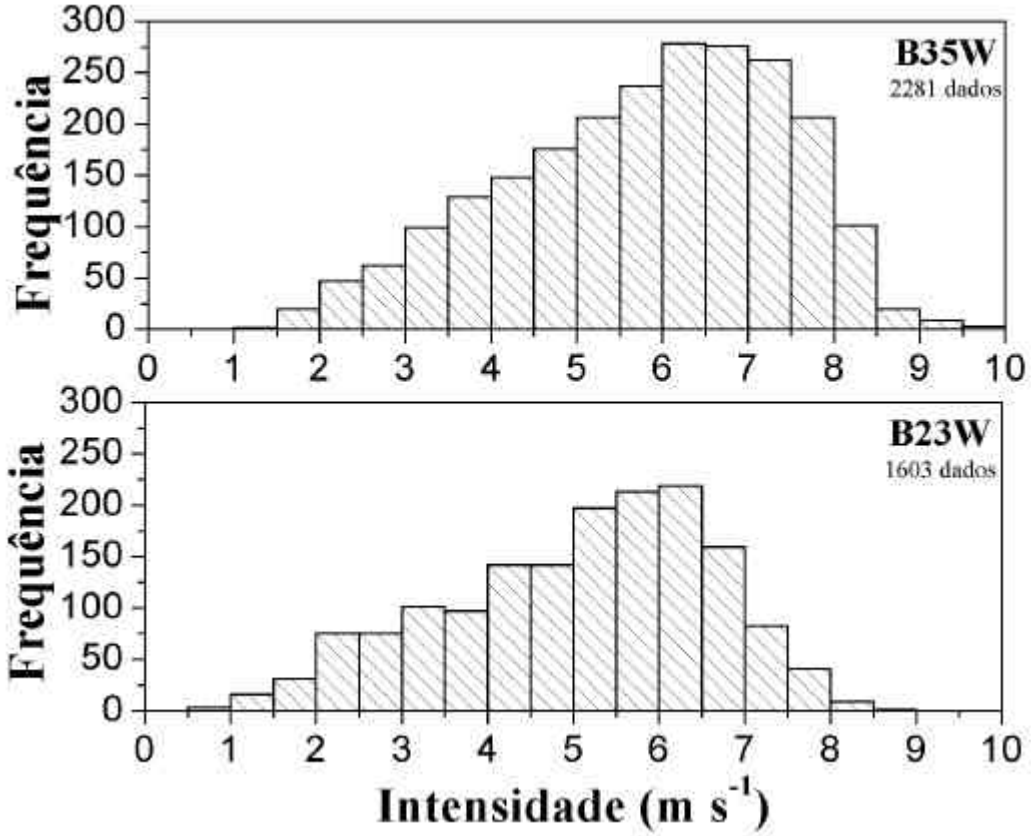

Figura 3.1.9: – Histogramas com as médias diárias calculadas com os dados de intensidade do vento das *bóias Pirata*.

3.1.5.b. Direção do Vento

Como pode ser visto na figura 3.1.10, entre os meses de janeiro e maio há maior variação na direção do vento. No resto do ano a direção predominante é de sudeste ($90° < \alpha < 180°$) e os ventos são mais intensos (figura 3.1.8).

