

Universidade de São Paulo – USP
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG
Departamento de Ciências Atmosféricas
Grupo de Interação Ar-Mar

**Estudo do balanço de radiação sobre o oceano Atlântico tropical na região do
Arquipélago de São Pedro e São Paulo**

ALUNA: Lívia Márcia Mosso Dutra

ORIENTADORA: Jacyra Soares

BOLSA CNPq N ° 115890/2008-4

Vigência: 2008/2009

Relatório Final de atividades
Período: Agosto de 2008 a Agosto de 2009

Agosto de 2009

ÍNDICE

Resumo	3
1. Introdução	4
1.1 Objetivos	5
1.2 Região e dados de estudo	6
1.2.1 Região de estudo	6
1.2.2 Projeto PIRATA	7
1.2.3 Projeto SRB	9
1.2.4 Dados utilizados	10
2. Cálculo da radiação incidente no topo da atmosfera	10
3. Verificação dos dias de céu claro	12
4. Albedo da superfície	15
5. Temperatura da superfície do mar	22
6. Análise das componentes de radiação	23
6.1 Onda curta incidente na superfície	23
6.2 Onda curta refletida pela superfície	26
6.3 Onda longa emitida pela atmosfera	30
6.4 Onda longa emitida pela superfície	33
7. Transmissividade da atmosfera	35
8. Balanço de onda curta	37
9. Balanço de onda longa	38
10. Balanço de radiação	39
11. Balanço de energia	40
12. Conclusões	41
13. Referências	44
14. Outras atividades	45
14.1 Disciplinas cursadas	45
14.2 Participações em eventos	45
14.3 Prêmios recebidos	46

Resumo

O objetivo principal deste trabalho de pesquisa consiste em caracterizar os parâmetros radiométricos da atmosfera e do oceano na região do arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), localizado em mar aberto no oceano Atlântico tropical. O trabalho está vinculado ao projeto FluTuA (Fluxos Turbulentos sobre o Atlântico), que utiliza uma torre micrometeorológica de dez metros de altura instalada no ASPSP.

O FluTuA tem como objetivo investigar a interação oceano-atmosfera através da determinação observacional de parâmetros meteorológicos e oceanográficos no oceano Atlântico Tropical.

Na primeira etapa do trabalho (apresentada no relatório parcial de atividades), realizou-se um levantamento bibliográfico relativo à região do ASPSP, o que possibilitou um melhor conhecimento do local de estudo. As componentes de onda curta (OC) do balanço de radiação na região do arquipélago foram obtidas através de banco de dados meteorológicos disponíveis na Internet. Verificou-se a evolução diurna destas componentes, bem como das propriedades radiométricas da atmosfera (transmissividade) e da superfície (albedo).

Através da análise da evolução temporal da OC incidente (OC_{\downarrow}), foi possível verificar os dias de céu claro (sem nuvens) ocorridos na região de estudo, para todo o período de dados disponível. A radiação incidente no topo da atmosfera (TOA) também foi calculada, para auxiliar a análise.

Nesta segunda etapa do trabalho, as componentes de onda longa (OL) também foram obtidas para a região do arquipélago. Analisou-se a evolução diurna destas componentes, e o balanço de radiação foi obtido e discutido. Analisou-se também o balanço de OC e OL, e ainda o balanço de energia, para o qual foram utilizados dados e resultados obtidos de estudo anterior da bolsista (Dutra, 2008).

O projeto proposto denomina-se “*Estudo do balanço de radiação sobre o oceano Atlântico tropical na região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo*”, e os resultados obtidos serão futuramente comparados aos resultados do FluTuA.

