Relatório de Atividades

Balanço de Radiação na Superfície do Oceano Atlântico

Sarasvati de Araújo Bacellar

Orientador : Profº Dr. Amauri P. de Oliveira

Período: 12/07/2002 a 23/05/2003

Grupo de Micrometeorologia
Departamento de Ciências Atmosféricas IAG-USP

Maio de 2003

Índice

Item		Pág.
	Resumo	**8**
1	**Introdução**	**9**
2	**Descrição das observações**	**14**
3	**Metodologia**	**18**
3.1	**Cálculo da posição do navio**	**19**
3.2	**Cálculo do vento**	**22**
3.3	**Cálculo da umidade especifica do ar**	**25**
3.4	**Cálculo das componentes de radiação na superfície do mar**	**28**
3.5	**Albedo, emissividade da superfície e transmissividade da atmosfera**	**33**
3.6	**Balanço de radiação na superfície**	**41**
4	**Conclusões**	**45**
5	**Agradecimentos**	**46**
6	**Referências**	**47**
7	**Apêndice A: Evolução dia a dia**	**48**
8	**Apêndice B: Programa ANALISE_NAVIO.FOR**	**69**

Figuras e Gráficos

Item	Descrição	Pág.
1	Arquipélago São Pedro e São Paulo (posição geográfica)	10
2	Trajetória descrita pelo navio	10
3	Foto do navio	12
4	Fotos dos sensores no navio	12
5	Esquema dos equipamentos no navio	13
6	Distância, velocidade e direção percorridas pelo navio	21
7	Componentes da velocidade do ar em relação à superfície e ao navio	23
8	Temperatura do ar e do mar	23
9	Umidade específica e pressão de vapor	26
10	Onda Longa da superfície e da atmosfera	29
11	Onda Curta refletida e incidente	31
12	Albedo da superfície	34
13	Transmissividade da atmosfera	35
14	Emissividade da superfície	36
15	Albedo médio da superfície	37
16	Transmissividade média da atmosfera	37
17	Distribuição de freqüência da emissividade	38
18	Radiação líquida	41

Tabelas

Item	Descrição	Pág.
1	Instrumentos	15
2	Parâmetros observados	15
3	Formato do arquivo NAVIO_OBS.DAT	16
4	Formato do arquivo NAVIO_POS.DAT	17
5	Formato do arquivo NAVIO_VEL.DAT	21
6	Formato do arquivo NAVIO_VENTO.DAT	24
7	Formato do arquivo NAVIO_UMIDADE.DAT	27
8	Constantes para declinação solar	32
9	Formato do arquivo NAVIO_SOL.DAT	39
10	Formato do arquivo NAVIO_ALBEDO_MÉDIO.DAT	40
11	Formato do arquivo NAVIO_TUDO.DAT	42

Símbolos

Símbolo	Descrição	Unidades
XP	**Longitude**	**km**
LONG	**Longitude**	**rad**
R	**Raio da Terra**	**km**
YP	**Latitude**	**km**
LAT	**Latitude**	**rad**
D	**Dia do ano**	**-**
d^{n}_{NS}	**Distância percorrida**	**km**
α^{n}_{NS}	**Ângulo formado pelo vetor deslocamento**	**graus**
$\vec{V}^{n}_{NS}$	**Velocidade do navio em relação à superfície**	**ms^{-1}**
u^{n}_{NS}	**Componente zonal da velocidade do navio em ralação à superfície**	**ms^{-1}**
v^{n}_{NS}	**Componente meridional da velocidade do navio em ralação à superfície**	**ms^{-1}**
u_{AN}	**Componente zonal da velocidade do ar em relação ao navio**	**ms^{-1}**
v_{AN}	**Componente meridional da velocidade do ar em relação ao navio**	**ms^{-1}**
u'_{AN}	**Componente zonal do ar na direção perpendicular ao navio**	**ms^{-1}**
v'_{AN}	**Componente meridional do ar na direção paralela ao navio**	**ms^{-1}**
u_{AS}	**Componente zonal do ar em relação à superfície**	**ms^{-1}**
v_{AS}	**Componente meridional do ar em relação à superfície**	**ms^{-1}**

Símbolos

Símbolo	Descrição	Unidades
q	**Umidade específica**	**g kg^{-1}**
ε	**Razão entre a constante do ar seco e do vapor de água**	**0,622**
E	**Pressão de vapor do ar estimada a partir da (UR) e (e_s)**	**mb**
P	**Pressão atmosférica**	**mb**
e_S	**Pressão de vapor de saturação na temperatura do ar**	**mb**
T	**Temperatura do ar**	**°C**
OL ↓	**Onda longa incidente na superfície (proveniente da atmosfera)**	**W m^{-2}**
A	**Constante usada na Expressão Brunt**	**0,52**
B	**Constante usada na Expressão Brunt**	**0,064**
ε_o	**Emissividade da superfície do mar**	**0,97**
Ts	**Temperatura da superfície do mar**	**°C**
OL ↑	**Onda longa refletida pela superfície**	**W m^{-2}**
$OC\downarrow_h$	**Onda curta (radiação solar incidente na superfície)**	**W m^{-2}**
I_0	**Constante solar corrigida para o efeito da variação da distância Terra-Sol em função da época do ano**	**W m^{-2}**
Z	**Ângulo zenital do Sol**	**graus**
Γ	**Transmissividade da atmosfera local**	**-**
D	**Distância entre a Terra e o Sol**	**km**
$\overline{D}$	**Distância média entre a Terra e o Sol**	**km**
$I_0(\overline{D})$	**Valor da constante solar observado quando a distância média entre a Terra e o Sol**	**1365 W m^{-2}**

Símbolos

Símbolo	Descrição	Unidades
ϕ	**Latitude local**	**graus**
δ	**Ângulo de declinação do Sol**	**graus**
h	**Ângulo horário do Sol**	**hora**
η	$2\pi d^{*}/365$	**rad**
d^{*}	**Dia Juliano simplificado**	**-**
t_A	**Hora local aparente**	**h**
t_P	**Hora local padrão**	**h**
C_λ	**Correção da longitude**	**min**
E_T	**Equação do tempo**	**min**
λ_P	**Longitude padrão**	45^0
$\alpha_{o\,OBS}$	**Albedo observado**	**-**
$OC\uparrow_{OBS}$	**Onda curta refletida observada na superfície**	**W m^{-2}**
$OC\downarrow_{OBS}$	**Onda curta incidente observada na superfície**	**W m^{-2}**
ASPSP	**Arquipélago São Pedro e São Paulo**	**-**
Γ_{OBS}	**Transmissividade observada da atmosfera**	**-**
$OC\downarrow_{TOPO}$	**Onda curta incidente no topo da atmosfera**	**W m^{-2}**
Γ	**Transmissividade da atmosfera**	**-**
σ_{NA}	**Frações de céu coberto por nuvens altas**	**-**
σ_{NM}	**Frações de céu coberto por nuvens médias**	**-**

Símbolos

Símbolo	Descrição	Unidades
σ_{NB}	**Frações de céu coberto por nuvens baixas**	**-**
Γ_1	**Constantes usadas no cálculo da transmissividade determinadas empiricamente**	**0,5**
Γ_2	**Constantes usadas no cálculo da transmissividade determinada empiricamente**	**0,2**
a_{NA}	**Constantes usadas no cálculo da transmissividade determinada empiricamente**	**-**
a_{NM}	**Constantes usadas no cálculo da transmissividade determinada empiricamente**	**-**
a_{NB}	**Constantes usadas no cálculo da transmissividade determinada empiricamente**	**-**
α	**Albedo da superfície do mar**	**-**
r	**Ângulo de refração**	**rad**
n	**Índice de refração da água**	**1,33**
Rn	**Radiação líquida**	**W m^{-2}**

Resumo

Neste trabalho é analisada a evolução diurna das componentes do balanço de radiação na superfície sobre o Oceano Atlântico. Esta análise está baseada nas observações de radiação feitas a bordo do navio *Comte Manhães*, da Marinha Brasileira, através de um saldo-radiômetro modelo CNR1, da Kipp-Zonen, instalado a 6 metros acima da superfície. Estas observações fazem parte da campanha de medidas do Projeto FluTuA (Fluxos Turbulentos sobre o Oceano Atlântico), realizada entre 14 e 23 de maio de 2002, entre Natal, RN (6,0°S 35,2°W) e o Arquipélago São Pedro e São Paulo (1,0°N 29,3°W). Os dados de radiação solar permitiram calcular o albedo da superfície e a transmissividade da atmosfera. Através da emissão de onda longa da superfície e da temperatura da água do mar foi possível estimar a emissividade do mar. O albedo da superfície apresentou uma variação diurna muito similar ao albedo de Fresnel. A emissividade média da superfície foi igual a 0,97. A radiação líquida estimada a partir do albedo de Fresnel, da transmissividade da atmosfera e da emissividade da superfície apresenta uma excelente concordância com a radiação líquida observada, indicando que estes parâmetros são representativos das propriedades radiométricas da interface oceano-atmosfera na região do Atlântico Equatorial entre a costa do Brasil e o Arquipélago São Pedro e São Paulo.

1. Introdução

O Brasil apresenta uma grande área costeira, que se estende sobre o oceano Atlântico abrangendo o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPS), na região equatorial, e a Ilha de Trindade mais a sul (Fig. 1).

Apesar da sua grande importância para a previsão de tempo e clima no Brasil, muito pouco é conhecido a respeito das interações na interface oceano – atmosfera, principalmente na escala de tempo pequena. Como resultado, as discrepâncias entre os modelos climáticos, encontrados por todo o mundo, são particularmente importantes sobre: as regiões tropicais e subtropicais do Oceano Atlântico no Hemisfério Sul (Wainer *et a*, 2003).

O projeto FluTuA tem como objetivo investigar a interação entre o oceano e a atmosfera sobre o Oceano Atlântico tropical e a atmosfera, através da realização de observações dos fluxos de energia, massa e momento na camada limite superficial (Soares *et al*, 2001).

Como parte do programa FluTuA, durante o período de 15 a 24 de Maio de 2002, foram realizadas observações contínuas de parâmetros meteorológicos, entre Natal, RN (6,0°S 35,2°W) e o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (1,0°N 29,3°W) (Figs. 2a, 2b e 2c).

As observações forma realizadas a bordo do navio da marinha brasileira *Comte Manhães*, (Figs. 3, 4 e 5).

O objetivo deste relatório é descrever:

(a) Organização e o tratamento dos dados coletados durante o experimento;

(b) Evolução temporal das componentes do balanço de radiação;

(c) Evolução temporal dos demais parâmetros meteorológicos observados durante a campanha de medidas.

Este relatório faz parte do projeto de pesquisa de Iniciação Científica.

Figura 1: Distribuição geográfica do Arquipélago de São Pedro e São Paulo.

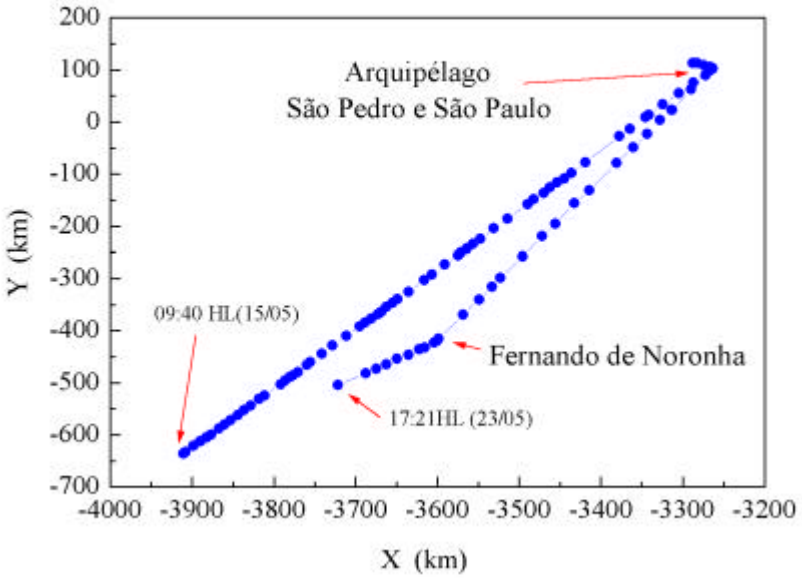


Figura 2a: Trajetória descrita pelo navio *Comte Manhães* durante a missão de maio de 2002. Observações meteorológicas iniciaram no dia 15 de maio de 2002, dia do ano 135, às 09:40 hora local (HL) e encerram no dia 23 de maio, dia do ano 143, as 17:21 HL.

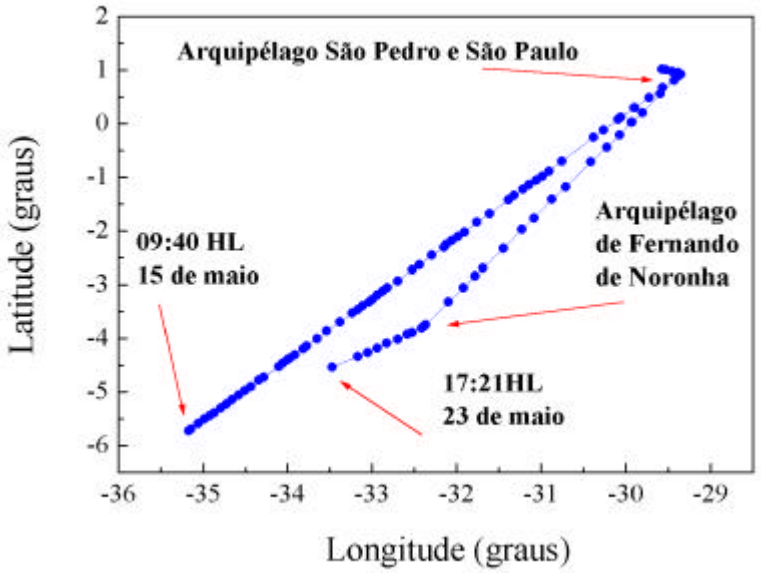


Figura 2b: Trajetória descrita pelo navio *Comte Manhães* durante a missão de maio de 2002 em termos de latitude e longitude.

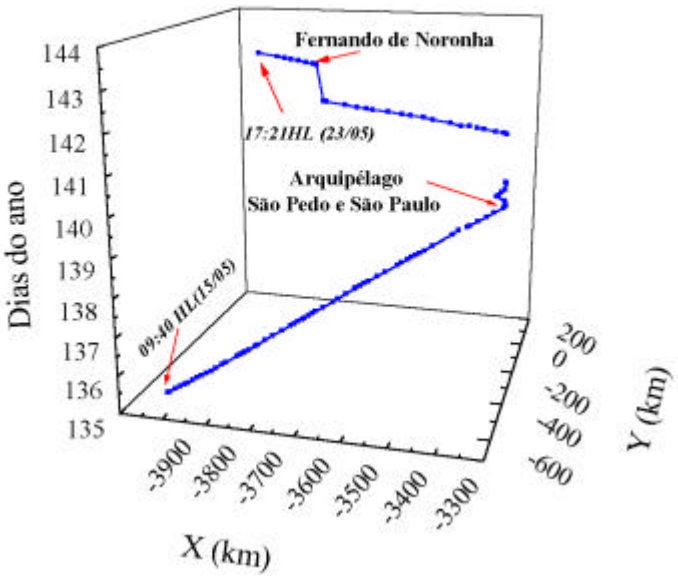


Figura 2c: Trajetória descrita pelo navio *Comte Manhães* durante a missão de maio de 2002, em termos de latitude e longitude em km e em função do tempo.

Figura 3: Foto do navio *Comte Manhães* (Folder do programa pró-arquipélago).

Figura 4a: Foto dos sensores de radiação instalados na proa do navio *Comte Manhães*.

Figura 4b: Foto dos sensores de vento e de temperatura e umidade relativa do ar, instalados à bordo do navio *Comte Manhães*.

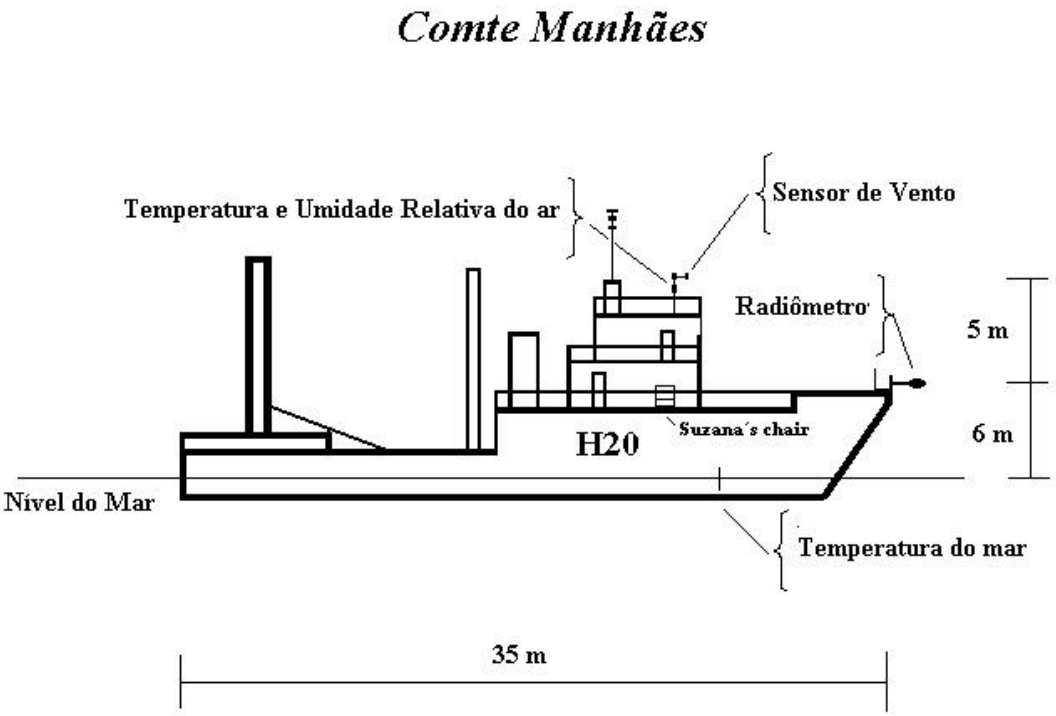


Figura 5: Representação esquemática dos equipamentos instalados no navio *Comte Manhães*.

2. Descrição das Observações

No navio foram instalados sensores de velocidade de vento, temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação e de temperatura da água. As características de cada sensor são descritas (Tabela 1). Todos os sensores foram conectados a um sistema de aquisição de dados modelo 21X, da Campbell Inc. As observações foram feitas com uma freqüência de amostragem igual a 0,2Hz para todos os sensores. Os dados foram armazenados na forma de valores médios em intervalos de 5 minutos.

Os sensores de radiação líquida foram colocados na frente da embarcação a aproximadamente 1 metro de distância do barco, e a 6 metros da superfície do mar (Fig. 4a). Os sensores de temperatura do ar e a umidade relativa foram instalados na parte superior do navio, próximos aos sensores de vento a 11 metros acima da superfície (Fig.4b).

Dois anemômetros foram colocados numa altura de 4 metros, a contar do chão da embarcação, e a 11 metros, acima da superfície do mar (Fig. 4b). Os anemômetros foram orientados na direção paralela e perpendicular à direção do navio (Fig. 4b). Uma descrição completa da disposição dos instrumentos pode ser observada Fig. 5.

A posição do navio foi obtida através do sistema de GPS do navio. A trajetória calculada a partir dos valores de latitude e longitude é apresentada nas Figuras 2a, 2b e 2c. Estas informações foram usadas para estimar a velocidade e orientação do navio.

Os dados coletados durante a campanha de observação foram armazenados no arquivo NAVIO_OBS.DAT, cujo o formato é descrito na tabela 3. A posição do navio foi armazenada no arquivo NAVIO_POS.DAT (Tabela 4).