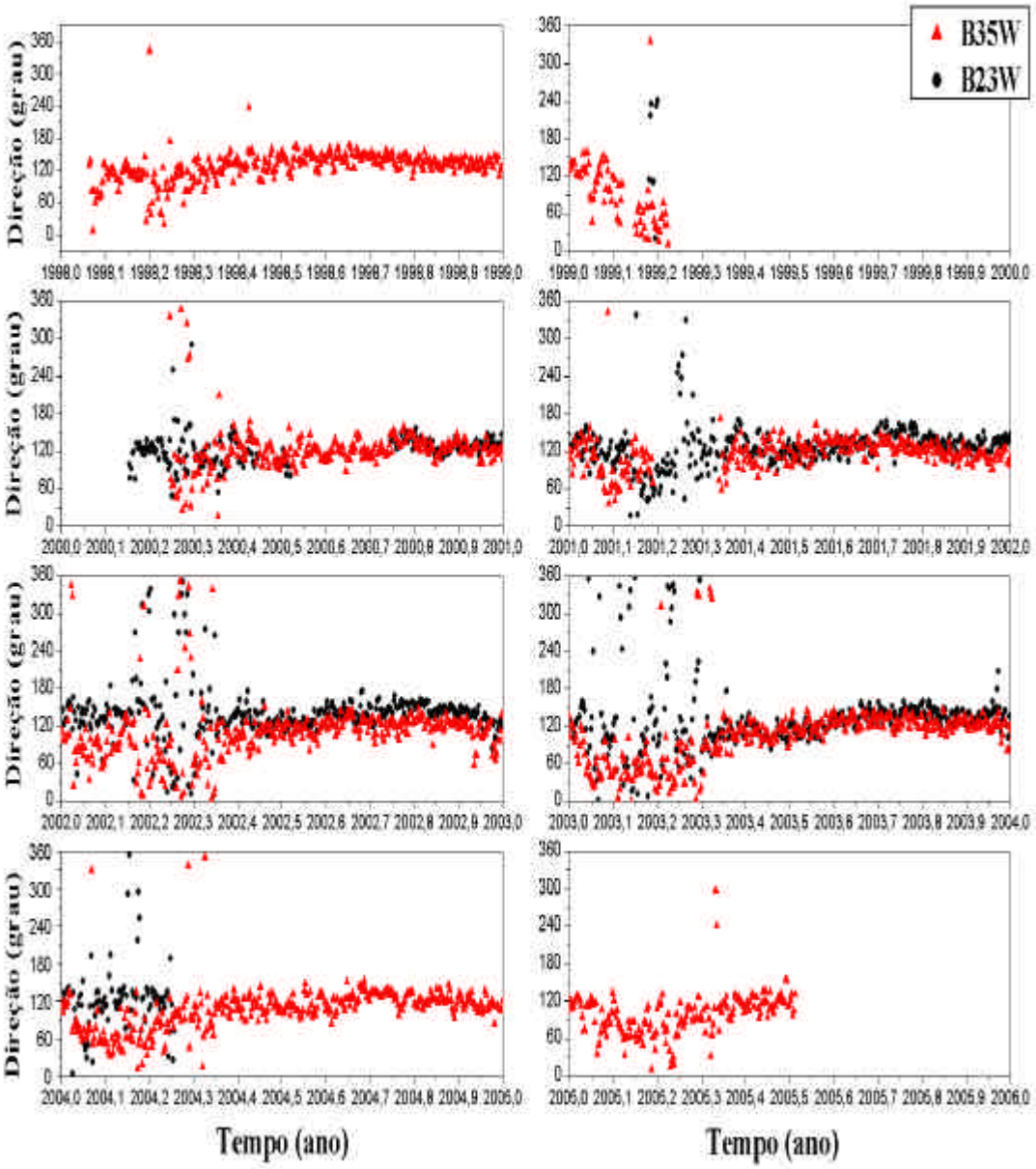

Figura 3.1.10: Variação temporal da direção do vento das bóias Pirata (B35W – triângulos vermelhos e B23W – pontos pretos). De 1998 a 2005. Pontos faltantes são devidos à falta de dados.

Analisando os gráficos de direção do vento (figuras 3.1.10 e 3.1.11), observa-se a influência constante dos alíseos durante, praticamente, todo o ano, os quais possuem sempre componente de leste ($0° < \alpha < 180°$).