1. Introdução

Estudos sobre mudanças climáticas levantaram o problema da pouca informação existente sobre a interação ar-mar em micro escala. As discrepâncias entre os resultados de modelos numéricos climáticos são conhecidas em todo o mundo e são particularmente importantes sobre as regiões tropicais e subtropicais do oceano Atlântico no hemisfério do sul. Nessa região, os modelos climáticos divergem sobre a intensidade das componentes do balanço de radiação (WGASF, 2000). Para avaliar a incerteza dos valores climáticos e melhorar o conhecimento da climatologia da interação oceano-atmosfera é necessário dados de medidas *in situ*. Entretanto, praticamente não há medidas *in situ* sobre o oceano Atlântico Tropical em mar aberto, mas há resultados de modelos numéricos e de satélites sobre a região em estudo.

Devido a essa 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 (Wainer *et al.*, 2003).

Além de mudanças climáticas, o conhecimento do balanço de energia na interface ar-mar é importante para estudos diagnósticos e prognósticos aplicados à previsão numérica, às atividades de monitoramento ambiental que utilizam modelos operacionais de dispersão de poluentes atmosféricos e oceânicos, estudos oceanográficos, estudos dos ciclos biogeoquímicos, modelos de previsão de onda, engenharia marinha, etc.

De acordo com MacWhorter and Weller (1991) medidas de radiação solar sobre o oceano, realizadas em navios ou bóias, contém muitos erros devido ao movimento da plataforma.

Este projeto pretende investigar o balanço de radiação e as propriedades radiométricas sobre o oceano Atlântico tropical, usando observações já existentes de diferentes fontes. Posteriormente, esses dados serão comparados aos dados obtidos observacionalmente, no âmbito do projeto FluTuA (Fluxos Turbulentos sobre o Atlântico).

1.1 Objetivos

Este trabalho visa a descrição e análise das propriedades radiométricas da atmosfera e do oceano na região do ASPSP. Os objetivos já concluídos na etapa inicial do trabalho foram:

- Realizou-se um levantamento bibliográfico relativo à região do ASPSP, o que possibilitou um melhor conhecimento da região de estudo;
- Obteve-se as componentes de radiação de onda curta (OC) na região do arquipélago, através de banco de dados meteorológicos disponíveis na Internet;
- Realizou-se o tratamento dos dados de radiação de OC, e verificou-se sua evolução diurna;
- Obteve-se a radiação total incidente no topo da atmosfera (TOA);
- Verificou-se os dias de céu claro (sem nuvens) ocorridos na região de estudo;
- Verificou-se a evolução diurna das propriedades radiométricas da atmosfera (com expressões gerais de transmissividade) e da superfície (albedo) disponíveis na literatura e testadas para condições oceânicas abertas em latitudes tropicais.

A atual fase do trabalho tem como objetivos:

- Obter as componentes de radiação de onda longa (OL) na região do ASPSP;
- Verificar a evolução média diurna da radiação de OL;
- Analisar o balanço de OC e de OL para a região do arquipélago;
- Obter o balanço de radiação na região;

- Obter o balanço de energia na região, utilizando dados e resultados obtidos de um estudo anterior da aluna bolsista (Dutra, 2008), em que foi realizada a caracterização dos fluxos não radiativos na região do arquipélago.

Posteriormente, os resultados obtidos neste trabalho serão comparados aos resultados obtidos no âmbito do projeto FluTuA.

1.2 Região e dados de estudo

1.2.1 Região de estudo

O arquipélago é formado por um grupo de pequenas ilhas rochosas, desabitadas e desprovidas de qualquer tipo de vegetação, localizadas a cerca de 1.100 quilômetros do litoral do estado do Rio Grande do Norte ($00^{\circ} 56' N$ e $29^{\circ} 22' W$). Trata-se de uma região privilegiada para o desenvolvimento de pesquisas meteorológicas e oceanográficas. Devido a sua topografia suave, o ASPSP apresenta condições ideais para a obtenção da caracterização climatológica da camada limite superficial sobre o oceano Atlântico Tropical.

No intuito de realizar um levantamento das variáveis meteorológicas médias da região foram utilizados dados obtidos por bóias do PIRATA (Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic), e do SRB (Surface Radiation Budget), projeto que utiliza modelos pertencentes a NASA (National Aeronautics and Space Administration). Como pode ser visto (*Figura 1*), o ASPSP situa-se no meio das duas bóias escolhidas, um pouco acima da linha do Equador, e os pontos de grade utilizados da NASA são os mais próximos do arquipélago.