Tabela 1. Instrumentos usados na missão de maio de 2002.		
Sensor	**Fabricante**	**Acurácia**
Radiômetro Líquido (CNR 1)	Kipp e Zonen	2,5 %
Anemômetro de hélice (27106)	R.M.Yong	0,1ºC e 2 %
Temperatura e umidade relativa do ar (HMP45C)	Vaisäla	+-0,1ºC
Temperatura da água (107)	Vaisäla	+-0,1ºC

Tabela 2. Parâmetros observados na missão de maio de 2002.	
Parâmetro	**Nível (m)**
Temperatura do ar	11
Umidade relativa do ar	11
Componente horizontal do vento perpendicular ao navio	11
Componente horizontal paralela ao navio	11
Radiação de onda longa emitida pela atmosfera	6
Radiação de onda longa emitida pela superfície	6
Radiação de onda curta incidente	6
Radiação de onda curta refletida pela superfície	6
Temperatura da superfície do mar	0

Tabela 3. Formato do arquivo NAVIO_OBS.DAT

Coluna	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Nome da variável no programa	DJ_O	GLOBAL	REFLETIDA	D1	E
Descrição da variável	Dia juliano decimal	Radiação global	Radiação refletida	-	-
Exemplo	134.7187	2.2839	1.2599	-47.4399	0.0040
Coluna	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Nome da variável no programa	TAR	UR	COMPV	COMPU	OL_ATM
Descrição da variável	Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa (%)	Componente V do vento ($m.s^{-1}$)	Componente U do vento ($m.s^{-1}$)	Onda longa na atmosfera
Exemplo	28.2000	70.4000	2.1749	-1.6480	497.2999
Coluna	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
Nome da variável no programa	OL_SUP	TAGUA	N	O	P
Descrição da variável	Onda longa na superfície ($W\ m^{-2}$)	Temp.da água (°C)	Temp.do instrumento (°C)	Temp.do instrumento (K)	-
Exemplo	544.7000	27.9599	-99999.0000	-99999.0000	17.2500
Coluna	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Nome da variável no programa	DJ2	VEL	OL_ATM_C	OL_SUP_C	E_VAPOR
Descrição da variável	Dia Juliano	Velocidade do vento ($m\ s^{-1}$)	Onda longa da atmosfera corrigida ($W\ m^{-2}$)	Onda longa da superfície corrigida ($W\ m^{-2}$)	Pressão de vapor (hPa)
Exemplo	134.0000	2.7288	407.2999	454.7000	26.9195
Coluna	**21**	**22**	**23**	**24**	
Nome da variável no programa	R_MIST	OL_SUP_BOLTZ	OL_ATM_BRUNT	RN	
Descrição da variável	Razão de mistura ($g\ kg^{-1}$)	Onda Longa estimada para a superfície ($W\ m^{-2}$)	Onda Longa estimada para a atmosfera ($W\ m^{-2}$)	Radiação Líquida ($W\ m^{-2}$)	
Exemplo	17.0321	465.1769	416.2899	-48.42399	

Tabela 4: Formato do arquivo NAVIO_POS.DAT					
Coluna	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Nome da variável no programa	DJ	HORA	XP	YP	DJ_P
Descrição da variável	Dia do ano	Hora local (hhmm)	Longitude (km)	Latitude (km)	Dia do ano fracionado
Exemplo	135.0000	940.0000	-3910.0500	-636.4910	135.4027

3. Metodologia

A metodologia utilizada para a análise dos dados obtidos pelos instrumentos instalados no navio *Comte Manhães*, para dados de superfícies (mar) e de atmosfera (11m) são apresentadas nesta seção.

Os dados analisados neste relatório estão baseados nos dados coletados pelo sistema de aquisição e os coletados manualmente, a partir das leituras da posição do navio no GPS. Estes dados foram organizados em dois arquivos. O primeiro foi denominado NAVIO_OBS.DAT e descreve dados meteorológicos, em bruto, coletados durante a viagem em função do tempo representado pelo dia do ano (Tabela 3). O segundo foi denominado NAVIO_POS.DAT e descreve a posição do navio em função do tempo representado pela hora local de Brasília e pelo dia do ano (Tabela 4).

Estes dados em bruto foram verificados visualmente através de gráficos preliminares relacionando o dia do ano com as variáveis meteorológicas apresentadas na tabela 2, para ter uma noção do comportamento geral das observações.

Esta analise visual permitiu a remoção de dados com problemas e serviu de base para a realização do programa ANALISA_NAVIO como entrada neste programa usamos os arquivos NAVIO_POS.DAT e NAVIO_OBS.DAT. O primeiro arquivo foi utilizado para o cálculo da posição e velocidade do navio, necessários para a determinação do vento horizontal. O segundo foi utilizado para sincronização dos dados observados em relação a posição do navio (calculado através do primeiro arquivo), e para o cálculo de outras variáveis tais como umidade especifica do ar, radiação, albedo, emissividade da superfície, transmissividade da atmosfera, etc. Uma cópia do programa em Fortran pode ser encontrada no apêndice B. Neste relatório serão descritos todos os cálculos realizados no programa ANALISA_NAVIO.FOR.

3.1 Cálculo da posição do navio

A posição do navio foi determinada durante a viagem a partir sistema GPS do navio que forneceu valores de latitude e longitude. A posição do navio no sistema de coordenadas cartesianas foi determinada a partir da posição do navio em latitude e longitude através das seguintes expressões:

$$XP = LONG\left(\frac{\pi R}{180}\right) \quad (01)$$

$$YP = LAT\left(\frac{\pi R}{180}\right) \quad (02)$$

Sendo LAT e LONG indicam os valores da latitude e longitude do navio em graus e R o raio médio da Terra (6370 km).

Os dados de latitude e longitude foram coletados em diferentes horas do dia durante o experimento, utilizando a hora local de Natal. Utilizando o sistema de calendário Juliano simplificado (dia do ano) foi utilizado para determinar a posição do navio em quilômetros em função do dia do ano (D). Estas informações foram digitadas no arquivo NAVIO_POS.DAT (Tabela 4). A trajetória do navio durante o experimento esta representada nas Figuras 2a, 2b e 2c.

A distância percorrida pelo navio entre duas observações de latitude e longitude pelo GPS foi calculado através da seguinte relação:

$$d_{NS}^{n} = \sqrt{\left(XP^{n+1} - XP^{n}\right)^2 + \left(YP^{n+1} - YP^{n}\right)^2} \quad (3)$$

Sendo XP^{n+1} e XP^{n} e YP^{n+1} e YP^{n} correspondem a longitude e latitude do navio no instantes D^{n+1} e D^{n}.

A direção de deslocamento do navio pode estimada, em termos do ângulo formado pelo vetor deslocamento do navio e a direção zonal de acordo a seguinte expressão:

$$\alpha_{NS}^{n} = \arctan\left[\frac{\left(YP^{n+1} - YP^{n}\right)}{\left(XP^{n+1} - XP^{n}\right)}\right] \tag{4}$$

A velocidade do navio em relação a superfície foi estimada a partir da posição do navio através da seguinte expressão:

$$\vec{V}_{NS}^{n} = u_{NS}^{n}\,\vec{i} + v_{NS}^{n}\vec{j} \tag{5}$$

Sendo

$$u_{NS}^{n} = \frac{XP^{n+1} - XP^{n}}{D^{n+1} - D^{n}} \tag{6}$$

e

$$v_{NS}^{n} = \frac{YP^{n+1} - YP^{n}}{D^{n+1} - D^{n}} \tag{7}$$

as componentes na direção zonal e meridional entre os instantes D^{n+1} e D^{n}. As componentes da velocidade do navio u_{NS}^{n} e v_{NS}^{n} foram atribuídas ao tempo D^{n}.

Os dados contendo o deslocamento, orientação e as componentes da velocidade do navio em relação a superfície são armazenados no arquivo NAVIO_VEL.DAT (Tabela 5). Nas figuras 6 e A1 (Apêndice A) são apresentadas: a evolução temporal da direção, a velocidade e a distância percorrida pelo navio durante o experimento.

Tabela 5: Formato do arquivo NAVIO_VEL.DAT					
Coluna	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Nome da variável no programa	DJ_P	D	V	A	VNS
Descrição da variável	Dia do ano fracionado	Distância entre o último ponto	Velocidade do navio	Ângulo entre a trajetória e o navio	Componente v da velocidade do navio
Exemplo	135.4027	4.3693	13.1079	55.0747	2.0845
Coluna	**6**				
Nome da variável no programa	UNS				
Descrição da variável	Componente u da velocidade do navio				
Exemplo	2.9853				

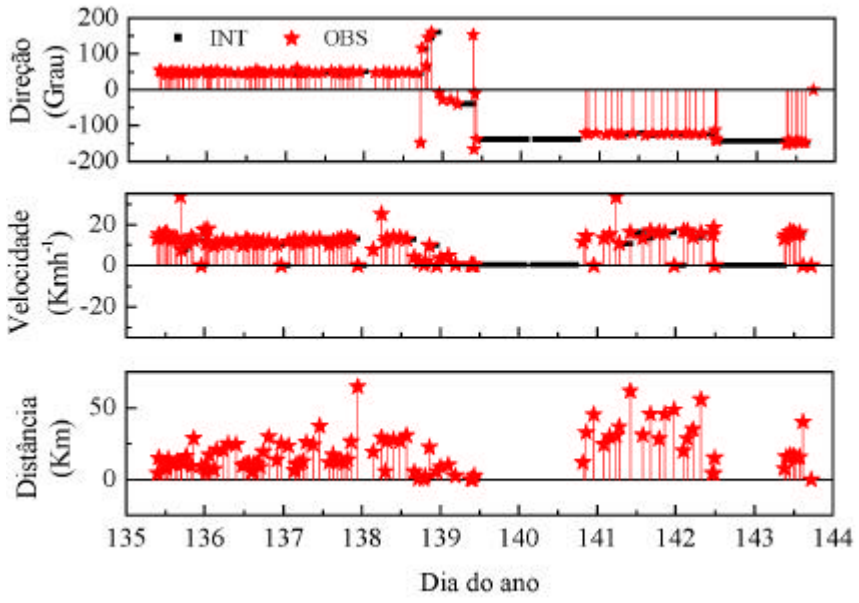


Figura 6: Evolução temporal da direção, velocidade e distância percorrida pelo navio durante toda o período de observação da missão de maio de 2002.

3.2 Cálculo do vento

A velocidade e a direção do vento em relação à superfície foi calculada a partir da velocidade e direção do vento observado no navio levando-se em conta a orientação e o movimento do navio.

A orientação do navio foi levada em conta através da seguinte expressão:

$$u_{AN} = u'_{AN} \cos \alpha_{NS} - v'_{AN} \sin \alpha_{NS} \tag{8}$$

$$v_{AN} = u'_{AN} \sin \alpha_{NS} + v'_{AN} \cos \alpha_{NS} \tag{9}$$

Sendo u'_{AN} e v'_{AN}, respectivamente, as componentes do vento na direção perpendicular e paralela ao navio medidas pelo anemômetro, α_{NS} é o ângulo de orientação do navio.

A velocidade do ar em relação à superfície é estimada em função da velocidade do navio em relação a superfície de acordo com as seguintes expressões:

$$u_{AS} = u_{AN} + u_{NS} \tag{10}$$

$$v_{AS} = v_{AN} + v_{NS} \tag{11}$$

A evolução das componentes do vento, em relação ao navio e à superfície, é indicada nas figuras 7 e A2 (Apêndice A). Nestas figuras são também indicadas as componentes da velocidade do navio em relação à superfície.

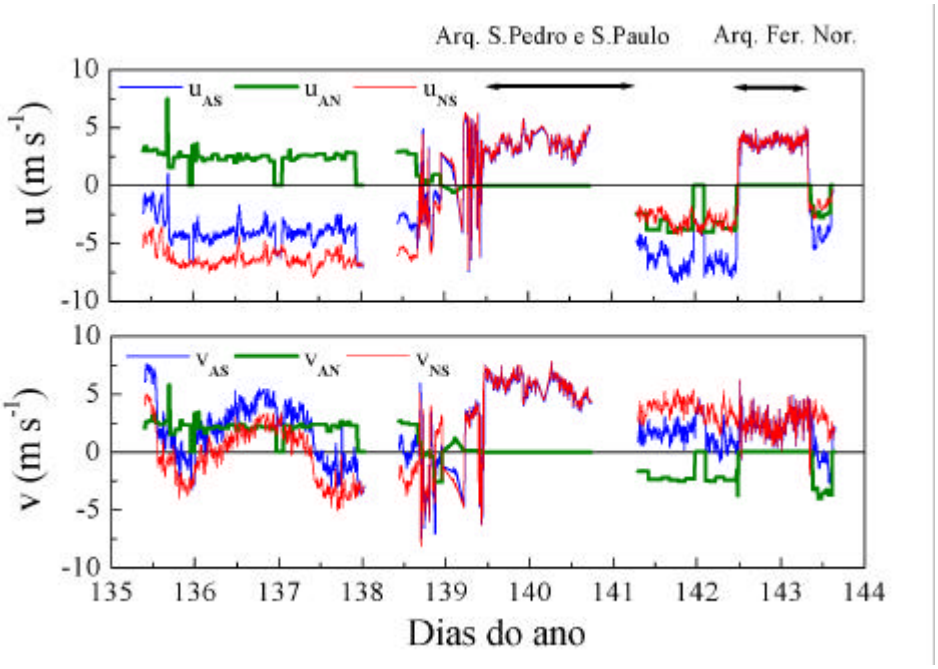


Figura 7: Evolução temporal das componentes na direção zonal (u) e meridional (v) do movimento do ar em relação à superfície (u_{AS} e v_{AS}), em relação ao navio (u_{AN} e v_{AN}) e do navio em relação à superfície (u_{NS} e v_{NS}) observados durante a missão de maio de 2002.

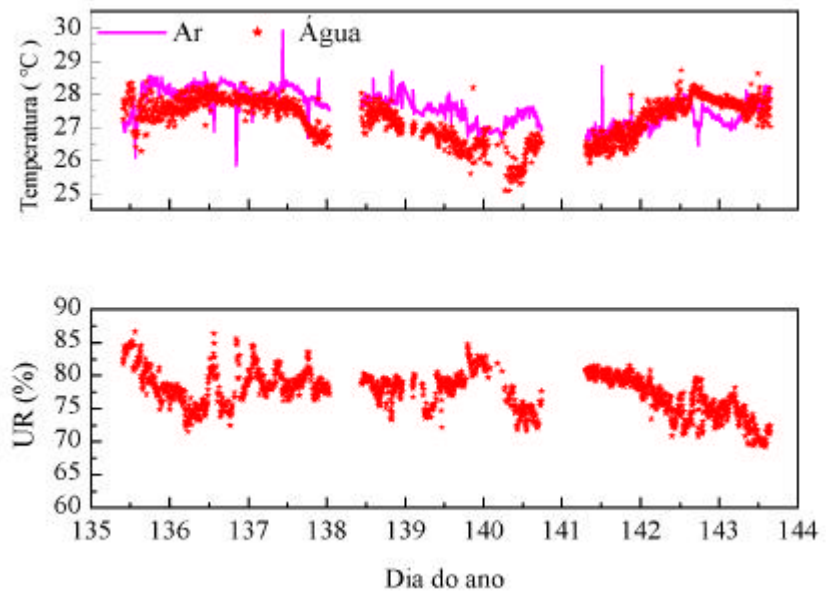


Figura 8: Evolução temporal da temperatura do ar, temperatura da superfície do mar e da umidade relativa do ar a 11 m observados durante a missão de maio de 2002.

Deve ser ressaltado que os dados de posição do navio (Tabela 4) foram sincronizados com os dados dos parâmetros meteorológicos observados no navio (Tabela 3). Após esta sincronização os dados de vento descritos acima foram armazenados no arquivo NAVIO_VENTO.DAT (Tabela 6).

Tabela 6: Formato do arquivo NAVIO_VENTO.DAT

Coluna	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Nome da variável no programa	IP	IO	DJ_PIP	DJ_O	DJ_PIP1
Descrição da variável	Índice da posição do navio	Índice da observação	Dia do ano Posição i	Dia do ano da observação	Dia do ano na posição i + 1
Exemplo	1	211	135.4028	135.4062	135.4167
Coluna	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Nome da variável no programa	UAS	VAS	A	UAN	VAN
Descrição da variável	Componente u do ar em relação à superfície (mar)	Componente v do ar em relação à superfície (mar)	Ângulo do navio	Componente u do ar em relação ao navio	Componente u do ar em relação ao navio
Exemplo	-2.3978	6.1166	55.0747	-5.3831	4.0321
Coluna	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
Nome da variável no programa	UNS	VNS	VTAS	VTAN	VTNS
Descrição da variável	Componente u da velocidade do navio em relação a superfície	Componente v da velocidade do navio em relação à superfície	Velocidade total do ar em relação à superfície	Velocidade total do ar em relação ao navio	Velocidade total do navio em relação à superfície
Exemplo	2.9853	2.0846	6.5698	6.7257	3.6411
Coluna	**16**	**17**	**18**	**19**	
Nome da variável no programa	LAT	LONG	DIAJ	HORAL	
Descrição da variável	Latitude	Longitude	Dia do ano	Hora local	
Exemplo	0.0000	0.000 0	135.0000	9.7500	

3.3 Cálculo da Umidade Especifica do ar

A umidade específica do é definido como a razão entre a massa de vapor de ar e a massa do ar seco. Esta razão pode ser expressa como:

$$q = \varepsilon \frac{e}{p - (1-\varepsilon)e} \tag{12}$$

Sendo ε é a razão entre a constante do ar seco e do vapor de água (0.622), e é a pressão de vapor do ar e p é a pressão atmosférica.

A pressão de vapor do ar é estimada a partir da umidade relativa do ar (UR) e da pressão de vapor de saturação (e_s) através da seguinte relação:

$$e = \frac{UR}{100} e_S \tag{13}$$

Sendo e_S é a pressão de vapor de saturação na temperatura do ar. A pressão de vapor de saturação é uma função da temperatura de acordo com a seguinte expressão:

$$e_S = 6{,}1078 \left[10^{\left(\frac{7{,}5\,T}{237{,}3+T} \right)} \right] \tag{14}$$

Sendo T a temperatura do ar em graus Celsius e e_S é dado em milibares.

A expressão é conhecida como fórmula de Tetens e é valida para as condições onde a temperatura do ar é maior ou igual a 0°C (Vianello e Alves, 1991, pág. 58).

A umidade especifica do ar foi determinada para o nível de 11 metros e também para a superfície. Neste caso a temperatura do ar na superfície foi assumida igual à temperatura da superfície do mar e a umidade do ar na superfície foi assumida constante e igual a 100%. Os resultados destas estimativas foram armazenados no arquivo NAVIO_UMIDADE (Tabela 7).

Nas figuras 8 e A3 (Apêndice A) são apresentadas às evoluções temporais da temperatura da água e da temperatura e umidade relativa do ar a 11 metros. Nas figuras 9 e A4 (Apêndice A) são apresentadas às evoluções temporais da pressão de vapor e da umidade específica do ar na superfície e a 11 metros. Verifica-se na figura 8 que em boa parte da trajetória percorrida pelo navio a temperatura da superfície do oceano esteve mais baixa do que a temperatura do ar. A umidade específica e a pressão de vapor do ar na superfície encontraram-se sistematicamente maiores do que a 11 m da superfície (Fig. 9).