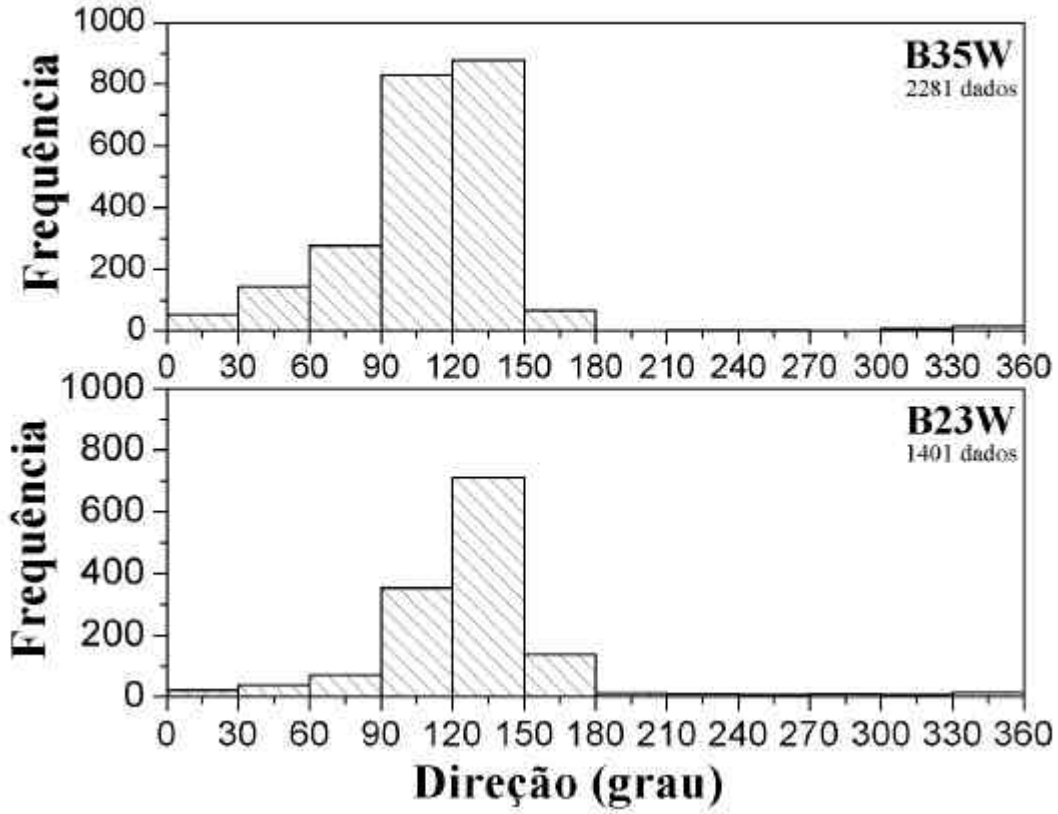

Figura 3.1.11: Histogramas com as médias diárias calculadas com os dados de direção do vento das *bóias Pirata*.

3.2. Médias mensais

A seguir são mostrados e comentados os gráficos com os dados mensais das *bóias Pirata* e do WHOI, comparando-os quando possível, utilizando os dados e os períodos de tempo ilustrados na tabela 2.1.

Sempre que possível também são feitas comparações entre a climatologia de Natal com os gráficos das médias dos meses para todos os anos para cada fonte.

A tabela 3.2 com os valores extremos e médios das médias mensais entre todos os anos, para cada variável e para cada fonte de dados, auxilia na compreensão dos gráficos.

	B35W			**B23W**			**WHOI**		
	Min	**Med**	**Max**	**Min**	**Med**	**Max**	**Min**	**Med**	**Max**
Temperatura do ar (°C)	Set 26,5±0,1	26,9±0,3	Maio 27,5±0,1	Julho 24,6±0,2	26,1±0,1	Abril 27,5±0,1	Ago 25,8±0,1	26,6±0,5	Abril 27,4±0,1
TSM (°C)	Set 26,8±0,1	27,5±0,5	Abril 28,3±0,2	Julho 25,0±0,2	26±1	Abril 28,60±0,02	Ago 26,2±0,1	27,2±0,6	Abril 28,2±0,1
Precipitação (mm mês^{-1})	Nov 10,38	127,8	Abril 367,37	Julho 1,26	66,2	Abril 207,03	**Não disponíveis**		
Umidade relativa (%)	Junho 81,1±0,6	84±2	Fev 87±1	Ago 84,7±0,6	86±2	Dez 89,2±0,8	**Não disponíveis**		
Intensidade do vento (m s^{-1})	Abril 3,9±0,2	6± 1	Set 7,2±0,1	2,9±0,2	Abril 5,0± 1,1	Nov 6,4±0,1	**Não disponíveis**		
Direção do vento (grau)	Março 65,97	115,1	Set 129,53	Março 111,09	128,27	Out 145,19	**Não disponíveis**		

Tabela 3.1: Valores mínimos, médios e máximos mensais para cada variável e fonte de dados.

3.2.1.Temperatura do ar e TSM

Analisando a temperatura média mensal do ar (figura 3.2.1.a), observa-se que a B23W apresenta um ciclo sazonal mais acentuado quando comparada às demais fontes de dados. Temperaturas mais altas ocorrem entre abril e maio e mais baixas entre julho e setembro. A diferença de temperatura do entre os meses mais quentes e mais frios é de cerca de 1°C para a bóia B35W, 1,5°C para o WHOI e 3°C para a bóia B23W.