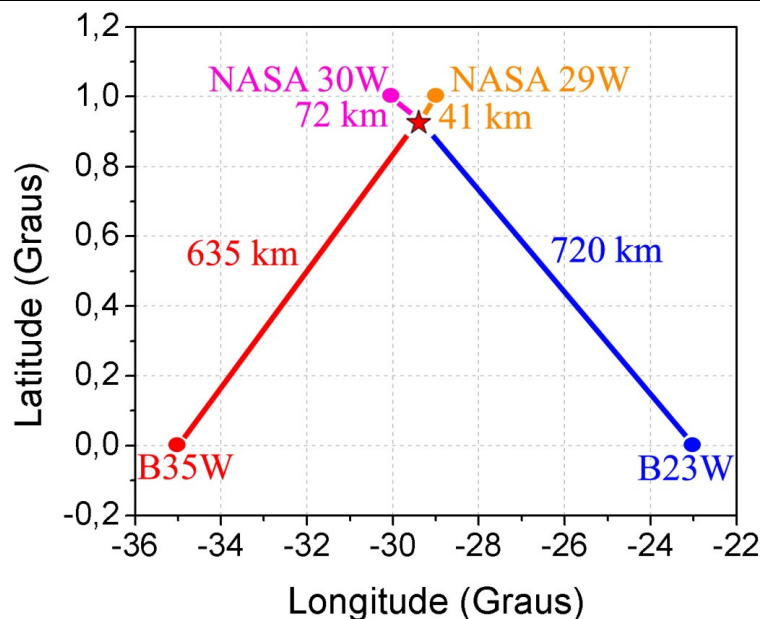


Figura 1: Localização geográfica do ASPSP, das bóias PIRATA em (0°N, 35°W) e em (0°N, 23°W), e dos pontos de grade utilizados da NASA em (1°N, 29°W) e em (1°N, 30°W).

1.2.2 Projeto PIRATA – Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic

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

Este trabalho utiliza dados obtidos por duas bóias oceanográficas do PIRATA, uma situada em (0°N, 23°W) (B23W) e outra em (0°N, 35°W) (B35W). Elas foram escolhidas por serem as mais próximas ao ASPSP, estando a respectivamente 720 e 635 quilômetros aproximados de distância.

Nas bóias PIRATA, a radiação de $OC\downarrow$ (onda curta incidente na superfície) e a radiação de $OL\downarrow$ (onda longa emitida pela atmosfera) estão disponíveis numa resolução de dois minutos, e são medidas a uma altura de 3,5 metros acima do nível médio do mar. Nos

dados PIRATA, não estão disponíveis medidas de $OC\uparrow$ (onda curta refletida pela superfície) e $OL\uparrow$ (onda longa emitida pela superfície). A *Figura 2* é um exemplo da bóia utilizada para a aquisição dos dados:

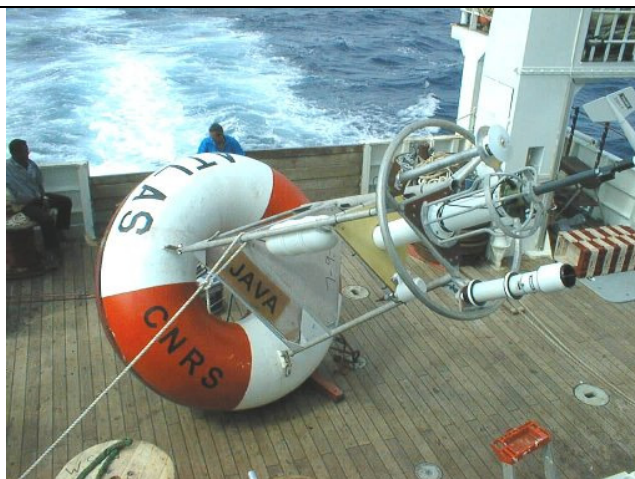


Figura 2: Bóia PIRATA utilizada na aquisição das variáveis meteorológicas e oceanográficas.