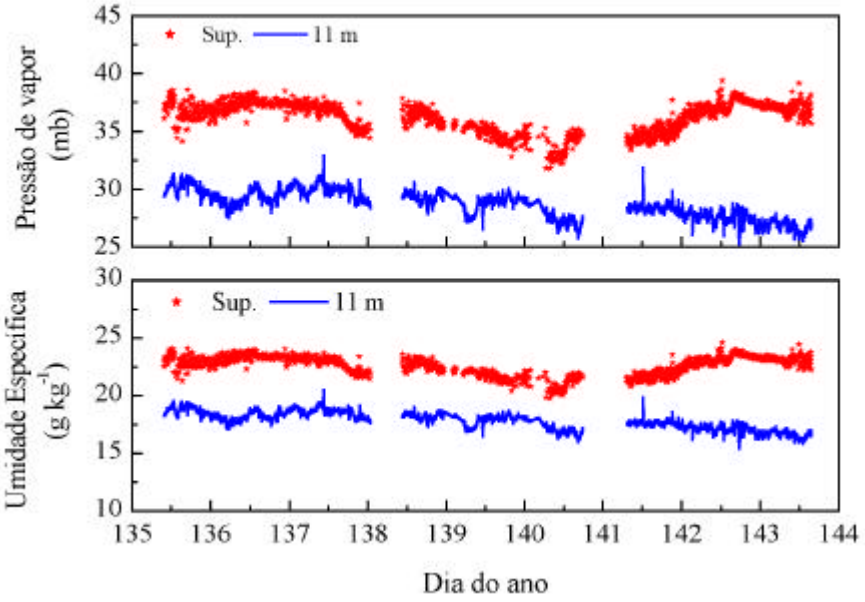


Figura 9: Evolução temporal da pressão de vapor e da umidade específica do ar no nível da superfície e a 11 m, observados durante a missão de maio de 2002.

Tabela 7: Formato do arquivo NAVIO_UMIDADE.DAT					
Coluna	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Nome da variável no programa	DJ_O	TAR	UR	TAGUA	PRES
Descrição da variável	Dia do ano decimal	Temperatura do ar	Umidade relativa	Temperatura da água	Pressão atmosférica média durante a viagem
Exemplo	135.41	27.120	81.800	27.230	1010.0
Coluna	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Nome da variável no programa	ES_00	EV_00	RQ_00	QQ_00	ES_11
Descrição da variável	Pressão de vapor de saturação em superfície (mb)	Pressão de vapor em superfície (mb)	Razão de mistura em superfície ($g\ kg^{-1}$)	Umidade específica em superfície ($g\ kg^{-1}$)	Pressão de vapor de saturação a 11 m (mb)
Exemplo	36.134	36.134	23.078	22.558	35.902
Coluna	**11**	**12**	**13**		
Nome da variável no programa	EV_11	RQ_11	QQ_11		
Descrição da variável	Pressão de vapor a 11m (mb)	Razão de mistura a 11m ($g\ kg^{-1}$)	Umidade específica a 11m ($g\ kg^{-1}$)		
Exemplo	29.368	18.627	18.287		

3.4 Cálculo das componentes de radiação na superfície do mar

A radiação de onda longa incidente na superfície do mar pode ser estimada através da expressão de Brunt:

$$OL\downarrow = \left(a + b\sqrt{e}\right)\sigma T^4 \qquad (15)$$

Sendo que a e b são iguais a 0,56 e 0,064, respectivamente e ó = $5.67.10^{-8}$ W m^{-2} K^{-4}, T é a temperatura do ar no nível do abrigo (K) e **e** é a pressão de vapor do ar também no nível do abrigo (mb). Nas estimativas da emissão de onda longa da atmosfera foram utilizados os valores de temperatura e de pressão de vapor do ar do nível de 11 metros.

A radiação de onda longa emitida pela superfície é estimada a partir da emissão de corpo negro da superfície e da emissividade do ar através da seguinte expressão

$$OL\uparrow = \varepsilon_o \ \sigma T_S^{\ 4} \qquad (16)$$

Sendo ε_o, a emissividade da superfície do mar (0,97) e T_s, a temperatura da superfície do mar.

Nas figuras 10 e A5 (Apêndice A) são apresentadas as evoluções temporais da radiação de onda longa observada e estimada a partir das expressões 15 e 16. Verifica-se uma discrepância entre a observação e estimativa teórica durante o período diurno. Esta discrepância pode estar associada a efeito da radiação solar sobre o sensor de radiação de onda longa.

A radiação solar incidente na superfície foi estimada através da seguinte expressão:

$$OC\downarrow_h = -I_0 \cos Z\ \Gamma \tag{17}$$

onde I_0 é a constante solar corrigida para o efeito da variação da distância Terra-Sol em função da época do ano, Z é o ângulo zenital do sol, Γ é a transmissividade da atmosfera local.

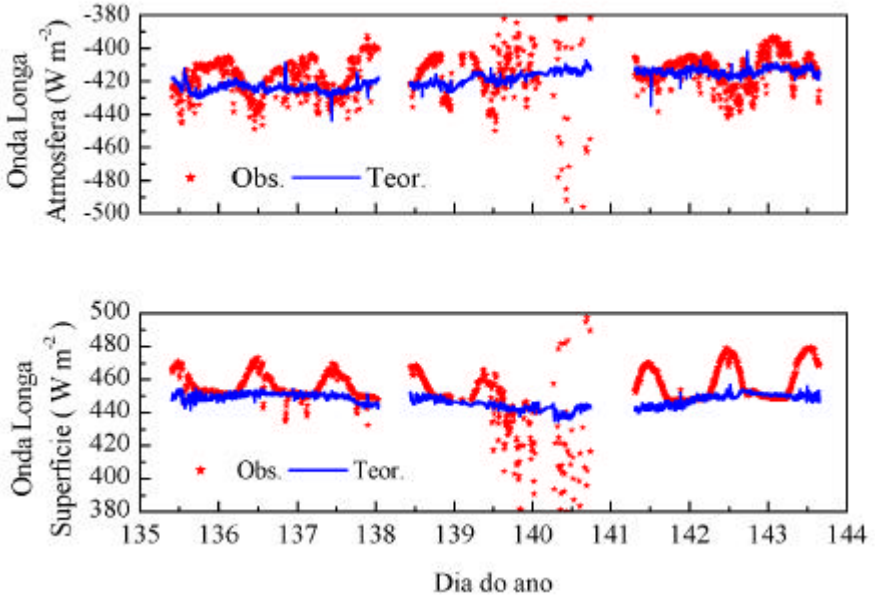


Figura 10: Evolução temporal da emissão de radiação da atmosfera e da superfície do mar, observadas durante a missão de maio de 2002.

A constante solar corrigida é calculada através da seguinte expressão:

$$I_0 = \left(\overline{D}/D\right)^2 I_0\left(\overline{D}\right) \tag{18}$$

Sendo D, a distância entre a Terra e o Sol, $\overline{D}$, a distância média entre a Terra e o Sol, $I_0(\overline{D})$, o valor da constante solar observado quando a distância média entre a Terra e o Sol é igual ao valor médio. O ângulo zenital do sol é calculado em função da latitude local (ϕ), do ângulo de declinação do sol (δ) e o ângulo horário do sol (h) através da relação:

$$\cos Z = \text{sen}\,\phi.\,\text{sen}\,\delta + \cos\phi.\cos\delta\cos h \qquad (19)$$

A declinação solar, a distância Sol-Terra e a equação do tempo são determinadas através de polinômios do tipo:

$$F(\eta) = a_0 + a_1\cos\eta + a_2\sin\eta + a_3\cos 2\eta + a_4\sin 2\eta \qquad (20)$$

Sendo $\eta = 2\pi d^*/365$, e $d^* = 0$ para o dia Juliano igual a 1 e $d^* = 364$ para o dia Juliano igual a 365. Os coeficientes dos polinômios são apresentados na Tabela 8. Neste trabalho a equação do tempo é utilizada para converter a evolução horária da radiação no topo calculada em termos da hora local aparente em hora local padrão, tendo em vista que todos os dados observados estão registrados em hora local padrão. Assim, as simulações numéricas são descritas em termos das horas locais padrão, que por sua vez relacionam-se com as horas locais aparentes através da seguinte expressão:

$$t_A = t_P + C_\lambda/60 + (12 E_T)/\pi \qquad (21)$$

onde t_A é a hora local aparente, t_P é a hora local padrão, C_λ é a correção da longitude e E_T é a equação do tempo. A correção da longitude é determinada através da seguinte expressão:

$$C_\lambda = 4 \cdot (\lambda - \lambda_P) \quad (22)$$

Sendo λ_P, a longitude padrão. No caso do experimento em questão $\lambda_P = 45^0$. Esta expressão corresponde a uma correção de 4 minutos para cada grau de desvio da longitude local da longitude padrão, sendo positiva a oeste da longitude padrão e negativa a leste.

O ângulo horário do Sol é calculado como:

$$h = (t_A - 12) \cdot 15 \quad (23)$$

Nas figuras 11 e A6 (Apêndice A) são apresentadas à evolução temporal da radiação solar incidente no topo da atmosfera e na superfície durante o experimento. Os valores calculados com base na transmissividade observada da atmosfera (Expressão17) apresentam uma concordância muito boa com as observações.

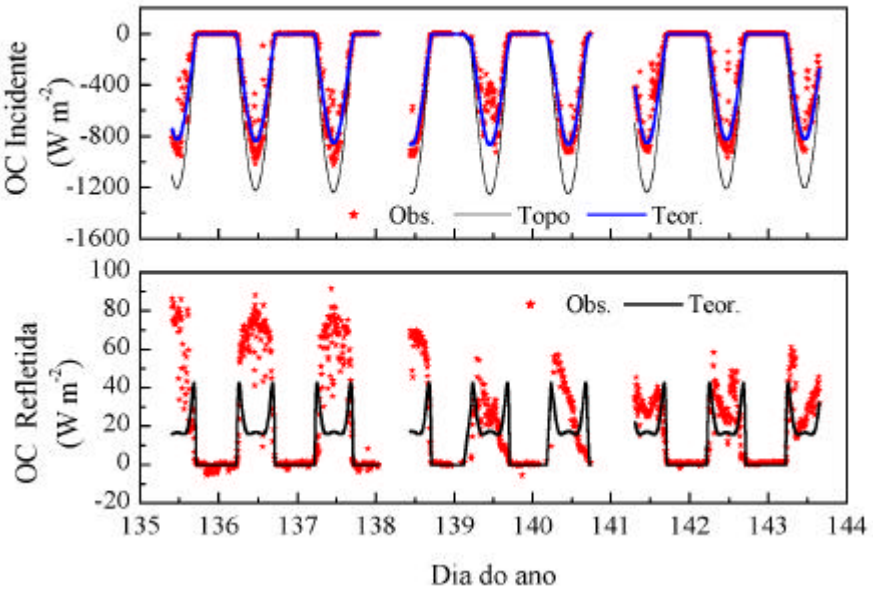


Figura 11: Evolução temporal da radiação solar incidente e refletida pela superfície, observadas durante a missão de maio de 2002.

Tabela 8. Constantes utilizadas nas expressões polinomiais aplicadas para estimar a evolução temporal da declinação solar, a distância Terra-Sol e a equação do tempo, $F(\eta) = a_0 + a_1 \cos\eta + a_2 \sin\eta + a_3 \cos 2\eta + a_4 \sin 2\eta$, (Iqbal,1983).

Constante	**Ângulo de declinação solar (δ)**	**Distância Terra-Sol** $(\bar{D}/D)$	**Equação do Tempo (E_T)**
a_0	0.006918	1.000110	0.000075
a_1	-0.399912	0.034221	0.001868
a_2	0.070257	0.001280	-0.032077
a_3	-0.006758	0.000719	-0.014615
a_4	0.000908	0.000077	-0.04089

A radiação solar refletida na superfície do mar é determinada em função:

$$OC\uparrow = -\alpha\, OC\downarrow \tag{24}$$

onde α é o albedo da superfície do mar. O albedo da superfície do mar foi estimado em função da expressão:

$$\alpha = 0{,}5\left[\frac{\sin^2(Z-r)}{\sin^2(Z+r)} + \frac{\tan^2(Z-r)}{\tan^2(Z+r)}\right] \tag{25}$$

Sendo r é o ângulo de refração dado por:

$$n = \frac{\sin Z}{\sin r} \tag{26}$$

Sendo **n** o índice de refração da água igual a 1.33 (Cogley, 1979).

A transmissividade da atmosfera é determinada através da expressão empírica:

$$\Gamma = (\Gamma_1 + \Gamma_2 \cos Z)(1 - a_{NA}\sigma_{NA})(1 - a_{NM}\sigma_{NM})(1 - a_{NB}\sigma_{NB}) \quad (27)$$

Sendo Z, o ângulo zenital do sol, Γ_1, Γ_2, a_{NA}, a_{NM}, a_{NB}, constantes determinadas empiricamente, e σ_{NA}, σ_{NM}, σ_{NB} são as frações de céu coberto por nuvens altas, médias e baixas respectivamente. As estimativas feitas aqui a nebulosidade não foi considerada ou seja $\sigma_{NA} = \sigma_{NM} = \sigma_{NB} = 0$ e considerando $\Gamma_1 = 0{,}5$ e $\Gamma_2 = 0{,}2$.

3.5 Albedo, Emissividade da Superfície e Transmissividade da Atmosfera

Utilizando-se os dados observados de radiação solar incidente e refletida pela superfície durante o experimento foi calculado o albedo da superfície.

$$\alpha_{o\,OBS} = -\frac{OC\uparrow_{OBS}}{OC\downarrow_{OBS}} \quad (28)$$

Na figura 12 é apresenta a evolução do albedo observado durante todo o experimento. Os valores teóricos foram estimados através da expressão (25). Verifica-se nas figuras 12 e A7 (Apêndice A) que durante o percurso de ida para o ASPSP (dias 135 a 139) o albedo permaneceu sistematicamente maior do que o albedo teórico. Esta discrepância diminuiu consideravelmente no percurso de volta (dias 140 a 144). Este efeito se deve ao fato da orientação do navio durante o percurso de ida favorecer a reflexão de radiação solar do

navio sobre o sensor, intensificando a radiação refletida medida pelo radiômetro. No percurso de volta o navio estava posicionado de forma a minimizar este efeito espúrio.

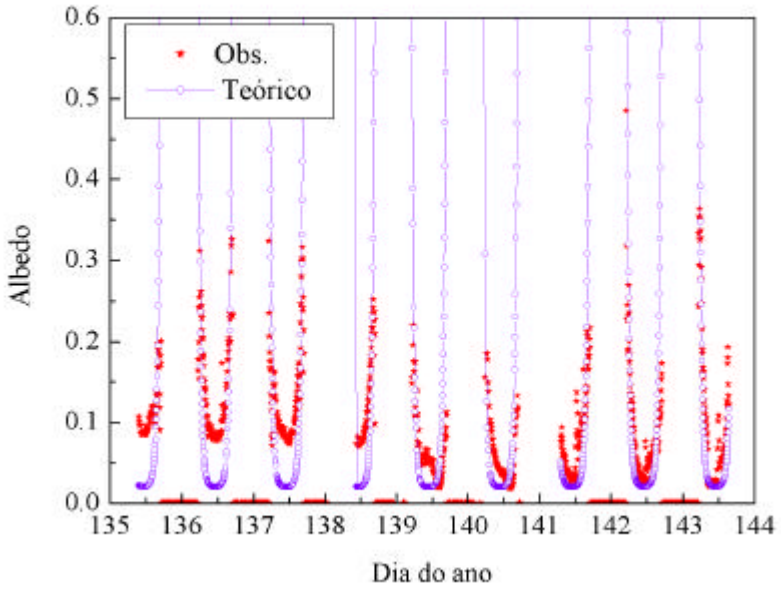


Figura 12: Evolução temporal do albedo da superfície, observado durante a missão de maio de 2002.

A transmissividade da atmosfera é estimada através da radiação solar incidente na superfície observada e a incidente no topo da atmosfera através da seguinte expressão

$$\tilde{A}_{OBS} = \frac{OC\downarrow_{0\,OBS}}{OC\downarrow_{TOPO}} \qquad (29)$$

Nas figuras 13 e A8 (Apêndice A) é apresentada a transmissividade da atmosfera observada durante o experimento. Verifica-se nesta figura, que a estimativa teoria encontra-se ligeiramente menor do que a observada.

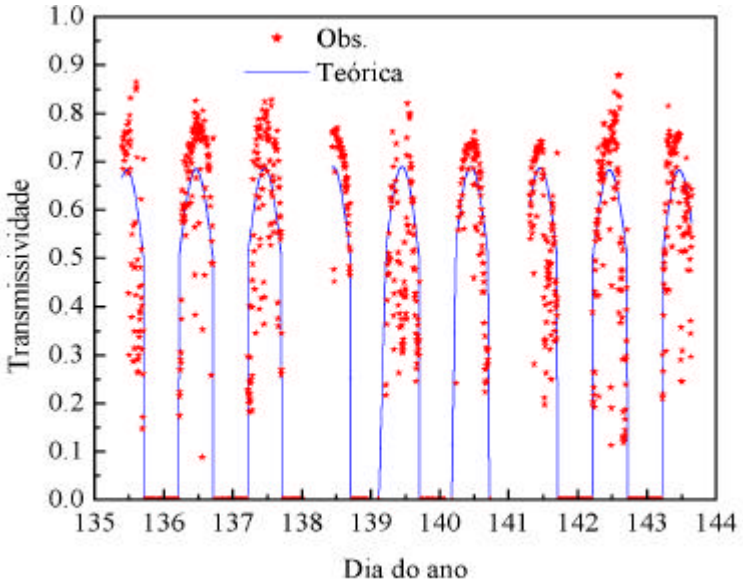


Figura 13: Evolução temporal da transmissividade da atmosfera, observada durante a missão de maio de 2002.

Utilizando-se os dados de radiação de onda longa emitida pela superfície determinou-se a emissividade da superfície estimando emissão de corpo negro da superfície a partir da temperatura da superfície do mar.

$$\varepsilon_{o\,OBS} = \frac{OL\uparrow_{OBS}}{\sigma T_S^{\,4}} \qquad (30)$$

Nas figuras 14 e A9 (Apêndice A) é apresentada à evolução temporal da emissividade da superfície do mar a partir da expressão (30).

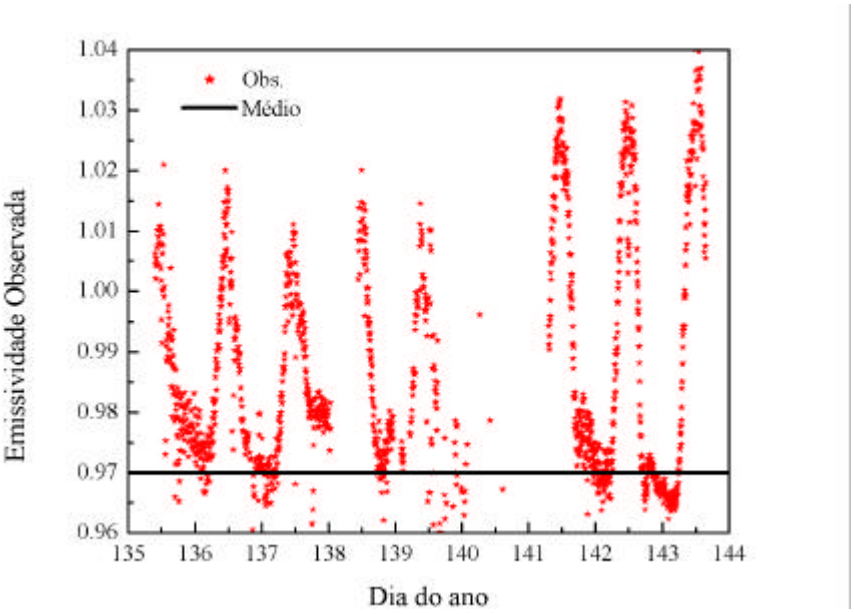


Figura 14: Evolução temporal da emissividade da superfície do mar, observadas durante a missão de maio de 2002.