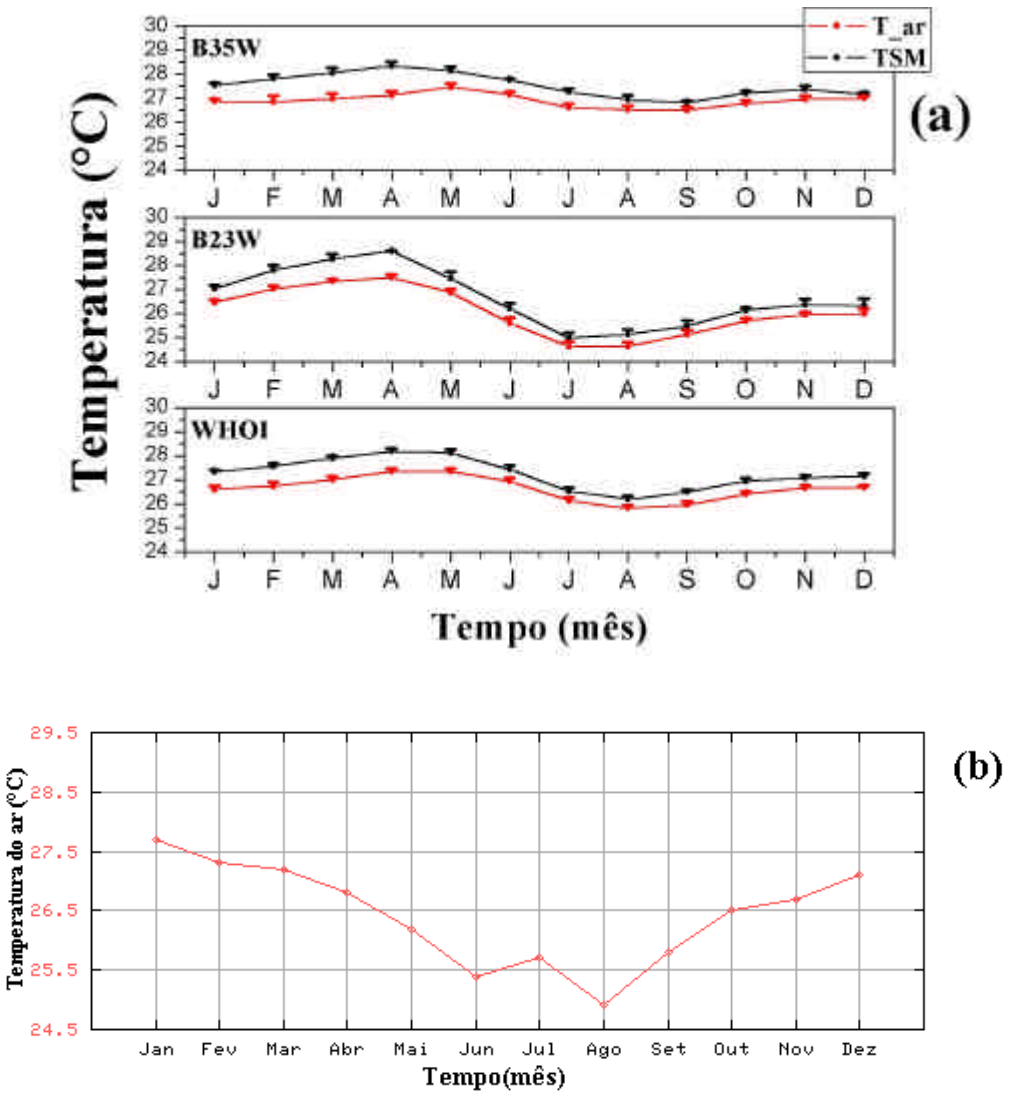

Figura 3.2.1: (a) – Médias mensais da temperatura do ar (vermelho) e TSM (preto) para as três fontes de dados. As barras verticais indicam o erro estatístico. **(b)** Médias mensais climatológicas da temperatura do ar da cidade de Natal (fonte: INMET).

De forma semelhante à temperatura do ar, para a TSM observa-se, também, um ciclo sazonal mais pronunciado para a B23W do que para as outras referências (figura3.2.1.a). A temperatura mais alta é registrada em abril nas três regiões estudadas e a mais baixa ocorre entre julho e setembro. A amplitude da TSM para a bóia B35W é de 1,5°C, para a B23W é de 3,6° para a B23W e de 2°C para o WHOI.

Nos locais investigados a temperatura do mar é sempre superior à temperatura do ar, sendo que essa diferença raramente ultrapassa 1°C. Isso indica que o sentido do fluxo vertical turbulento de calor sensível será, em geral, do oceano para a atmosfera.