Os dados do projeto PIRATA são disponibilizados em formato ASCII. Eles foram inicialmente transformados em arquivo texto, para facilitar seu tratamento e análise. Ressalta-se também que as séries temporais disponíveis no site do PIRATA possuem dados com falhas temporais devido, provavelmente, a fatores técnicos.

O período disponível de $OC\downarrow$ para a bóia B23W é de 1999 até 2007, e para a bóia B35W de 1998 a 2007. Já para a $OL\downarrow$, o período de dados disponível é mais curto: de junho de 2006 a setembro de 2008.

Nesta etapa do trabalho, utilizaram-se também dados PIRATA de temperatura da superfície do mar (TSM), medida em uma profundidade de 1 metro, em uma resolução de 10 minutos. O período de dados de TSM disponível para a bóia B23W é mais longo (1999 - 2006) em relação ao disponível para a bóia B35W (1998 - 2002).

1.2.3 Projeto SRB – Surface Radiation Budget

Projeto cujos dados são obtidos através de modelos pertencentes a NASA (National Aeronautics and Space Administration). Os dados estão disponíveis no endereço http://eosweb.larc.nasa.gov/HPDOCS/projects/rad_budg.html.

Foram utilizados dados de $OC\downarrow$, $OC\uparrow$, $OL\downarrow$ e $OL\uparrow$ em menor resolução (três em três horas, num total de apenas oito dados por dia). O período utilizado foi de janeiro de 2000 a junho de 2005, e os dados foram extraídos em dois pontos de grade do modelo: (1°N, 30°W) e (1°N, 29°W).

Para extrair os dados, a NASA exige que o usuário possua um IP real em seu computador. A obtenção dos dados é trabalhosa, pois só é possível extrair um mês de dados a cada vez, e os arquivos a serem baixados da Internet são muito grandes, já que possuem dados de todo o globo. Não é possível extrair dados diretamente de uma região desejada.

Inicialmente, os arquivos são disponibilizados em forma binária e é necessário transformá-los em arquivo tipo ASCII e separar o ponto de grade da região desejada. Este procedimento é feito utilizando um programa em linguagem Fortran. Os dados já separados utilizados neste trabalho foram cedidos por um aluno que já os havia utilizado (Peres, 2008).

1.2.4 Dados utilizados

A *Tabela 1* resume os dados utilizados neste trabalho.

Tabela 1: Dados e suas respectivas fontes utilizadas no trabalho.

Parâmetro	Símbolo	Fonte	Posição geográfica	Período	Resolução
Onda curta incidente	O C↓	PIRATA	(0°N, 23°W) (0°N, 35°W)	1999 - 2007 1998 - 2007	2 minutos
		NASA (SRB)	(1°N, 29°W) (1°N, 30°W)	2000 - 2005	3 horas
Onda curta refletida	O C↑	NASA (SRB)	(1°N, 29°W) (1°N, 30°W)	2000 - 2005	3 horas
Onda longa emitida pela atmosfera	O L↓	PIRATA	(0°N, 23°W)	2006 - 2008	2 minutos
		NASA (SRB)	(1°N, 29°W) (1°N, 30°W)	2000 - 2005	3 horas
Onda longa emitida pela superfície	O L↑	NASA (SRB)	(1°N, 29°W) (1°N, 30°W)	2000 - 2005	3 horas
Temperatura da superfície do mar	TSM	PIRATA	(0°N, 23°W) (0°N, 35°W)	1999 - 2006 1998 - 2002	10 minutos

2. Cálculo da radiação incidente no topo da atmosfera

A seguir são descritos os cálculos e procedimentos numéricos realizados para a obtenção da radiação solar incidente no topo da atmosfera (TOA). Este cálculo auxilia a posterior identificação dos dias de céu claro, além de possibilitar o cálculo da transmissividade atmosférica.