Para estimar o albedo da superfície e a transmissividade da atmosfera em função do ângulo zenital efetuou-se uma média de bloco destes parâmetros usando intervalos de fixos de ângulo zenital.

Na Figura 15 é apresentado o albedo médio da superfície em função do ângulo zenital. Verifica-se que o erro do albedo médio é da mesma ordem do erro da transmissividade média da atmosfera (Figura 14).

Na Figura 16 é apresentada a transmissividade média da atmosfera em função do ângulo zenital. A curva continua refere a transmissividade teórica obtida a partir da expressão 27.

A emissividade representativa da superfície foi estimada através do valor da emissividade de maior freqüência durante o experimento, ou seja, foi 0,97. Esta estimativa foi baseada no diagrama de freqüência da emissividade da superfície do mar (Fig. 17).

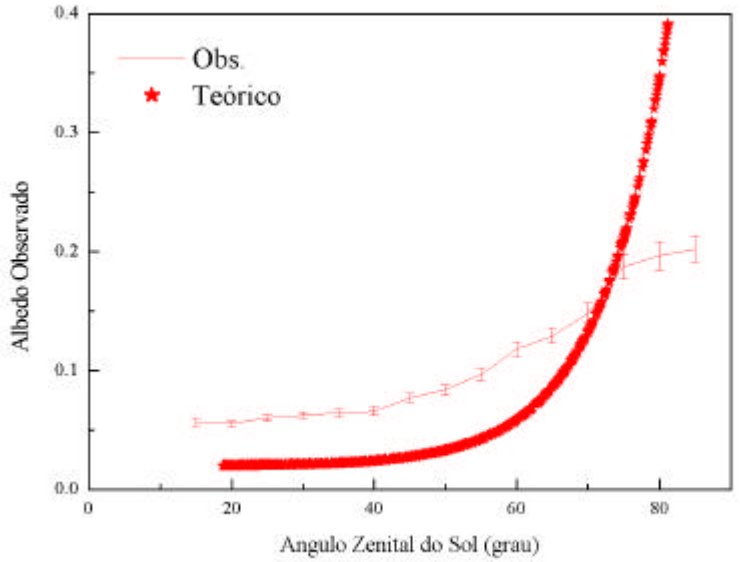


Figura 15: Albedo médio em função do angulo zenital do sol, observados durante a missão de maio de 2002.

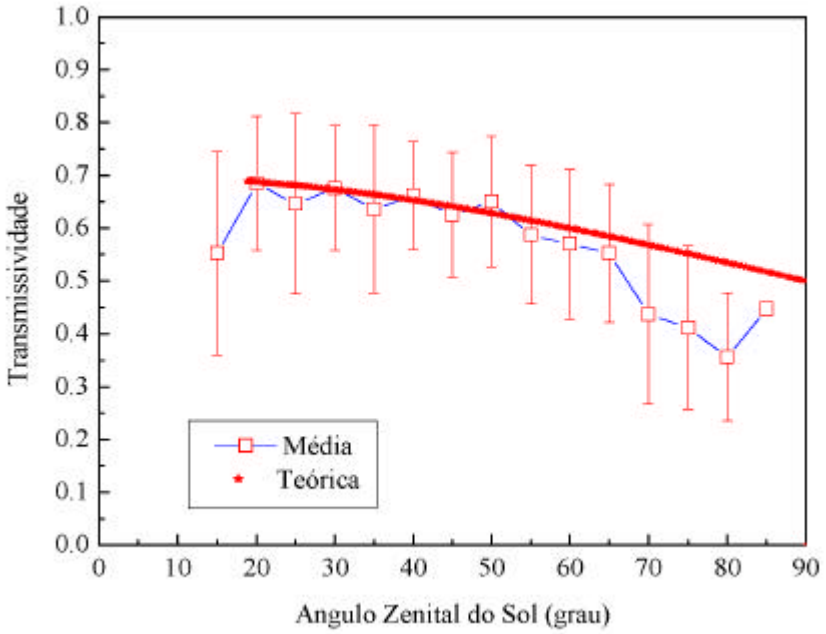


Figura 16: Transmissividade média em função do ângulo zenital do sol, observados durante a missão de maio de 2002.

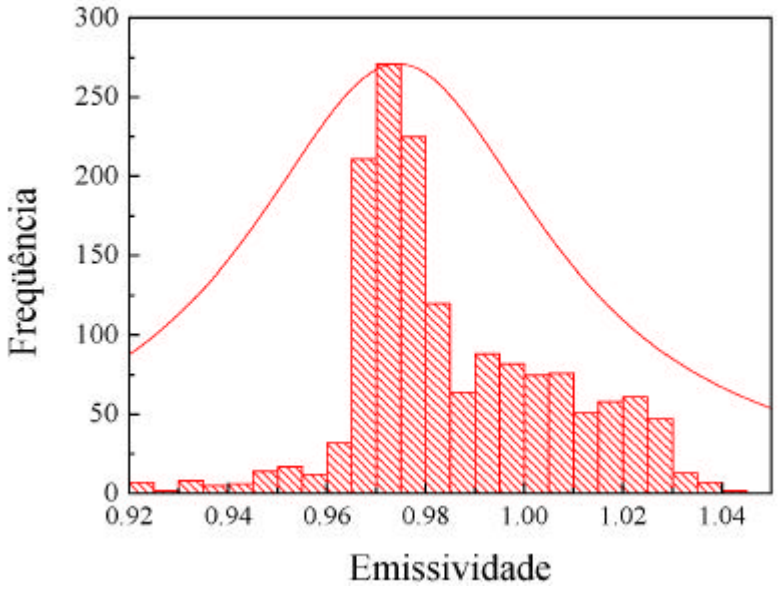


Figura 17: Distribuição de freqüência da emissividade da superfície do mar, observados durante a missão de maio de 2002.

Tabela 9: Formato do arquivo NAVIO_SOL.DAT

Coluna	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Nome da variável no programa	LATS	LONGS	DJH	HLPS	HLA
Descrição da variável	Latitude (graus)	Longitude (graus)	Dia do ano com horas	Hora local padrão	Hora local aparente
Exemplo	-5.7169	35.163	135.40	9.7500	10.471
Coluna	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Nome da variável no programa	ADS	AZS	AES	AHS	AAS
Descrição da variável	Declinação do Sol (graus)	Ângulo zenital do Sol (graus)	Ângulo de elevação do Sol (graus)	Ângulo horário do Sol (graus)	Ângulo azimutal do Sol (graus)
Exemplo	18.747	33.304	56.695	-22.929	137.78
Coluna	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
Nome da variável no programa	DTS	DUR	HLP_NS	HLP_PS	HLA_NS
Descrição da variável	Fator da distância Terra-Sol	Duração do dia (horas)	Hora local padrão do nascer do Sol (horas)	Hora local padrão do pôr do Sol (horas)	Hora local aparente do nascer do Sol (horas)
Exemplo	0.97793	11.740	5.4084	5.4084	6.1298
Coluna	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Nome da variável no programa	HLA_PS	GLOBAL_TOPO	ALB_TEORICO	TRANSM_TEORICA	GLOBAL_TEORICA
Descrição da variável	Hora local aparente do pôr do Sol (horas)	Radiação solar no topo da atmosfera ($w\ m^{-2}$)	Albedo teórico	Transmissividade da atmosfera sem nuvens	Radiação solar global na superfície teórica ($w\ m^{-2}$)
Exemplo	17.870	-1108.3	0.2175-E01	0.66715	-739.40
Coluna	**21**	**22**	**23**	**24**	
Nome da variável no programa	REFLETIDA_TEORICA	ALBEDO_OBS	EMISSIVIDADE_OBS	TRANSMISSIVIDADE_OBS	
Descrição da variável	Radiação solar refletida pela superfície teórica	Albedo observado da superfície	Emissividade observada da superfície	Transmissividade observada da atmosfera	
Exemplo	16.088	0.10652	1.0062	0.73265	

Tabela 10: Formato do arquivo NAVIO_ALBEDO_MEDIO.DAT					
Coluna	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Nome da variável no programa	AZSC	ALBEDO_MED	ALBEDO_DESV	ALBEDO_ERRO	TRAMSM_MED
Descrição da variável	Ângulo zenital do Sol	Albedo observado	Desvio do albedo observado	Erro do albedo observado	Transmissividade observada na atmosfera
Exemplo	60.000	0.11828	0.62622E-02	0.460E-01	0.56992
Coluna	**6**	**7**	**8**		
Nome da variável no programa	TRANSM_DESV	TRANSM_ERRO	NVALORES		
Descrição da variável	Desvio da transmissividade observada	Erro da transmissividade observada	Número de valores		
Exemplo	0.19227E-01	0.14129	54.000		

3.6. Balanço de radiação na superfície

O balanço de radiação na superfície é estimado através da seguinte expressão:

$$Rn = OC\uparrow + OC\downarrow + OL\uparrow + OL\downarrow \quad (31)$$

Nas figura 18 e A10 é apresentada a evolução temporal do balanço de radiação na superfície do oceano observada durante o experimento e estimada a partir das expressões acima de transmissividade e albedo e da emissividade da superfície.

Observa-se nesta figura que a estimativa teórica da radiação liquida aproxima-se bastante da observação.

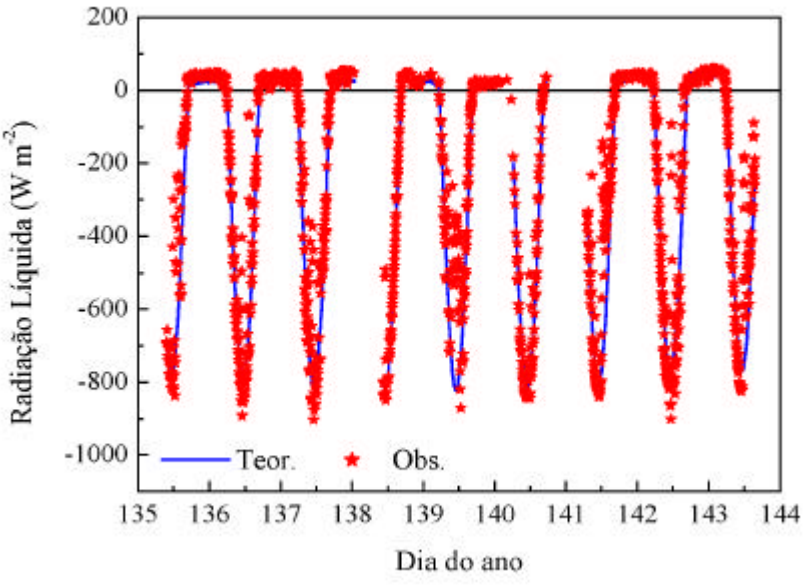


Figura 18: Evolução temporal da radiação líquida observada durante a missão de maio de 2002.

Tabela 11. Formato do arquivo NAVIO_TUDO.DAT.					
Coluna	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Nome da variável no programa	DJH	LAT	LONG	HLP	HLA
Descrição da variável	Dia do ano	Latitude (radianos)	Longitude (radianos)	Hora local padrão	Hora local aparente
Exemplo	135.4062	-5.7169	35.1638	9.7500	10.4713
Coluna	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Nome da variável no programa	ADS	AZS	AES	AHS	AAS
Descrição da variável	Declinação do Sol (graus)	Ângulo zenital do Sol (graus)	Ângulo de elevação do Sol (graus)	Ângulo horário do Sol (graus)	Ângulo azimutal do Sol (graus)
Exemplo	18.7473	33.3040	56.6959	-22.9295	137.7860
Coluna	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
Nome da variável no programa	DTS	DUR	HLP_NS	HLP_OS	HLA_NS
Descrição da variável	Fator da distância Terra – Sol	Duração do dia (horas)	Hora local padrão do nascer do Sol (horas)	Hora local padrão do pôr do Sol (horas)	Hora local aparente do nascer do Sol (horas)
Exemplo	0.9779	11.7403	5.4084	5.4084	6.1298
Coluna	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Nome da variável no programa	HLA_PS	GLO_TOPO	ALB_TEORICO	TRANSM_TEOR	GLO_TEOR
Descrição da variável	Hora local aparente do pôr do Sol (horas)	Radiação global no topo (w m^{-2})	Albedo teórico	Transmissividade teórica	Radiação global teórica (w m^{-2})
Exemplo	17.8701	-1108.3014	0.2175E-01	0.6671	-739.4074
Coluna	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**
Nome da variável no programa	REF_ TEOR	OL_SUP_CAL	OL_ATM_CAL	RN_OL_CAL	RN_CAL
Descrição da variável	Radiação refletida teórica (w m^{-2})	Onda longa na superfície calculada (w m^{-2})	Onda longa na atmosfera calculada (w m^{-2})	Onda longa líquida calculada (w m^{-2})	Radiação líquida calculada (w m^{-2})
Exemplo	16.0889	458.1117	-417.9802	40.13143	-683.18701
Coluna	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
Nome da variável no programa	VEL_VENTO	DIR_VENTO	U_VENTO	V_VENTO	VEL_NAVIO
Descrição da variável	Velocidade do vento	Direção do vento	Componente u da velocidade do vento	Componente v da velocidade do vento	Velocidade do navio
Exemplo	6.5698	158.5942	-2.3977	6.1166	13.1079

Tabela 11. Formato do arquivo NAVIO_TUDO.DAT					
Coluna	**31**	**32**	**33**	**34**	**35**
Nome da variável no programa	ANG_NAVIO	U_NAVIO	V_NAVIO	U_OBS	V_OBS
Descrição da variável	Ângulo com a direção do navio	Componente u da velocidade do navio	Componente v da velocidade do navio	Componente u da velocidade do vento observada	Componente v da velocidade do vento observada
Exemplo	55.0747	2.98533	2.0845	-5.3831	4.0320
Coluna	**36**	**37**	**38**	**39**	**40**
Nome da variável no programa	TAR_OBS	UR_OBS	TAGUA_OBS	PRES	ES_SUP
Descrição da variável	Temperatura do ar observada	Umidade relativa observada na atmosfera	Temperatura da água observada	Pressão atmosférica média	Pressão de vapor de saturação na superfície
Exemplo	27.1200	81.8000	27.2300	1010.0000	36.1338
Coluna	**41**	**42**	**43**	**44**	**45**
Nome da variável no programa	EV_SUP	RM_SUP	Q_SUP	ES_11	EV_11
Descrição da variável	Pressão de vapor na sueperfície	Razão de mistura na superfície	Umidade específica na superfície	Pressão de vapor de saturação à 11m	Pressão de vapor à 11m
Exemplo	36.1338	23.0783	22.5577	35.9017	29.3676
Coluna	**46**	**47**	**48**	**49**	**50**
Nome da variável no programa	RM_11	Q_11	ALBE_OBS	EMIS_OBS	TRAN_OBS
Descrição da variável	Razão de mistura à 11m	Umidade específica à 11m	Albedo observado	Emissividade observada	Transmissividade observada
Exemplo	18.6274	18.2868	0.1065	1.0062	0.7326
Coluna	**51**	**25**	**53**	**54**	**55**
Nome da variável no programa	GLOB_OBS	REFL_OBS	OL_SUP_OBS	OL_ATM_OBS	RN_OBS
Descrição da variável	Radiação global observada ($w\ m^{-2}$)	Radiação refletida ($w\ m^{-2}$)	Onda longa na superfície observada ($w\ m^{-2}$)	Onda longa na atmosfera observada ($w\ m^{-2}$)	Radiação líquida observada ($w\ m^{-2}$)
Exemplo	-812.0000	86.5000	464.5000	-429.2000	-690.2000
Coluna	**56**	**57**	**58**	**59**	**60**
Nome da variável no programa	ALBEDO_OBS	E_VAPOR_ANT	R_MIST_ANT	OL_SUP_ANT	OL_ATM_ANT
Descrição da variável	Albedo observado	Pressão de vapor observada (mb)	Razão de mistura calculada pelo Antônio	Onda longa superfície calculada pelo Antônio ($w\ m^{-2}$)	Onda longa da atmosfera calculada pelo Antônio ($w\ m^{-2}$)
Exemplo	0.1065	29.3676	18.6274	460.6800	417.1457

Tabela 11. Formato do arquivo NAVIO_TUDO.DAT					
Coluna	**61**				
Nome da variável no programa	RN_ANT				
Descrição da variável	Radiação líquida calculada pelo Antônio (w m^{-2})				
Exemplo	-760.7999				

4. Conclusões

O projeto FluTuA tem como objetivo investigar a interação entre o oceano e a atmosfera sobre o Oceano Atlântico tropical e a atmosfera, através da realização de observações dos fluxos de energia, massa e momento na camada limite superficial.

Como parte do projeto FluTuA, durante o período de 15 a 24 de Maio de 2002, foram realizadas observações contínuas de parâmetros meteorológicos, entre Natal, RN (6,0°S 35,2°W) e o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (1,0°N 29,3°W) .

Este relatório descreve:

1. Organização e o tratamento dos dados coletados durante o experimento;
2. Evolução temporal das componentes do balanço de radiação;
3. Evolução temporal dos demais parâmetros meteorológicos observados durante a campanha de medidas.

O tratamento dos dados envolveu o desenvolvimento de um programa em linguagem Fortran. Os cálculos realizados neste programa estão descritos neste relatório.

Os dados coletados durante a campanha de medidas foram verificados utilizando as relações teóricas disponíveis na literatura. As comparações com os valores teóricos indicam que existe uma grande consistência entre as observações.

Estimativas de parâmetros que caracterizam o balanço de radiação na superfície do oceano indicam que uma emissividade da superfície do mar igual a 0,97. A transmissidade da atmosfera e o albedo da superfície apresentam uma dependência com o cosseno do ângulo zenital. Com base na analise de todo o período a transmissividade da atmosfera pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$\Gamma = (0.5 + 0.2 \cos Z). \qquad (31)$$

Que é uma simplificação da expressão (27).

Verifica-se que a radiação líquida teórica calculada a partir dos da emissividade da superfície e da transmissidade da atmosfera observadas e do albedo teórico calculado pela expressão 25 proposta por Cogley (1979), reproduz a evolução da radiação líquida observada durante o experimento.

5. Agradecimentos

Especial agradecimento ao meu orientador Amauri Pereira de Oliveira, que esteve em todas as horas a escrever e a orientar o presente relatório, mas também a: Antônio J. Machado e a Jacyra R.Soares, grandes colaboradores de muitas etapas do trabalho. A SECIRM pelo financiamento da campanha de medidas do projeto FluTuA.

6. Referências

Vianello, R.L e Alves, A.R, 1991: *Meteorologia básica e aplicações*, Imprensa Universitária,Viçosa, 449 pp.

Ivanov, A., 1975: *Oceanic Absorbtion of Solar Energy*. In: Advanced Study Institute on Modelling and Prediction of the upper Layers of the Ocean, Ed. Kraus, E.B, Urbino, Italy, 47-71.

Cogley, J.G., 1979: The albedo of Water as a Function of Latitude. Monthly Weather Review, **107**, 775-781.

Iqbal, M., 1983: *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press, 390 pp.

Oliveira, A.P., Soares, J., Bacellar, S.A., Machado, A.J. and Espinosa, A. M., 2003: Energy Balance Over The Tropical Atlantic Ocean, *12th Conference on Interactions of the Sea and Atmosphere*, February 10-13, 2003, Long Beach, CA, EUA (CD-ROM).

Soares, J., Oliveira, A.P., Wainer, I., Servain, J., 2001: Turbulent fluxes over the tropical Atlantic Ocean. *Proceedings of the WCRP/SCOR Workshop Intercomparison and Validation of Ocean-Atmosphere Flux Field*, 21-24 May 2001, Washington, DC, EUA, 334-337.