Comparando os gráficos (a) e (b) da figura 3.2.1, nota-se que a climatologia de Natal apresenta algumas semelhanças com a climatologia da temperatura do ar sobre as regiões oceânicas. Em Natal e nos dados do WHOI a temperatura mais baixa ocorre em agosto, porém, a média de agosto do WHOI é aproximadamente 1°C mais elevada do que a média de Natal. A temperatura mínima do ar na B23W ocorre mais tarde do que em Natal (setembro) e na B35W um mês antes do que em Natal (julho). A temperatura média mensal máxima ocorre em janeiro em Natal, enquanto que sobre o oceano ocorre mais tarde, entre abril e maio (tabela 3.1).

4.1.2. Precipitação acumulada

A figura 3.2.2.(a) mostra um período de chuvas bem definido para as duas bóias Pirata, sendo o período chuvoso, como comentado anteriormente para as médias diárias, predominantemente de janeiro a maio. Natal apresenta estação chuvosa entre fevereiro e agosto (figura 3.2.2.b).

A bóia B35W apresenta, freqüentemente, chuvas mais intensas do que a B23W.

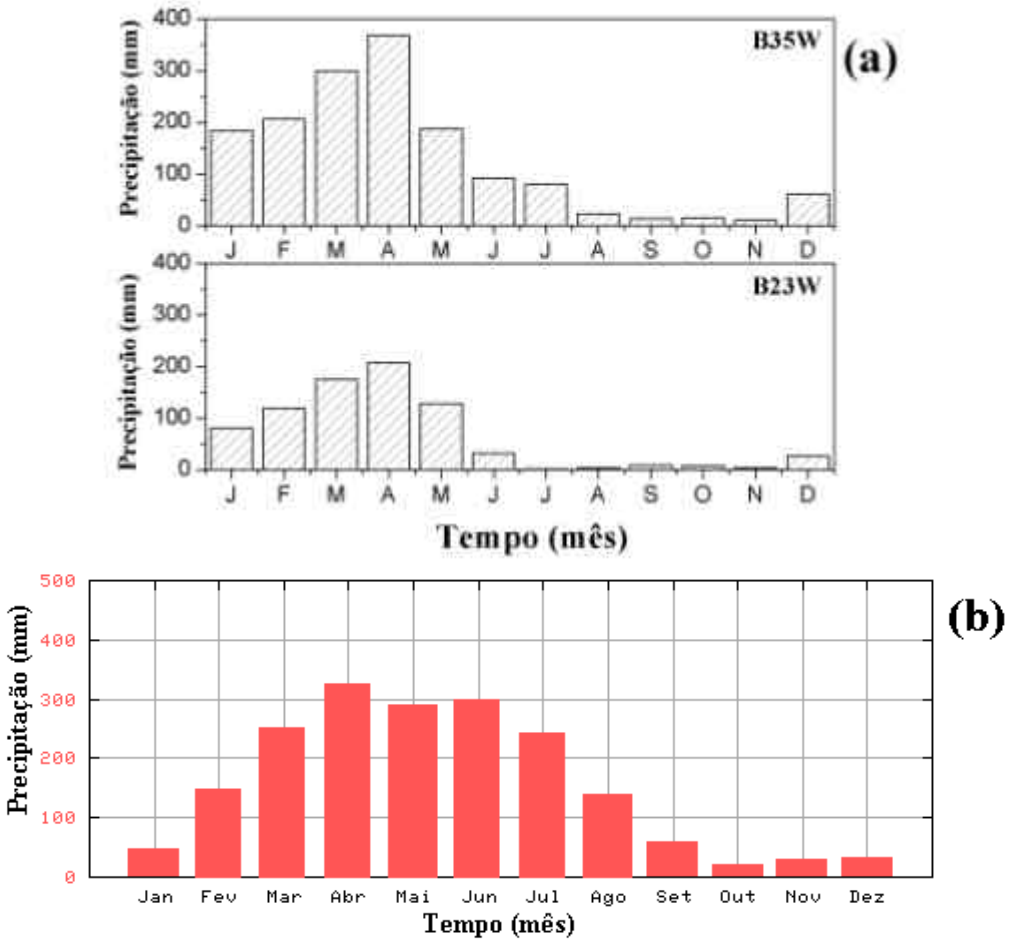

Figura 3.2.2: (a) Precipitação acumulada mensal para as bóias Pirata. **(b)** Precipitação acumulada mensal da cidade de Natal (fonte INMET).