A radiação solar no TOA (I_0) foi estimada pela expressão:

$$I_0 = S_0 \left(\frac{d_m}{d} \right)^2 \cos \gamma \quad (1)$$

onde S_0 é a constante solar média (1366 W m^{-2}), d_m e d são respectivamente as distâncias média e real entre o Sol e a Terra, e γ é o ângulo solar zenital, calculado por:

$$\cos \gamma = \sin(\delta) \sin(\phi) + \cos(\delta) \cos(\phi) \cos(h) \quad (2)$$

onde δ é a declinação solar, ϕ é a latitude e h é o ângulo horário calculado pela expressão (3):

$$h = \left[GMT + \frac{\lambda}{15} - (12 - E_T) \right] \frac{2\pi}{24} \quad (3)$$

onde GMT é o horário de Greenwich em que se deseja calcular a radiação incidente no topo, λ é a longitude (em graus) e E_T é a equação do tempo.

A declinação solar, a distância Terra-Sol e a equação do tempo foram estimadas pelas expressões empíricas:

$$\delta = a_1 + a_2 \cos(\theta) + a_3 \sin(\theta) + a_4 \cos(2\theta) + a_5 \sin(2\theta) \quad (4)$$

$$\left(\frac{d_m}{d} \right)^2 = b_1 + b_2 \cos(\theta) + b_3 \sin(\theta) + b_4 \cos(2\theta) + b_5 \sin(2\theta) \quad (5)$$

$$E_T = c_1 + c_2 \cos(\theta) + c_3 \sin(\theta) + c_4 \cos(2\theta) + c_5 \sin(2\theta) \quad (6)$$

onde $\theta = 2\pi d / 356$ é calculado em termos do dia do ano, sendo $d=0$ para 1 de Janeiro e $d=364$ para 31 de Dezembro.

Os coeficientes utilizados nas expressões (4) a (6) seguem na *Tabela 2*:

<i>Tabela 2: Constantes utilizadas no cálculo empírico da declinação solar, da distância Terra-Sol e da equação do tempo.</i>					
δ		$(d/d_m)^2$		E_T	
a_1	0,006918	b_1	0,0172	c_1	0,000075
a_2	-0,399912	b_2	0,4281	c_2	0,001868
a_3	0,070257	b_3	-7,3515	c_3	-0,032077
a_4	-0,006758	b_4	-3,3495	c_4	-0,014615
a_5	0,000908	b_5	-9,3619	c_5	-0,04089

Todos os cálculos foram realizados em linguagem de programação Fortran. Calculou-se o valor de I_0 para cada horário disponível de dados de OC↓ do PIRATA. Os resultados foram plotados junto aos dados PIRATA medidos *in situ* para cada dia disponível, conforme descrito adiante.

A $OC\downarrow$ no topo também foi calculada para as regiões dos dados da NASA.

3. Verificação dos dias de céu claro

Uma forma de verificar os dias de céu claro (sem nuvens) na região de estudo é através da análise da evolução temporal da $OC\downarrow$ medida pelos sensores. Em um dia de céu claro, esta evolução é praticamente contínua e não apresenta variações abruptas em sua intensidade. Já em um dia nublado, a intensidade de onda curta incidente na superfície medida no sensor é menor (já que as nuvens presentes na atmosfera refletem parte da radiação incidente), e nota-se variações significativas em sua evolução diária. As *Figuras 3* e *4* ilustram exemplos de dias de céu claro e não-claro, respectivamente, obtidas com os dados PIRATA.