Wainer, I., Taschetto, A.; Soares, J.; Oliveira, A.P., Otto-Bliesner, B. and Brady, E., 2003: Intercomparison of heat fluxes in the South Atlantic. Part 1: The Seasonal Cycle. *Journal of Climate*, **16(4),** 706-714.

Apêndice A:

Evolução dia a dia

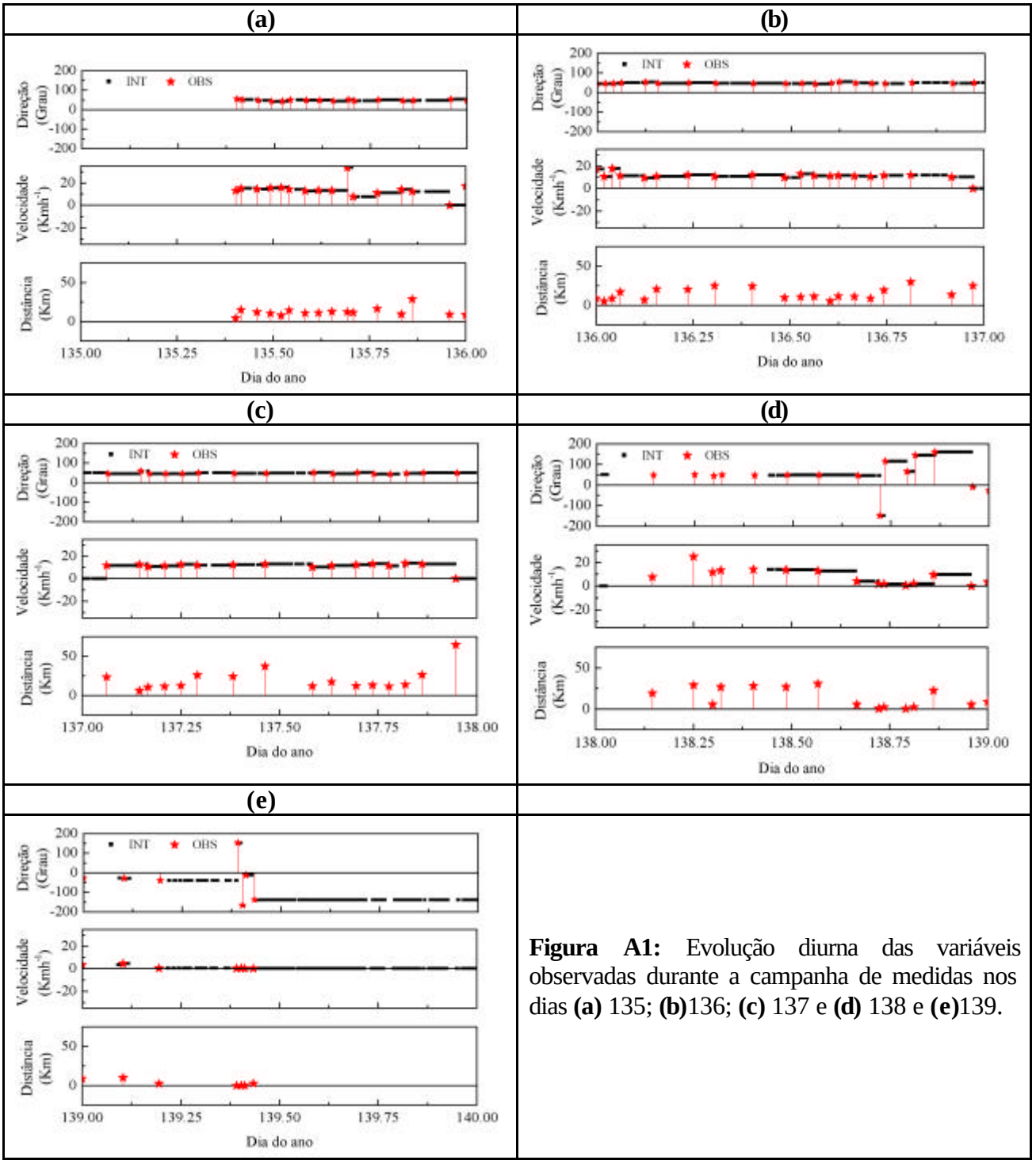


Figura A1: Evolução diurna das variáveis observadas durante a campanha de medidas nos dias **(a)** 135; **(b)**136; **(c)** 137 e **(d)** 138 e **(e)**139.

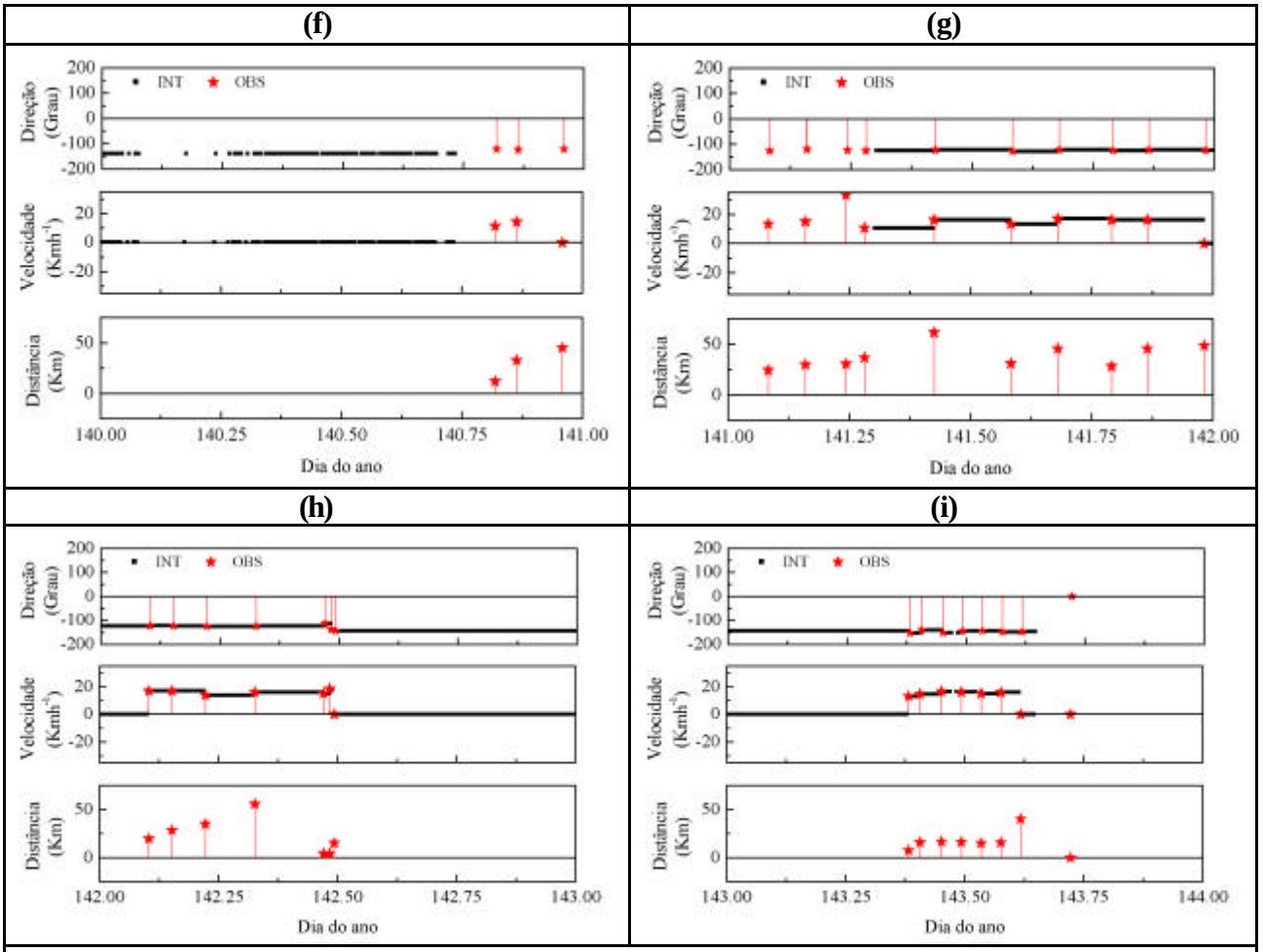
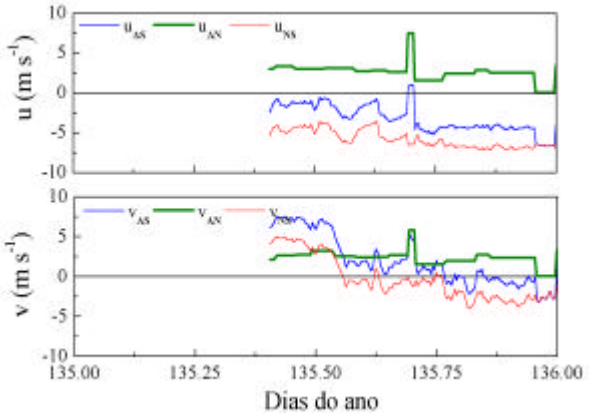
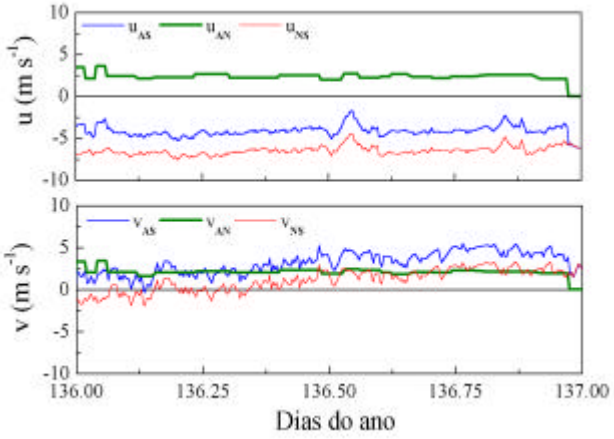


Figura A1: Evolução diurna das variáveis observadas durante a campanha de medidas nos dias **(f)** 140; **(g)**141; **(h)** 142 e **(i)** 143.

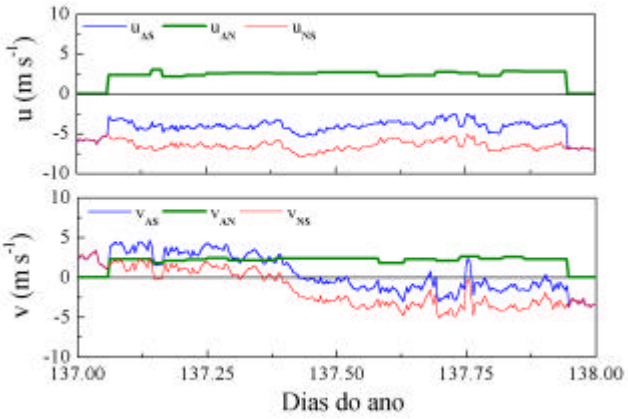
(a)



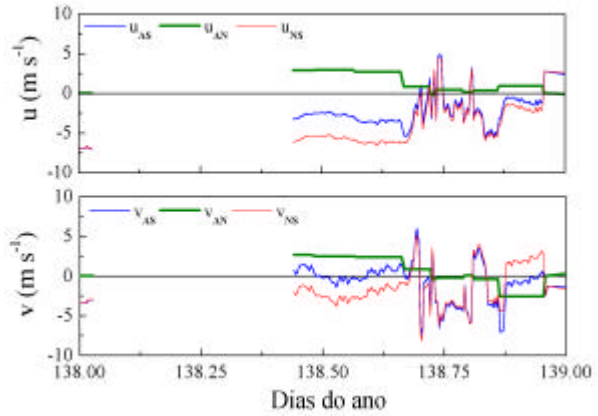
(b)



(c)



(d)



(e)

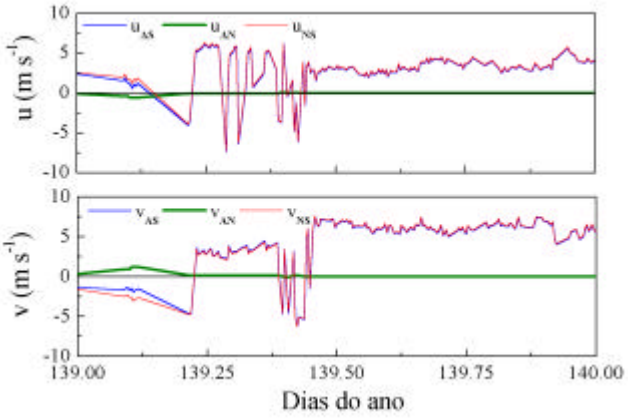
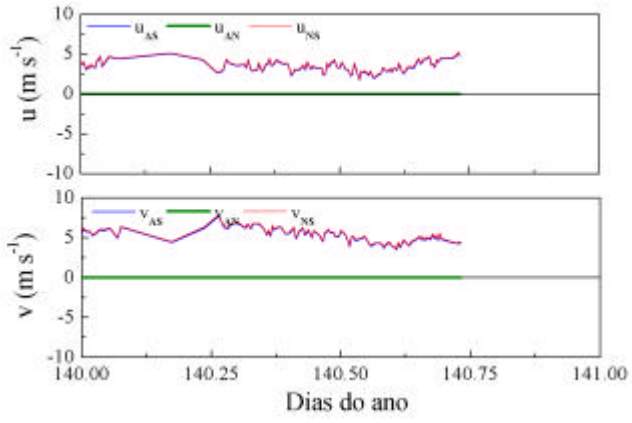
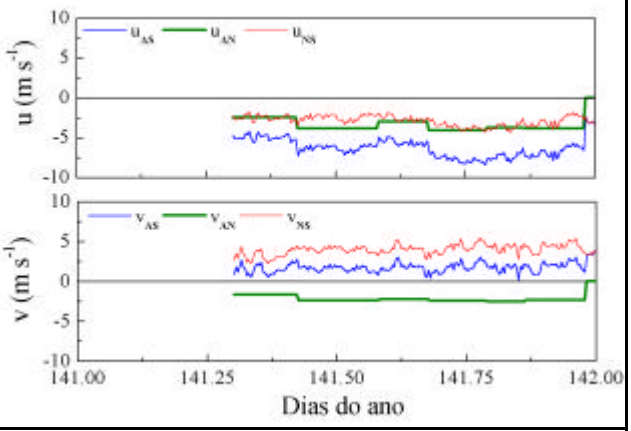


Figura A2: Evolução temporal das componentes na direção zonal (u) e meridional (v) do movimento do ar em relação à superfície (u_{AS} e v_{AS}), em relação ao navio (u_{AN} e v_{AN}) e do navio em relação à superfície (u_{NS} e v_{NS}) observados durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias **(a)** 135; **(b)**136; **(c)** 137 e **(d)** 138 e **(e)** 139.

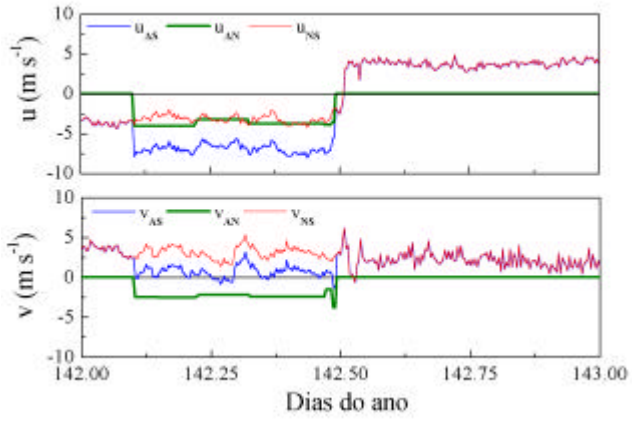
(f)	**(g)**



(h)



(i)



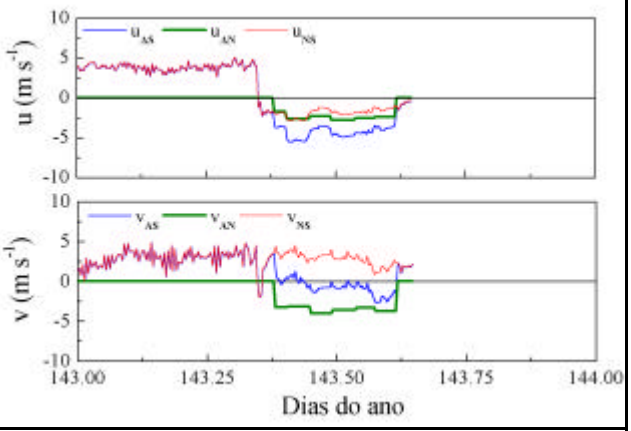
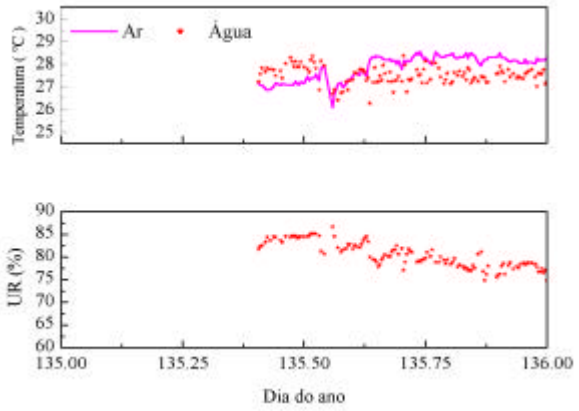
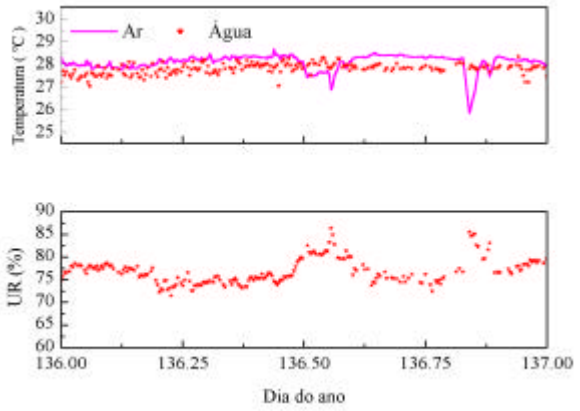


Figura A2: Evolução temporal das componentes na direção zonal (u) e meridional (v) do movimento do ar em relação à superfície (u_{AS} e v_{AS}), em relação ao navio (u_{AN} e v_{AN}) e do navio em relação à superfície (u_{NS} e v_{NS}) observados durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias **(f)** 140; **(g)**141; **(h)** 142 e **(i)** 143.

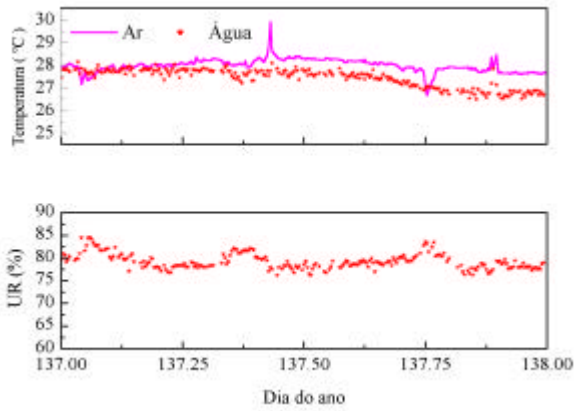
(a)	**(b)**



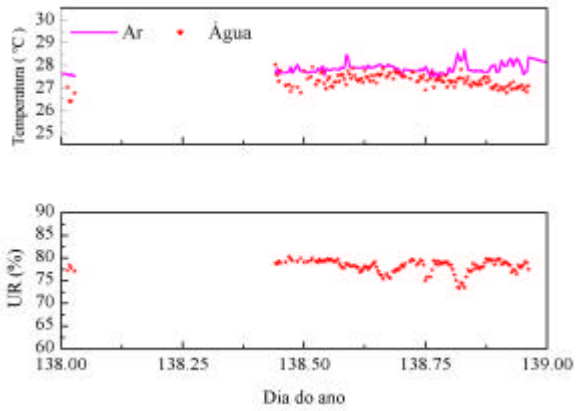
(c)



(d)



(e)



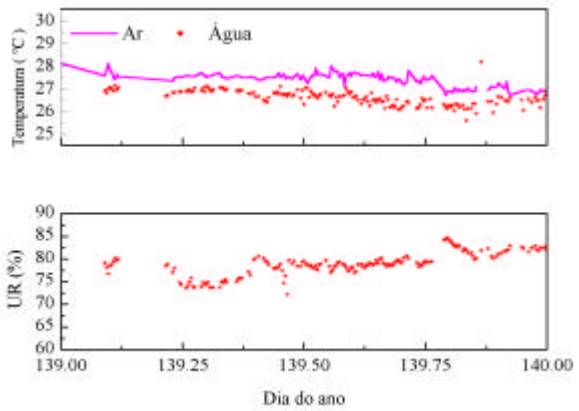


Figura A3: Evolução temporal da temperatura do ar, temperatura da superfície do mar e da umidade relativa do ar a 11 m observados durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias **(a)** 135; **(b)**136; **(c)** 137 e **(d)** 138 e **(e)** 139.