A climatologia das chuvas da cidade de Natal não é muito distinta da climatologia sobre o oceano, tendo seu mês mais chuvoso em abril com cerca de 320 mm $mês^{-1}$, ficando entre a B23W e a B35W que apresentam máximos também em abril de, respectivamente, 207 mm $mês^{-1}$ e 367 mm $mês^{-1}$.O período chuvoso nas regiões ocorre quando a ZCIT está na sua posição mais ao sul.

3.2.3. Umidade relativa do ar

Como esperado, há uma diferença importante entre os valores de umidade relativa do ar sobre o oceano e sobre Natal (figura 3.2.3). Sobre o oceano praticamente não se verifica um ciclo sazonal bem definido, exceto na B35W onde há uma tendência da umidade relativa diminuir no meio do ano.

Natal, por sua vez, apresenta um ciclo sazonal bem definido de umidade relativa sendo que os meses de menor valor ocorrem entre setembro e fevereiro (figura 3.2.3 b).

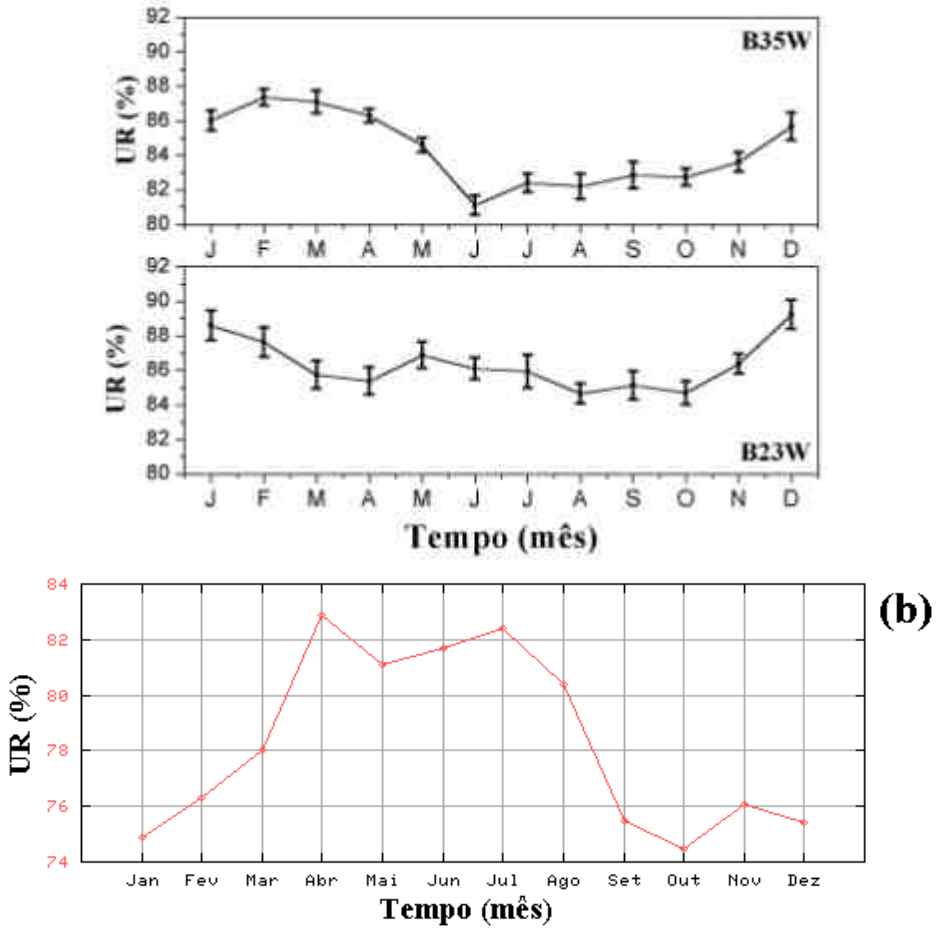

Figura 3.2.3: (a) Média mensal da umidade relativa do ar para as bóias Pirata. As barras verticais indicam o erro estatístico. **(b)** Climatologia mensal da umidade relativa do ar da cidade de Natal (fonte INMET).

3.2.4 Intensidade e direção do vento

A seguir são mostrados os gráficos da intensidade e direção do vento, obtidos utilizando os dados das bóias Pirata.

3.2.4.a. Intensidade do vento

Como verificado anteriormente (figura 3.1.8), a intensidade do vento apresenta um ciclo sazonal bem definido durante o ano (figura 3.2.4), com ventos mais calmos no início do ano, de janeiro a abril, na região das duas bóias e intensidade máxima entre agosto e setembro na B35W e em novembro na B23W (valores na tabela 3.1). Comparativamente, os ventos apresentam maior intensidade na B35W.