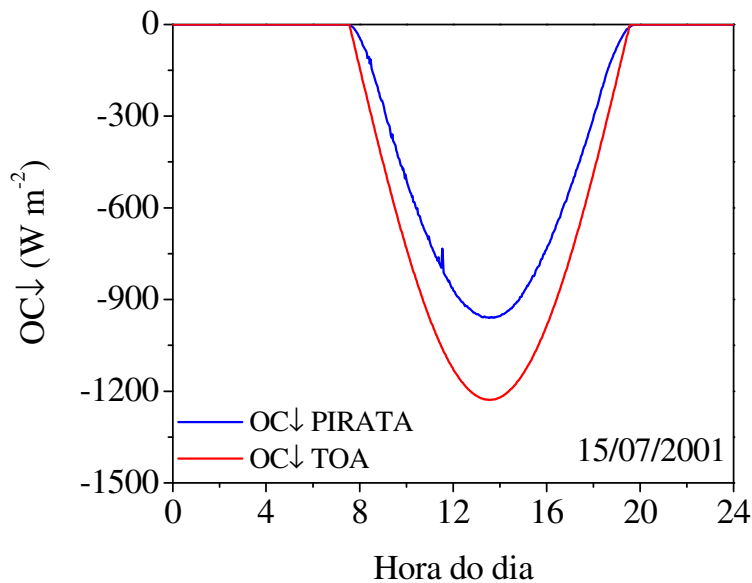


Figura 3: Exemplo de um dia de céu claro. Em vermelho, a $OC\downarrow$ calculada no TOA, e em azul a $OC\downarrow$ medida *in situ* do PIRATA ($W m^{-2}$), na região da bóia B23W, para o dia 15/07/2001.

Na *Figura 3*, a diferença entre a componente medida na superfície e a que chega no topo se deve ao fato da atmosfera não transmitir 100% da radiação de onda curta incidente; seus constituintes (aerossóis, gases, etc) absorvem e refletem, diminuindo o total que chegaria à superfície.

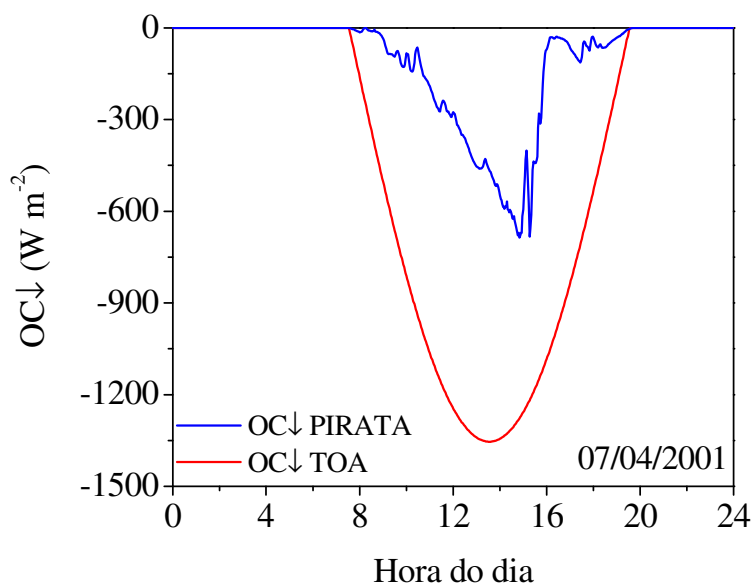


Figura 4: Exemplo de um dia de céu não-claro. Em vermelho, a OC↓ calculada no TOA, e em azul a OC↓ medida *in situ* do PIRATA (W m^{-2}), na região da bóia B23W, para o dia 07/04/2001.

Comparando as *Figuras 3 e 4*, nota-se que a diferença entre um dia de céu claro e um dia de céu não claro é visível; analisando a *Figura 4*, conclui-se que no dia 07/04/01, a região da bóia B23W permaneceu com nuvens, como indicado pelas variações abruptas e menor intensidade da radiação solar.

Para verificar quantos e quais foram os dias de céu claro que ocorreram na região das bóias PIRATA durante todo o período de dados disponível, desenvolveu-se um programa em Shell script, que lê os arquivos de dados e plota automaticamente a evolução da OC↓ medida na superfície das bóias e da OC↓ que chega no TOA (calculada pela expressão 1). O programa foi feito de forma a gerar um arquivo diferente para cada dia, como nos exemplos das *Figuras 3 e 4*. Ao total, foram geradas 5983 figuras, das quais 2778 eram referentes à bóia B23W (anos 1999 a 2006) e 3205 referentes à bóia B35W (anos 1998 a 2006). Entretanto, na análise desconsiderou-se totalmente o ano 1998 e parte do início de 1999 da bóia B35W, devido a este período apresentar significativa quantidade de dados faltando em todos os dias. Desta forma, restaram 2814 dias da bóia B35W para prosseguir com a análise.