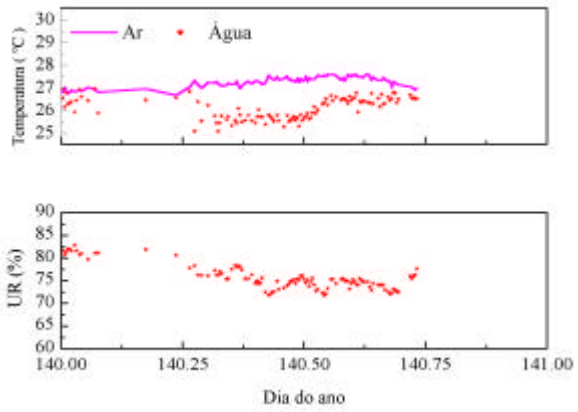
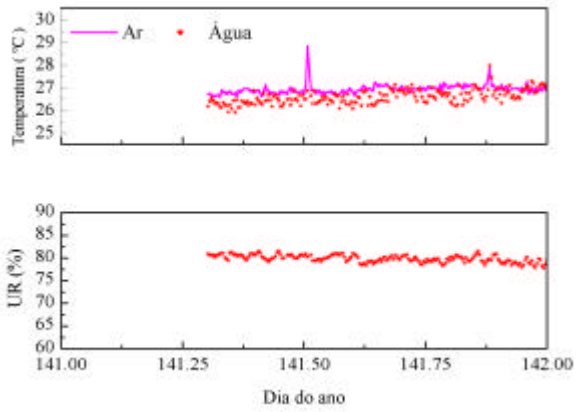
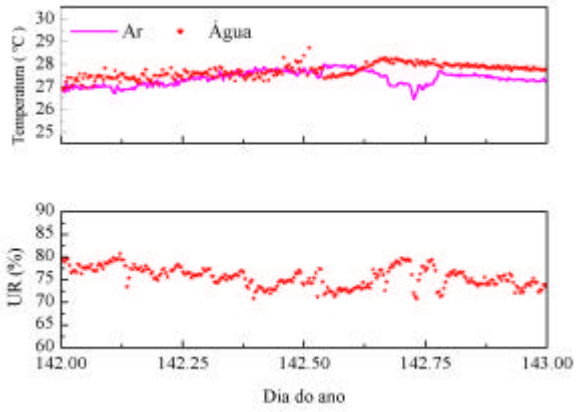
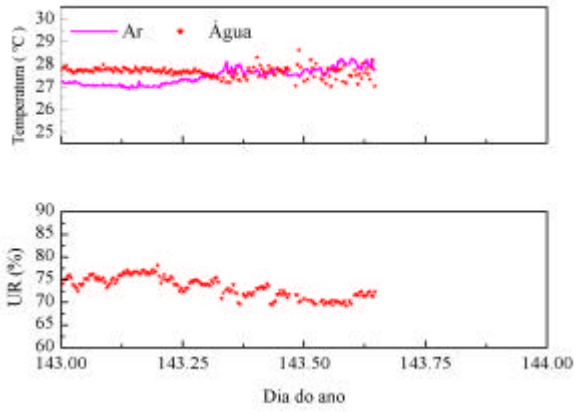
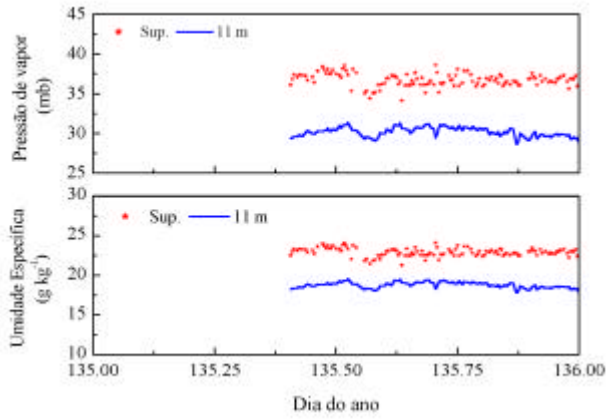
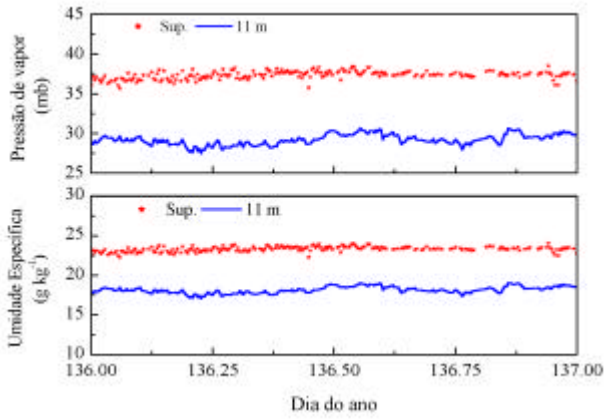
(f)	(g)
	
(h)	**(i)**
	

Figura A3: Evolução temporal da temperatura do ar, temperatura da superfície do mar e da umidade relativa do ar a 11 m observados durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias **(f)** 140; **(g)**141; **(h)** 142 e **(i)** 143.

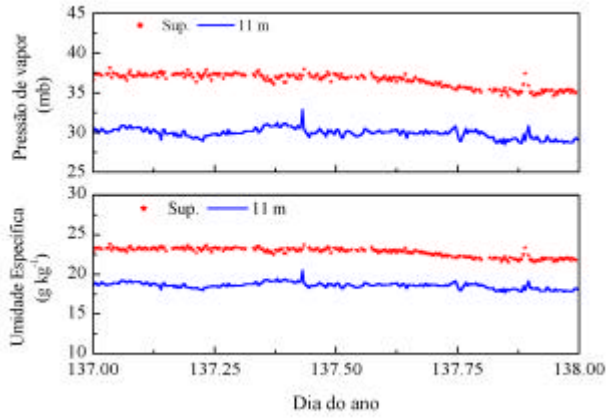
(a)	(b)



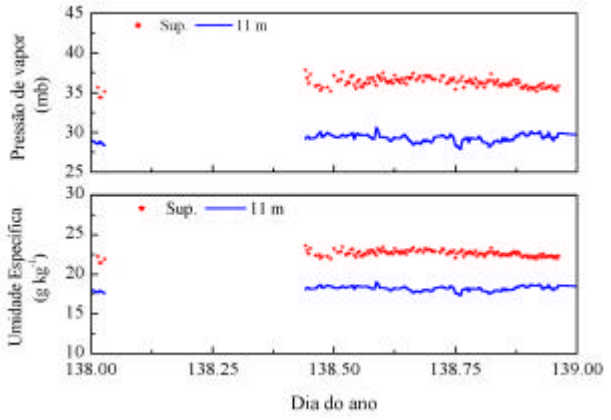
(c)



(d)



(e)



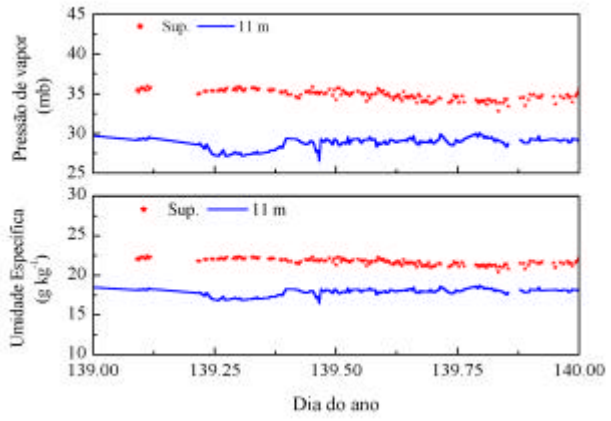
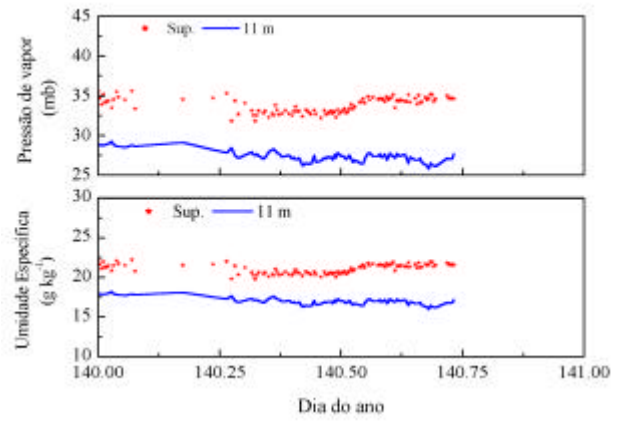
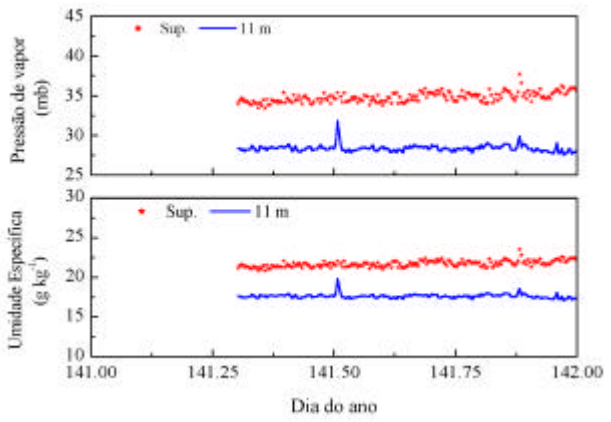


Figura A4: Evolução temporal da pressão de vapor e da umidade especifica do ar no nível da superfície e a 11 m, observados durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias **(a)** 135; **(b)**136; **(c)** 137 e **(d)** 138 e **(e)** 139.

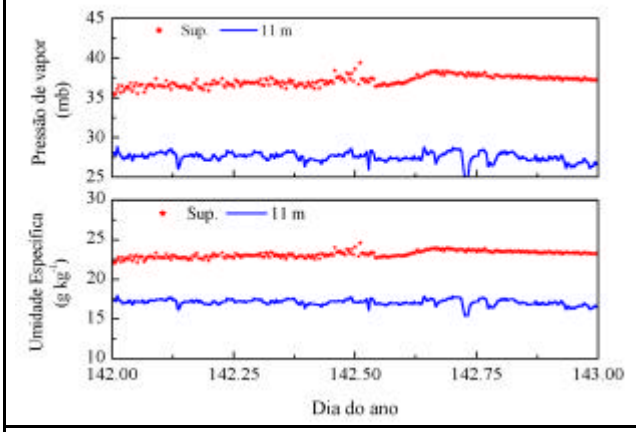
(f) **(g)**



(h)



(i)



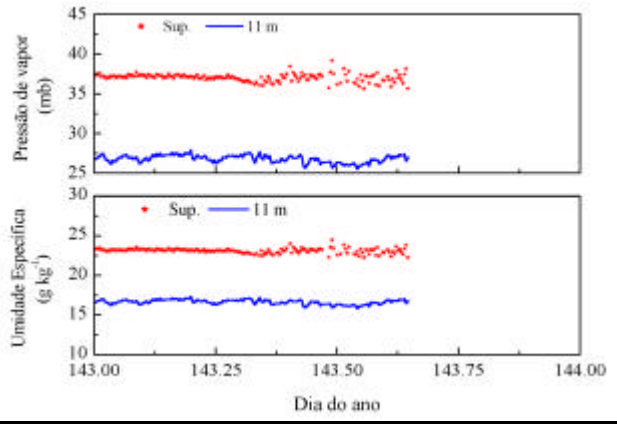


Figura A4: Evolução temporal da pressão de vapor e da umidade especifica do ar no nível da superfície e a 11 m, observados durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias (**f)** 140; **(g)**141; **(h)** 142 e **(i)** 143.

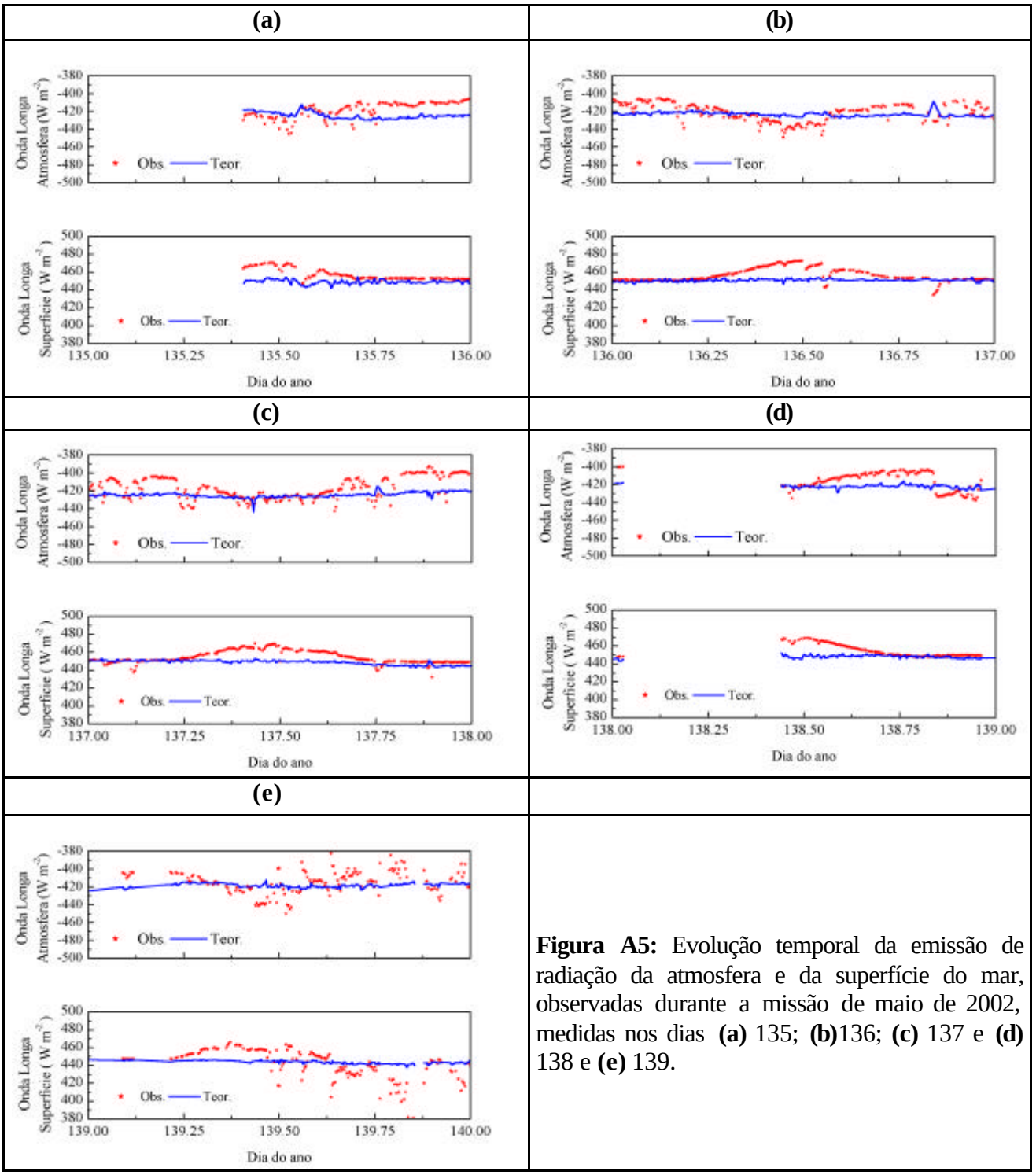


Figura A5: Evolução temporal da emissão de radiação da atmosfera e da superfície do mar, observadas durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias **(a)** 135; **(b)**136; **(c)** 137 e **(d)** 138 e **(e)** 139.

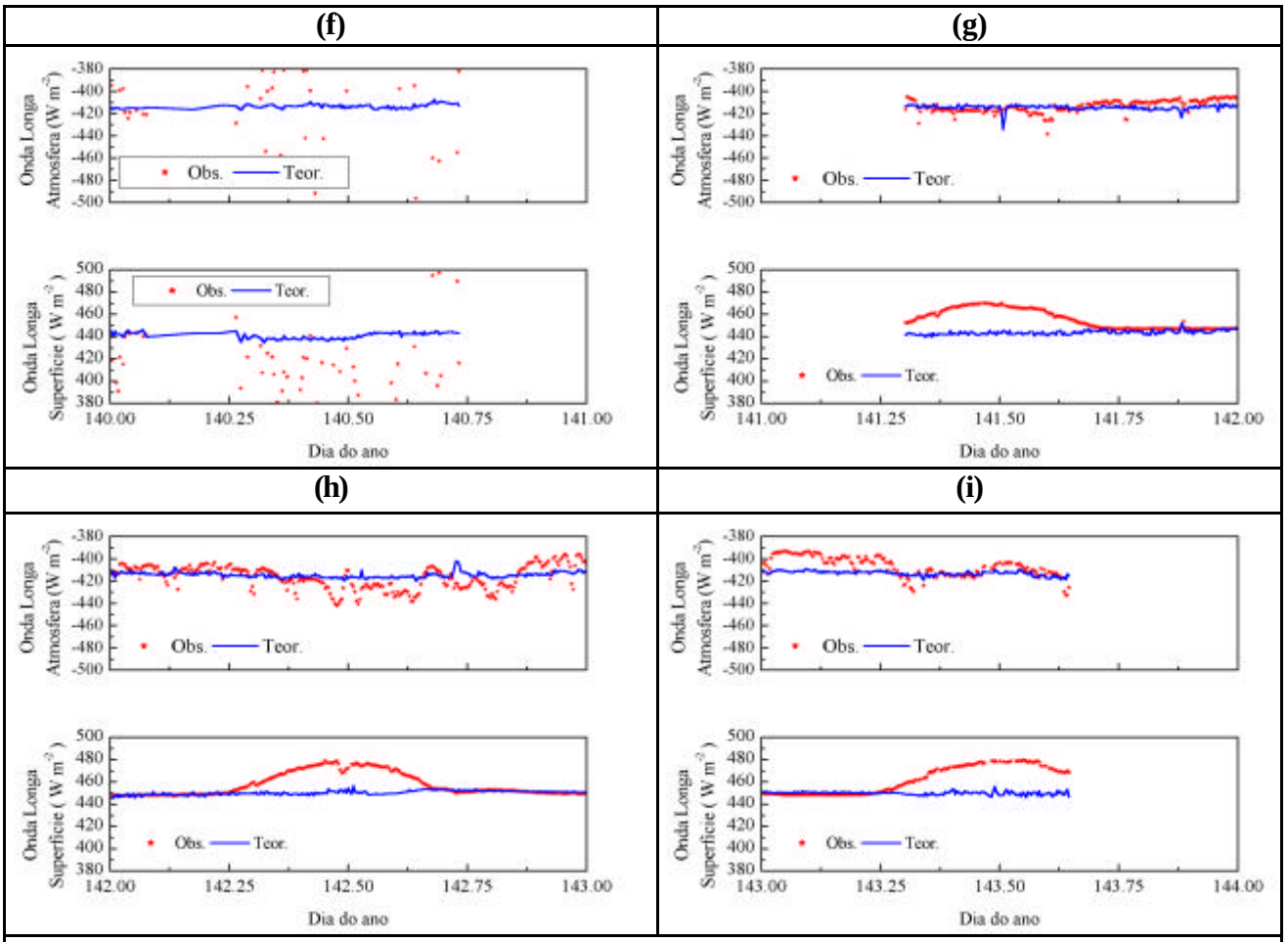
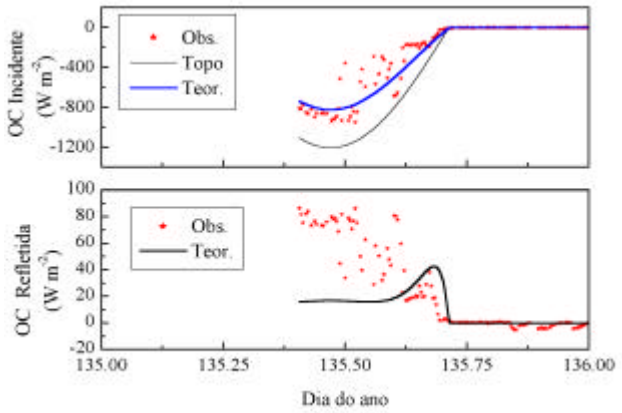
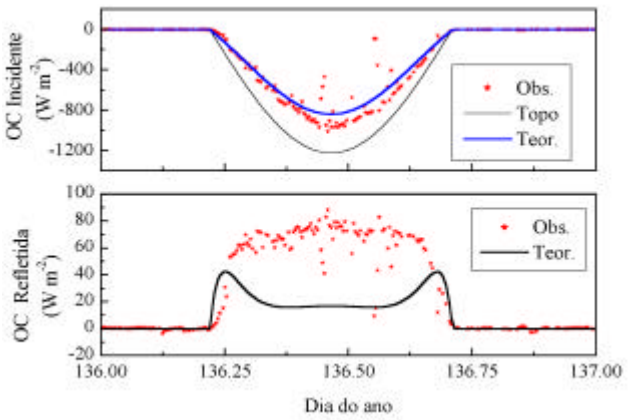


Figura A5: Evolução temporal da emissão de radiação da atmosfera e da superfície do mar, observadas durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias **(f)** 140; **(g)**141; **(h)** 142 e **(i)** 143.