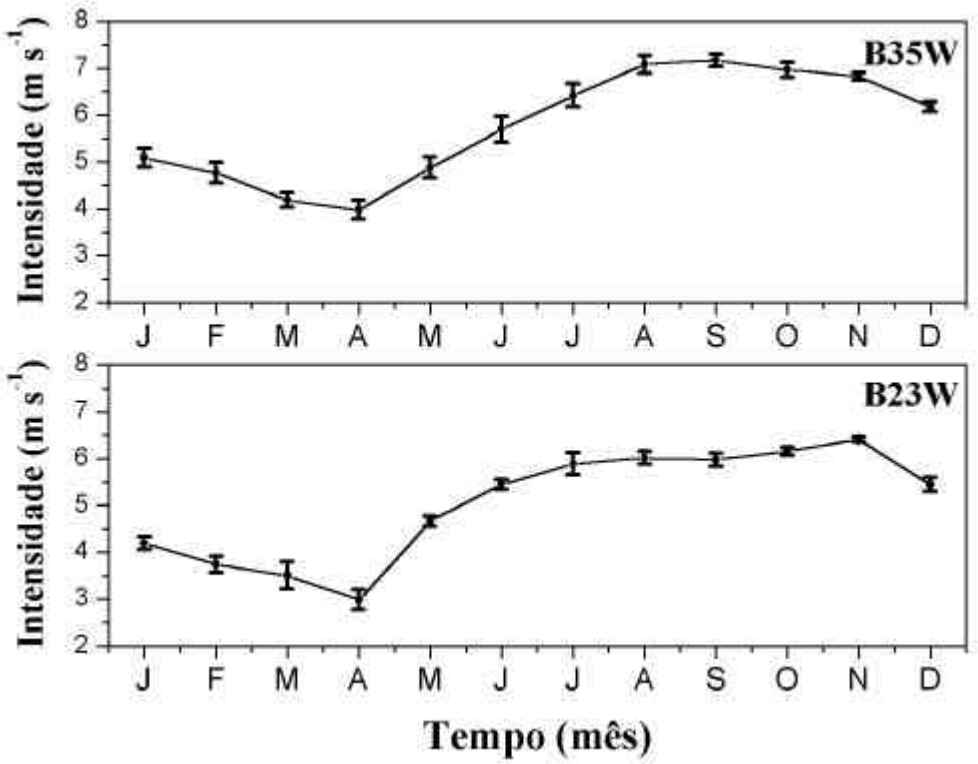

Figura 3.2.4: Intensidade média mensal do vento para as bóias Pirata. As barras verticais indicam o erro estatístico.

3.2.4.b.Direção do Vento

A direção do vento em ambas as regiões, B35W e B23W, possuem componente de leste ($0°<\alpha<180°$) durante o ano todo (figura 3.2.5) devido à influência constante dos ventos alíseos na região, como já comentado anteriormente. A B35W possui maior variação durante os meses de fevereiro e abril, enquanto que a B23W apresenta ventos sempre de sudeste.

O vento nas regiões das bóias é mais intenso coincidentemente quando a componente direcional de sul é mais influente (figuras 3.2.4 , 3.2.5 e tabela 3.1).