Com a análise visual de cada figura gerada, foi possível identificar os dias de céu claro. Nos histogramas da *Figura 5*, observa-se a frequência dos dias de céu claro em cada mês do ano, para a região das duas bóias PIRATA.

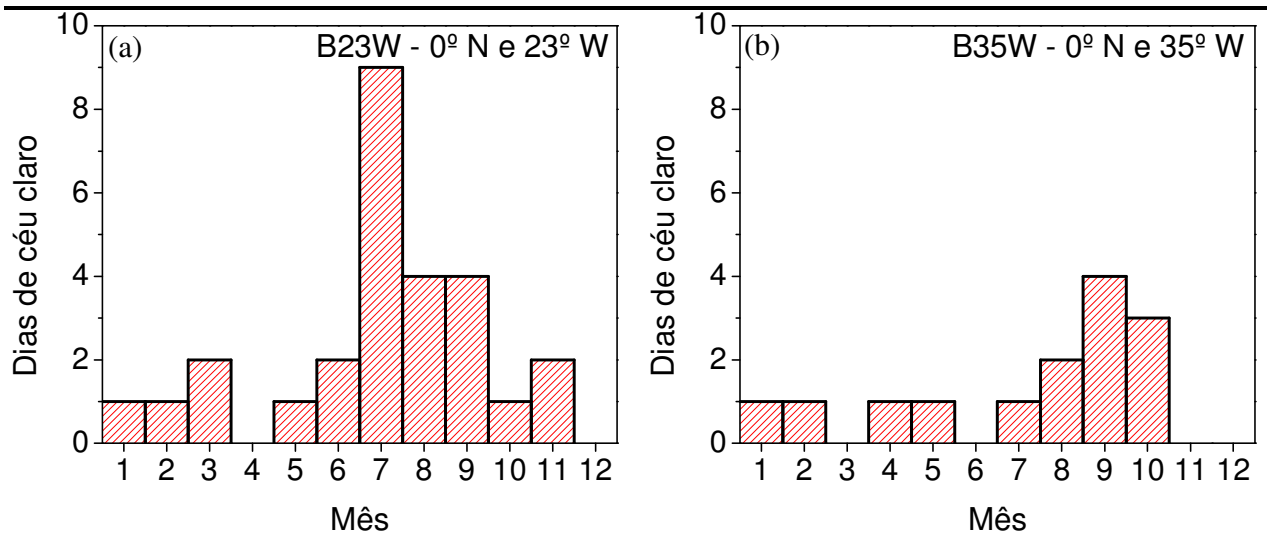


Figura 5: Histograma da frequência de dias de céu claro, para a região das bóias (a) B23W e (b) B35W do PIRATA. A análise foi feita com todo o período disponível de medidas.

Para a bóia B23W, dos 2778 dias analisados apenas 27 não estiveram nublados (*Figura 5a*), enquanto para a bóia B35W, apenas 14 dos 2814 dias foram verificados como claros (*Figura 5b*); conclui-se assim que dias de céu claro são pouco frequentes na região estudada, não chegando a representar 1% do total.

Os meses que mais apresentaram dias de céu claro foram julho e setembro, respectivamente para as bóias B23W e B35W. O mês de dezembro não apresentou nenhum dia claro, em todo o período analisado de ambas as bóias.

Observa-se também que em ambas as regiões, o segundo semestre do ano (julho a dezembro) apresentou mais dias de céu claro que o primeiro semestre (janeiro a junho). Um estudo anterior (Skielka, 2006) verificou que a precipitação na região das bóias é maior no primeiro semestre do ano, quando a Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT) encontra-se em sua posição mais ao Sul.