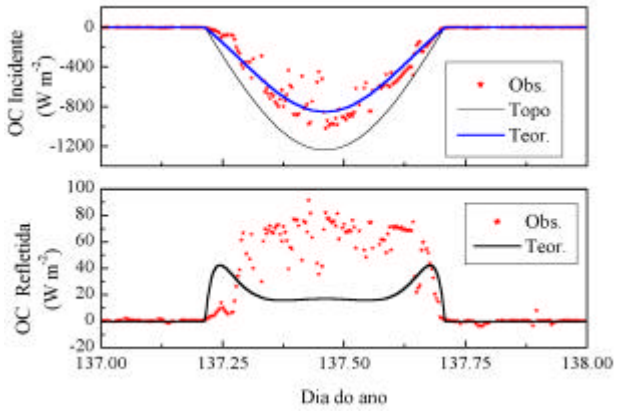
(a)



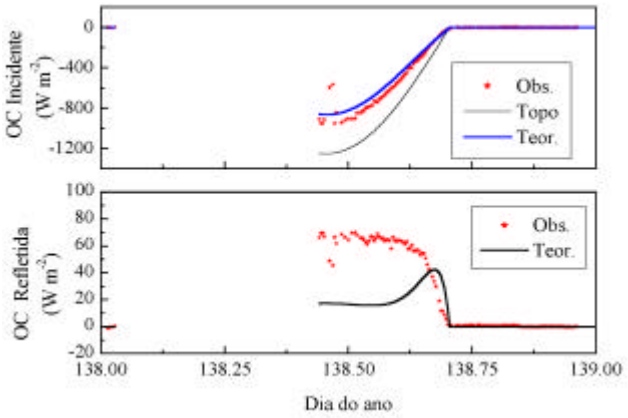
(b)



(c)



(d)



(e)

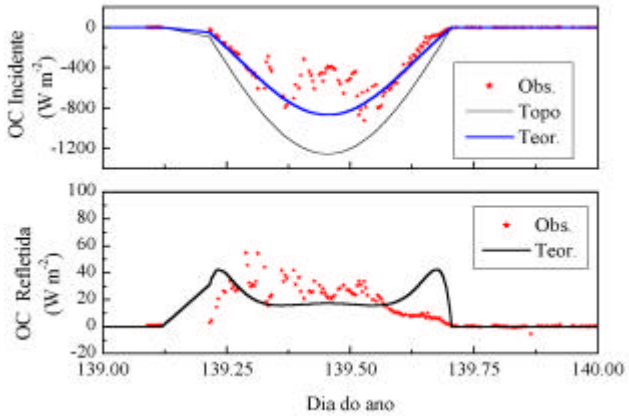


Figura A6: Evolução temporal da radiação solar incidente e refletida pela superfície, observadas durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias **(a)** 135; **(b)**136; **(c)** 137 e **(d)** 138 e **(e)** 139.

(f)	**(g)**

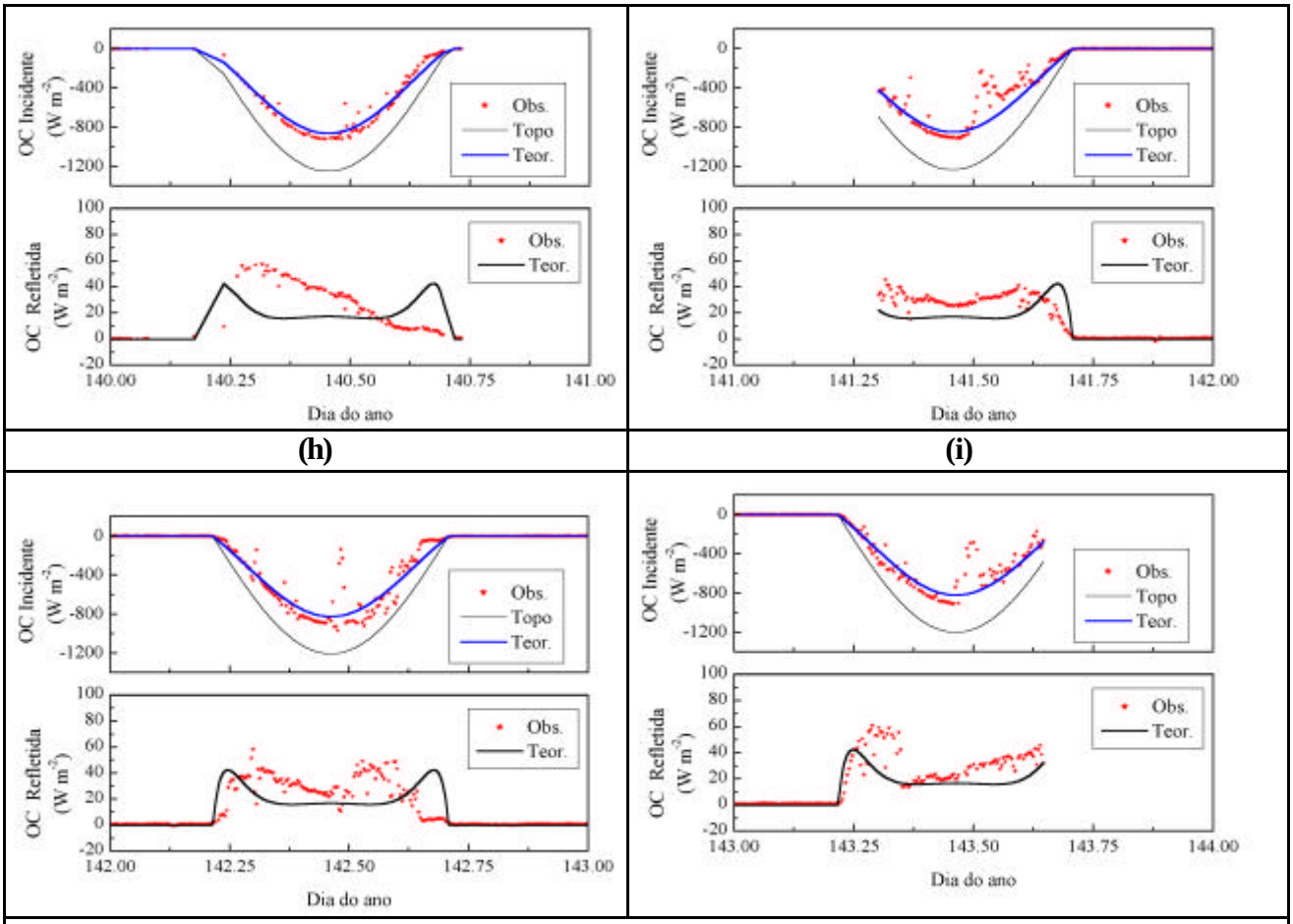
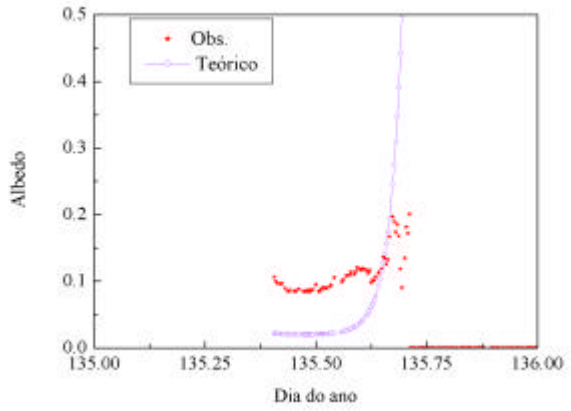
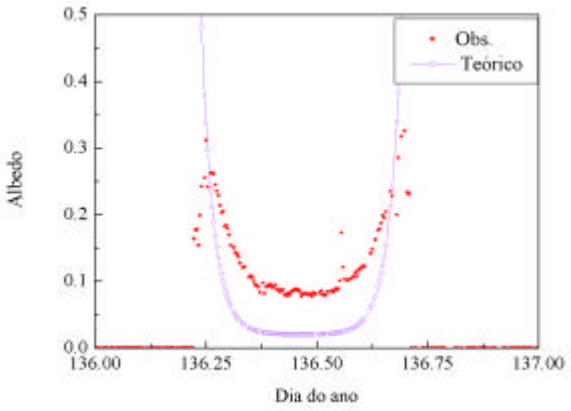


Figura A6: Evolução temporal da radiação solar incidente e refletida pela superfície, observadas durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias (**f)** 140; **(g)**141; **(h)** 142 e **(i)** 143.

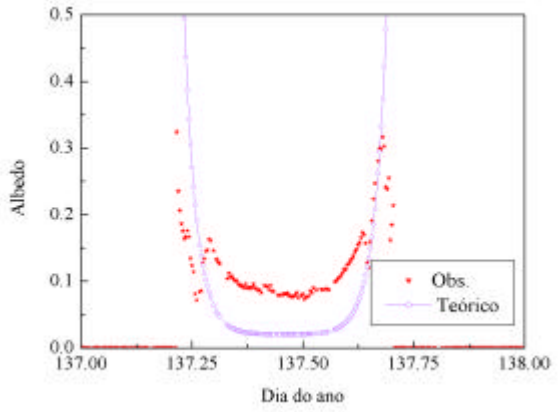
(a)



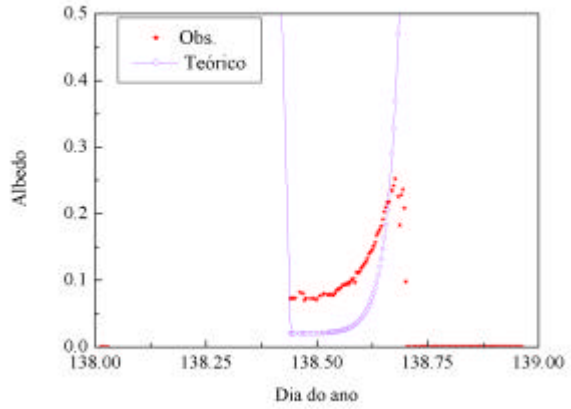
(b)



(c)



(d)



(e)

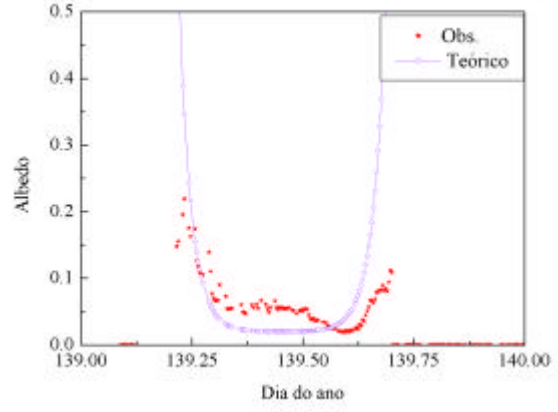


Figura A7: Evolução temporal do albedo da superfície, observado durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias **(a)** 135; **(b)**136; **(c)** 137 e **(d)** 138 e **(e)** 139.

(f) **(g)**

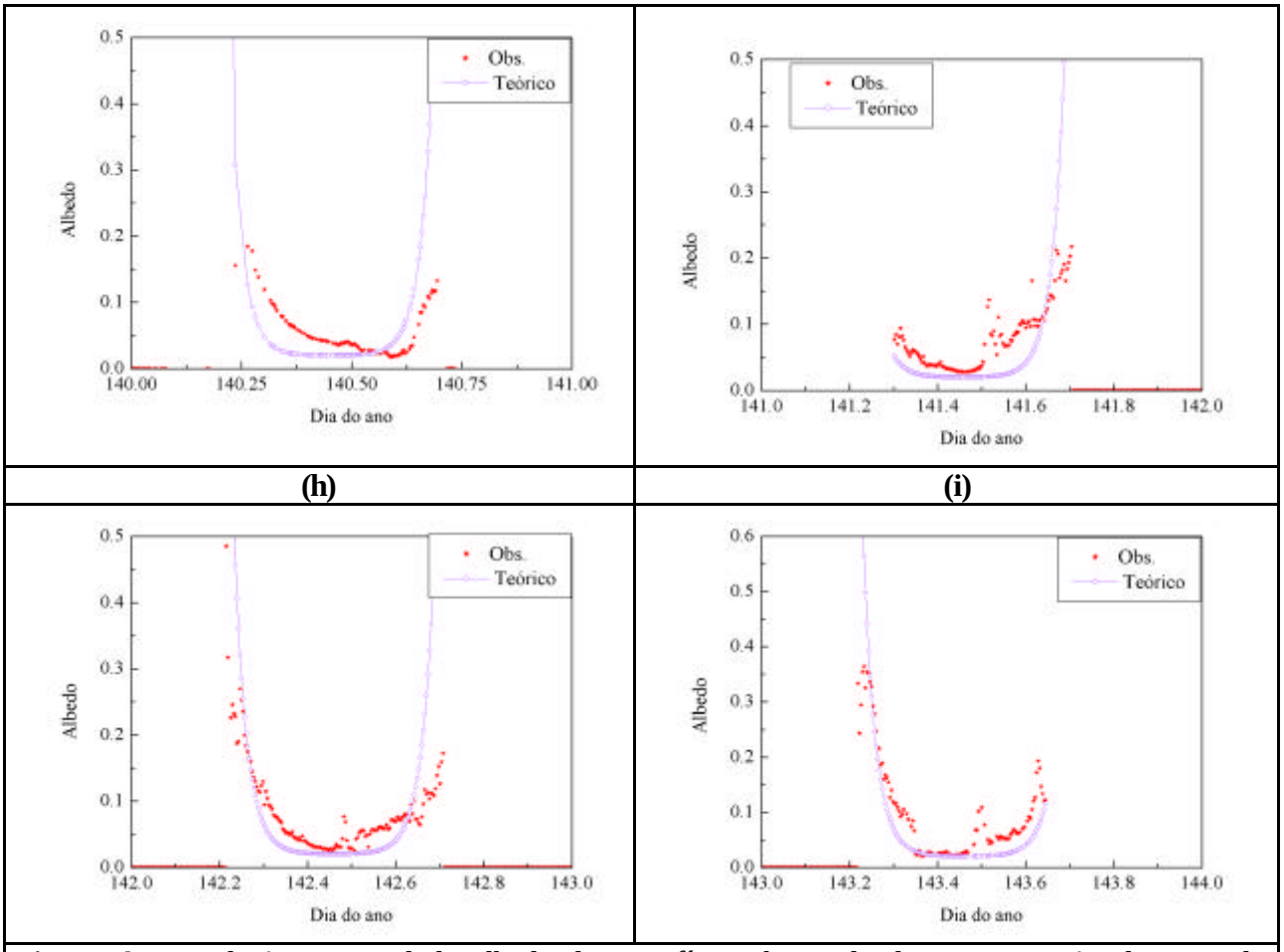
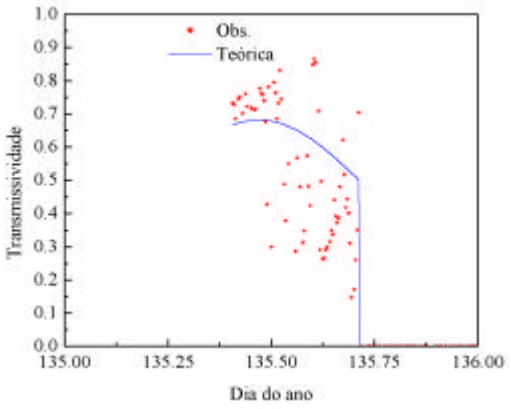
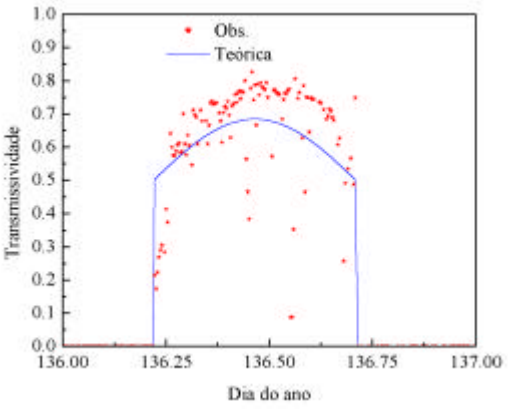
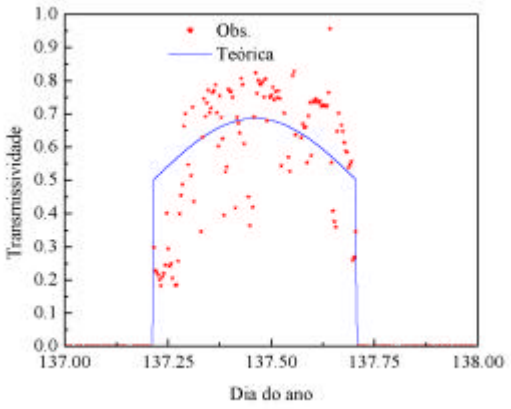
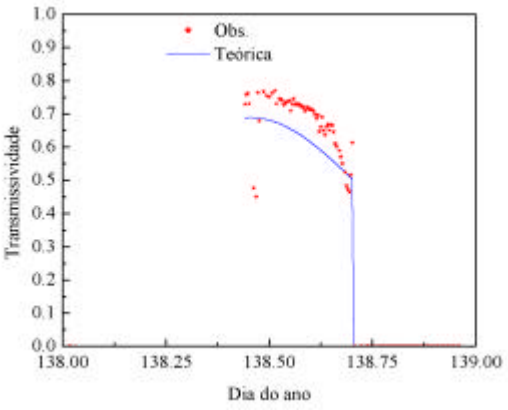
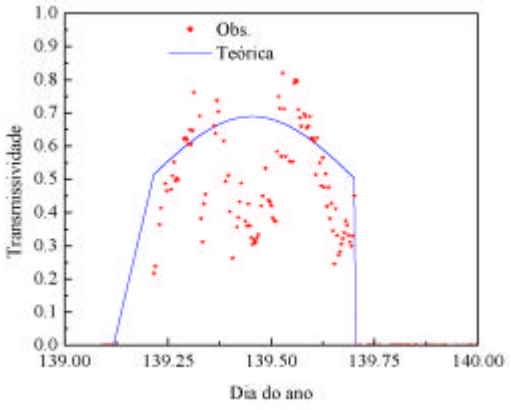
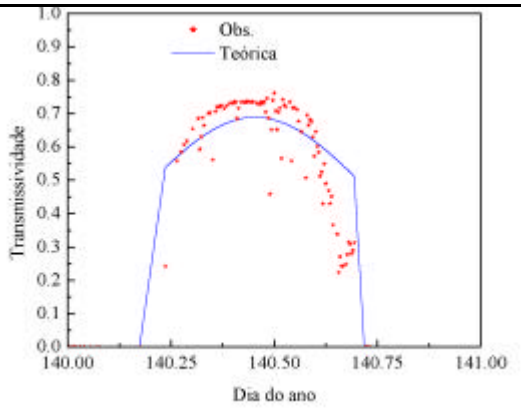
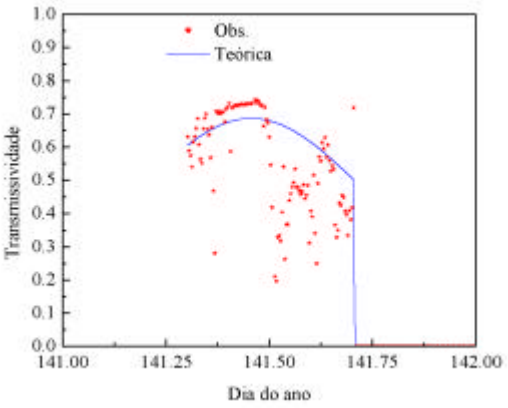


Figura A7: Evolução temporal do albedo da superfície, observado durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias (**f)** 140; **(g)**141; **(h)** 142 e **(i)** 143.