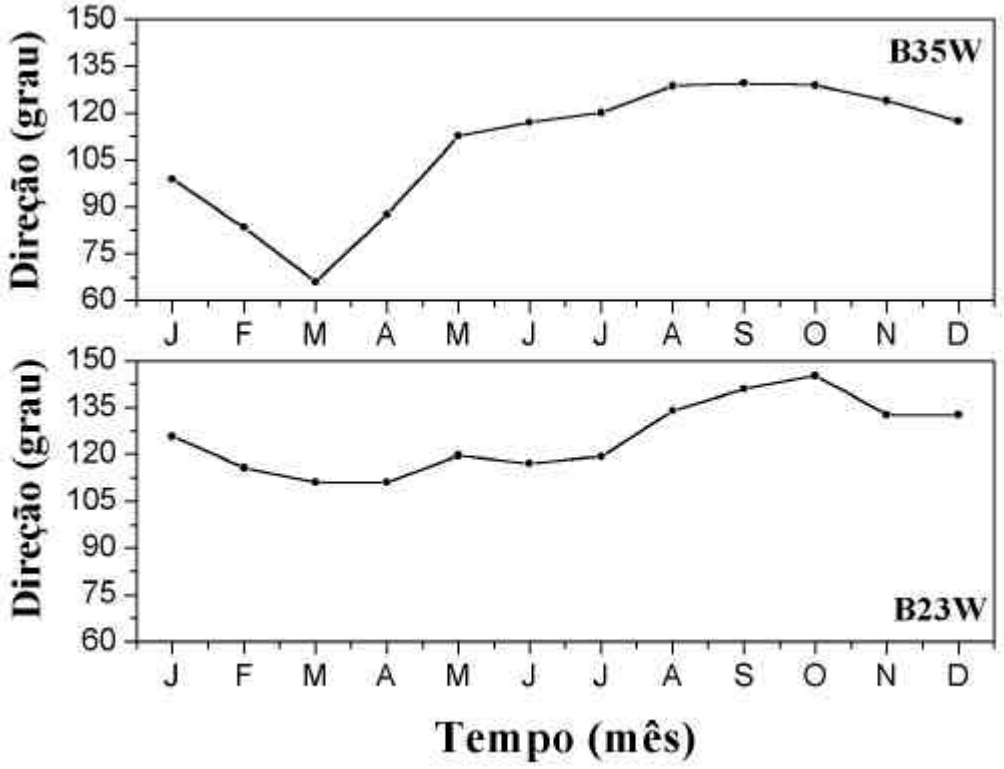

Figura 3.2.5: Direção média mensal do vento para as bóias Pirata.

5. Conclusão

A região investigada do Oceano Atlântico Equatorial apresenta características meteorológicas bem definidas.

Os resultados mostram que a temperatura do ar é, em geral, inferior à do mar, sendo que a diferença raramente ultrapassa 1°C (em geral no mês de abril), indicando que o sentido do fluxo vertical turbulento de calor sensível é predominantemente do oceano para a atmosfera.

As temperaturas do ar e do mar apresentam um ciclo sazonal semelhante e em fase, onde as maiores temperaturas ocorrem entre abril e maio, alcançando valores mínimos entre julho e setembro.

Comparada com as médias mensais da cidade de Natal, a temperatura do ar sobre o oceano, conforme esperado, apresenta uma variação sazonal mais suave.

O período chuvoso na região ocorre também nos primeiros meses do ano, sendo que o maior valor da precipitação mensal acumulada é verificado em abril. O padrão da precipitação mensal acumulada na cidade de Natal não diferi muito do padrão sobre o oceano. Em todos os lugares investigados o período chuvoso ocorre quando a ZCIT se encontra em sua posição mais ao sul.

Conforme esperado, a umidade relativa do ar sobre o oceano não apresenta um ciclo sazonal bem definido, ao contrário de Natal, onde os valores menos úmidos estão entre os meses de setembro e janeiro.

A intensidade do vento nas regiões estudadas não varia muito, sendo ligeiramente menor de janeiro a abril aumentando no restante do ano. A direção do vento é predominantemente de sudeste, exceto entre fevereiro e abril quando a média mensal apresenta componente de nordeste na B35W.

Em resumo, estima-se que a região do ASPSP possua características climáticas semelhantes aos locais estudados neste trabalho. Constata-se que a região investigada sofre influência da ZCIT. Nos primeiros meses do ano, quando a ZCIT se encontra em sua posição mais ao sul, as chuvas são mais intensas, os ventos menos intensos e a direção do vento apresenta maior variação. Durante este período a temperaturas do ar e do mar apresentam valores mais elevados.

6. Referências

Arnault S. and R.E. Cheney, 1994, Tropical Atlantic sea level variability from GEOSAT (1985-1989). *J. Geophys. Res.*, **99**, C9, 18207-18224.

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 ITCZ 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.

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 drougths 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*.

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.

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.

7. Outras atividades

A seguir são mostradas outras atividades acadêmicas realizadas no segundo semestre de 2005.

7.1. Disciplinas cursadas

- Agrometeorologia
- Cálculo diferencial e integral IV
- Dinâmica da Meteorologia I
- Meteorologia por satélite

7.2 Atividades com o grupo de micrometeorologia

Presença em seminários semanais do grupo incluindo apresentação em *Data Show* sobre o andamento do projeto de pesquisa (anexo II).

8. Etapas Futuras

Pretende-se no próximo período investigar a interação oceano-atmosfera na região estudada. Para isso serão estimados, de diferentes formas, os fluxos verticais turbulentos de calor sensível, calor latente e momento. Pretende-se também comparar os resultados estimados com os fluxos turbulentos disponíveis de diferentes fontes de dados.