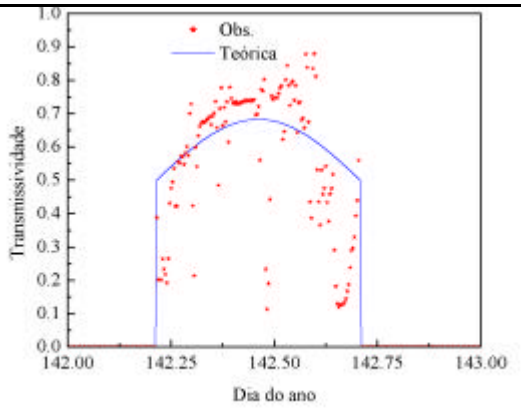
(a)	(b)
	
(c)	**(d)**
	
(e)	
	**Figura A8:** Evolução temporal da transmissividade da atmosfera, observada durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias **(a)** 135; **(b)**136; **(c)** 137 e **(d)** 138 e **(e)** 139.

(f)	(g)





(h) **(i)**



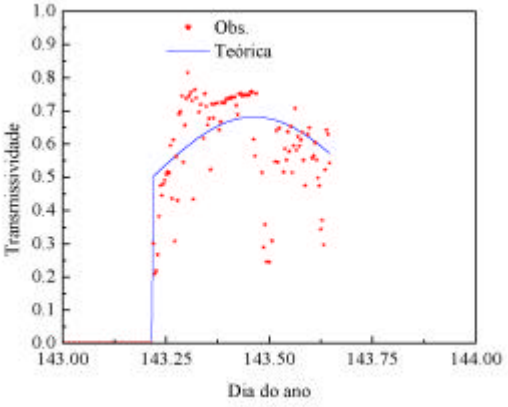
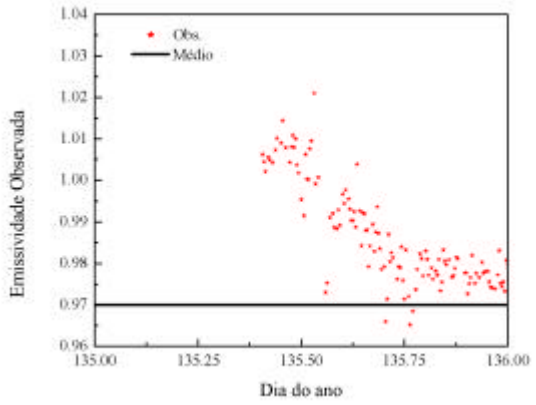
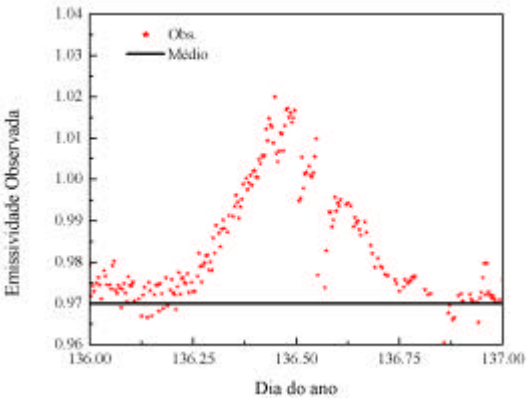
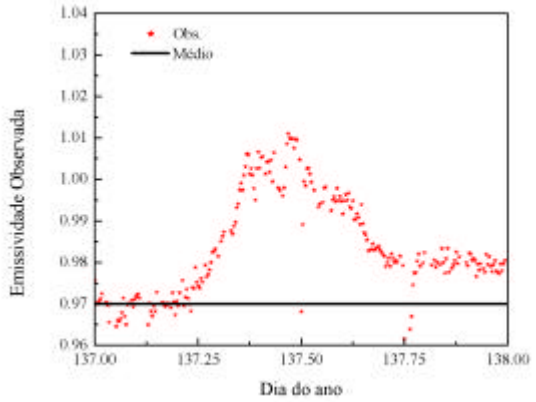
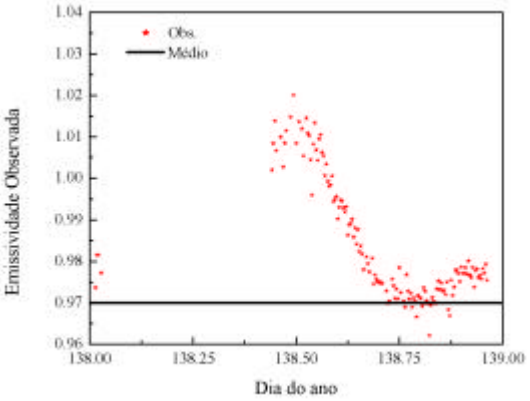
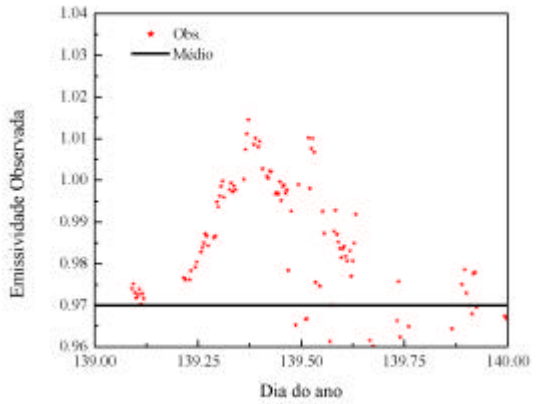
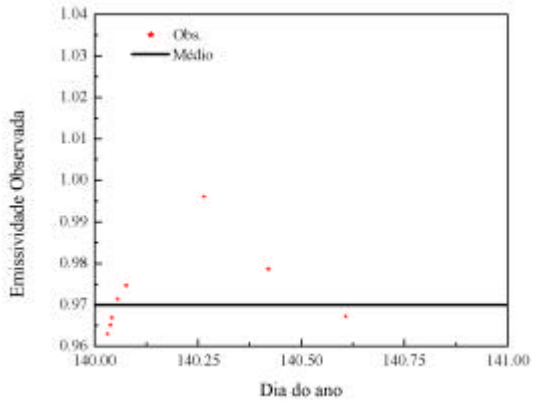
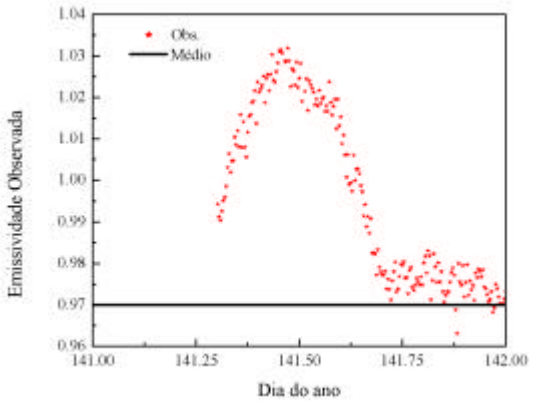


Figura A8: Evolução temporal da transmissividade da atmosfera, observada durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias (**f)** 140; **(g)**141; **(h)** 142 e **(i)** 143.

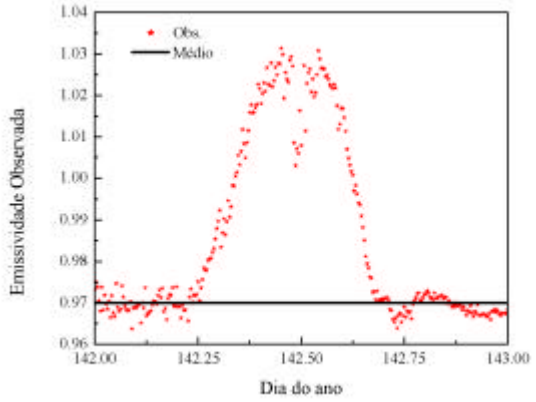
(a)	(b)
	
(c)	**(d)**
	
(e)	
	**Figura A9:** Evolução temporal da emissividade da superfície do mar, observadas durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias **(a)** 135; **(b)**136; **(c)** 137 e **(d)** 138 e **(e)** 139.

(f)	(g)





(h) **(i)**



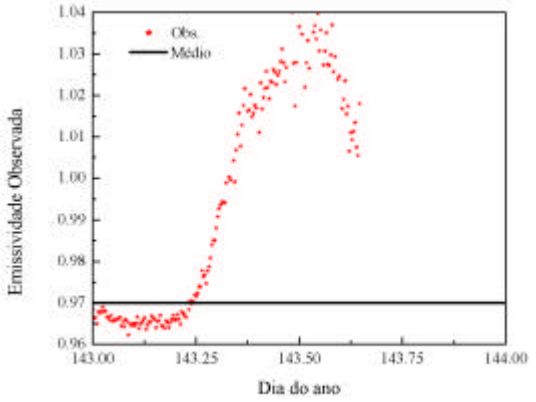
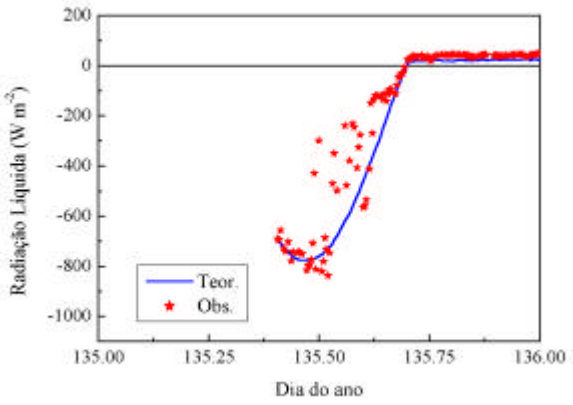
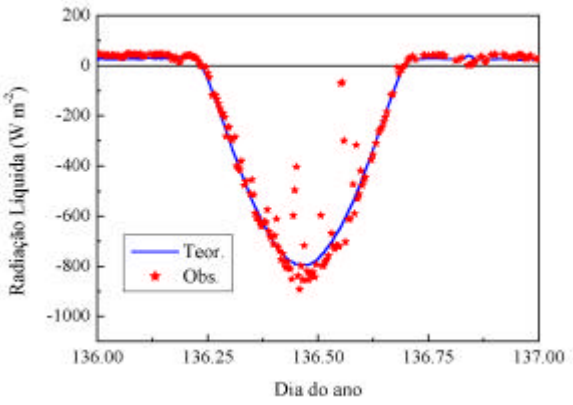
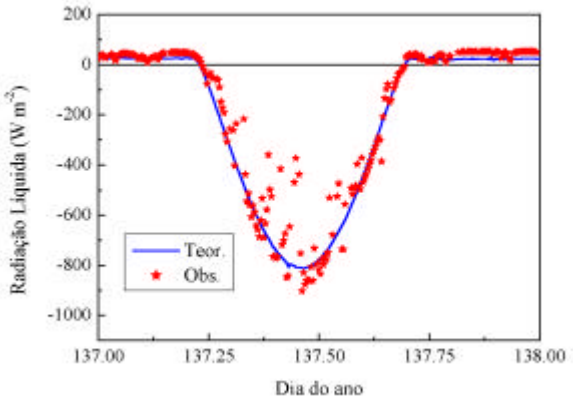
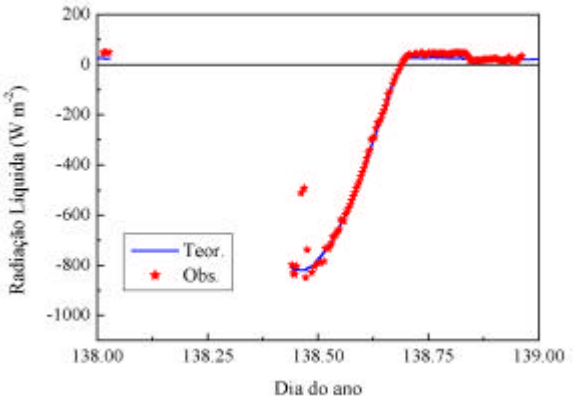
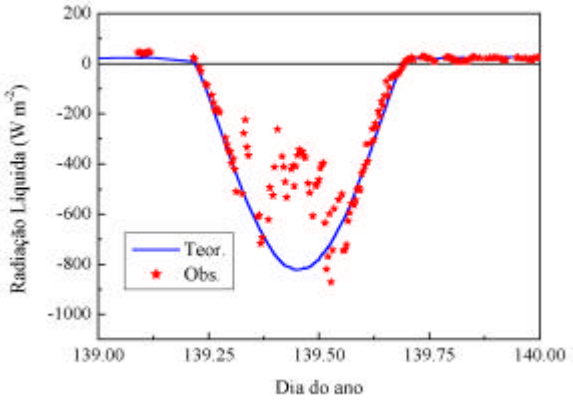
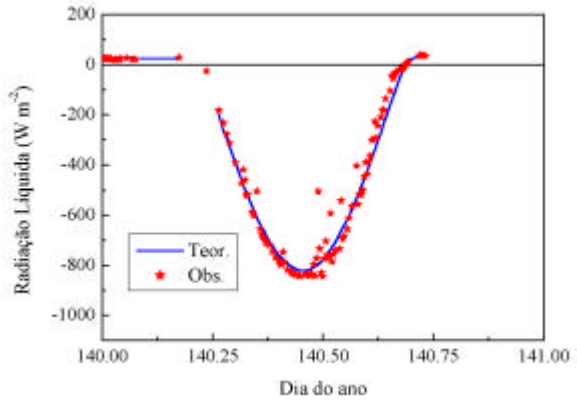


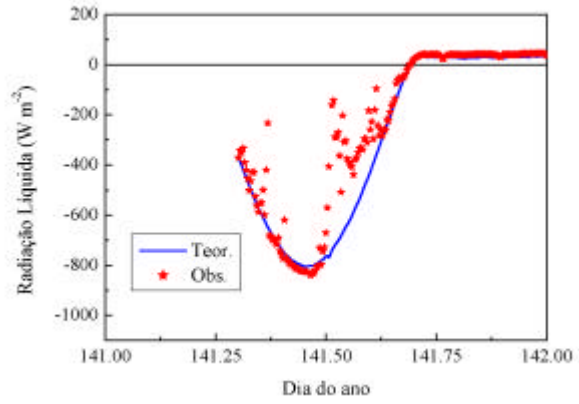
Figura A9: Evolução temporal da emissividade da superfície do mar, observadas durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias **(f)** 140; **(g)**141; **(h)** 142 e **(i)** 143.

(a)	(b)
	
(c)	**(d)**
	
(e)	
	**Figura A10:** Evolução temporal da radiação líquida observada durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias **(a)** 135; **(b)**136; **(c)** 137 e **(d)** 138 e **(e)** 139.

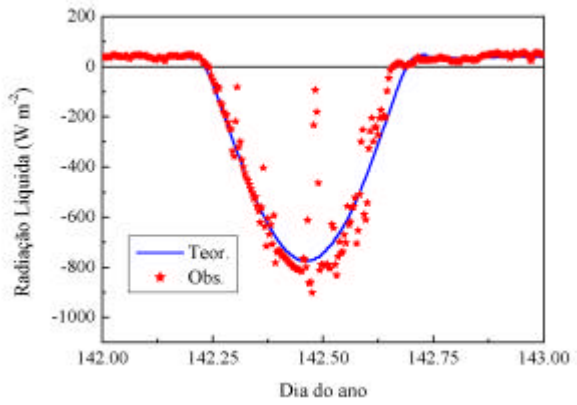
(f)	(g)



(h)



(i)



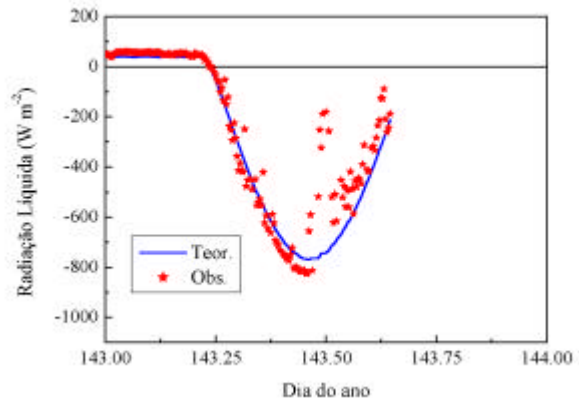


Figura A10: Evolução temporal da radiação líquida observada durante a missão de maio de 2002, medidas nos dias (**f)** 140; **(g)**141; **(h)** 142 e **(i)** 143.

Sumário do apêndice A

Item	Descrição	Pág
A1	Distância, velocidade e direção percorridas pelo navio	48
A2	Componentes da velocidade do ar em relação à superfície e ao navio	50
A3	Temperatura do ar e do mar	52
A4	Umidade específica e pressão de vapor	54
A5	Onda Longa da superfície e da atmosfera	56
A6	Onda Curta refletida e incidente	58
A7	Albedo da superfície	60
A8	Transmissividade da atmosfera	62
A9	Emissividade observada	64
A10	Radiação líquida	66

Apêndice B:
Programa analise_navio

Aqui é a apresentada a última impressão do programa Fortran que analisa os dados da campanha de medidas de 2002.

Apêndice B:

Programa analise_navio

Aqui é a apresentada a última impressão do programa Fortran que analisa os dados da campanha de medidas de 2002.

Não consta na versão para internet.