A ZCIT apresenta um ciclo de aproximadamente um ano, estando entre 2°S e 1°N (região de estudo) nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, e entre 8°N e 14°N nos

meses de junho, julho e agosto (Hanstenrath and Heller, 1997; Citeau *et al.*, 1988; Nobre e Molion, 1998). A ZCIT está associada a nuvens convectivas e tempestades.

4. Albedo da superfície

Para as regiões dos dados utilizados da NASA, calculou-se o albedo a partir dos dados observados de radiação solar incidente e refletida pela superfície:

$$\alpha = -\frac{OC \uparrow}{OC \downarrow} \quad (7)$$

Para as regiões dos dados PIRATA, não é possível calcular o albedo observado (expressão 7), pois não há dados de $OC \uparrow$ observados. Contudo, o albedo também pode ser estimado baseado na expressão de Fresnel (expressão 8), proposta por Cogley (1979) e válida para dias de céu claro.

$$\alpha_{teórico} = 0,50 \left[\frac{\text{sen}^2(z-r)}{\text{sen}^2(z+r)} + \frac{\text{tan}^2(z-r)}{\text{tan}^2(z+r)} \right] \quad (8)$$

onde r é o ângulo de refração da luz na água, dado por:

$$r = \arcsen \left[\frac{\text{sen}(z)}{n} \right] \quad (9)$$

onde n é o índice de refração da água do mar, igual a 1,33 (Cogley, 1979).

A *Figura 6* ilustra o albedo estimado pela expressão (8), em função da elevação do Sol e do ângulo zenital solar.

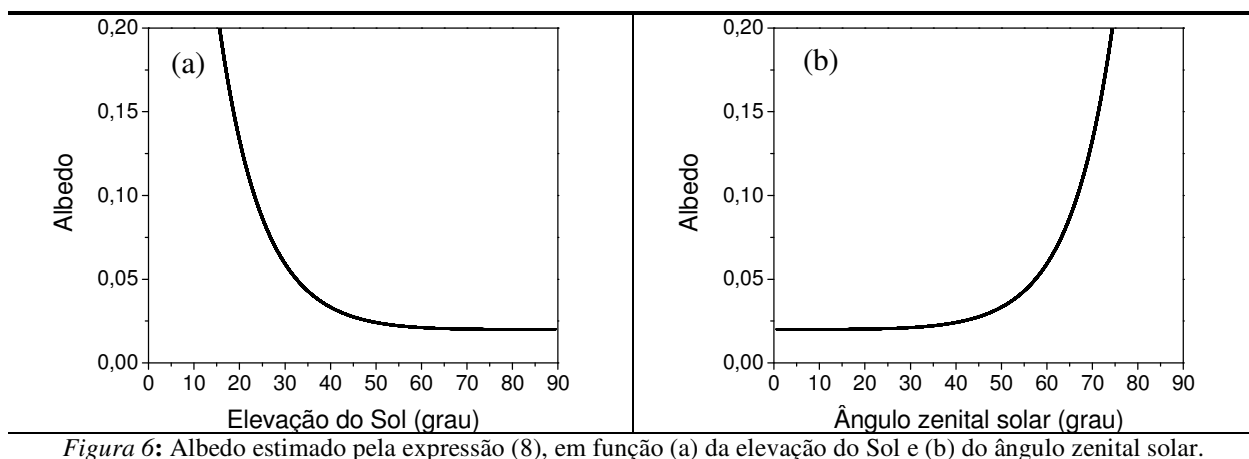


Figura 6: Albedo estimado pela expressão (8), em função (a) da elevação do Sol e (b) do ângulo zenital solar.

Na Figura 6, observa-se que o albedo estimado para a superfície do mar é maior nos instantes em que o Sol está mais próximo ao horizonte. Para ângulos zenitais de até 40°, o albedo teórico é em média 0,02.

Nas Figuras 7 e 8, seguem respectivamente os histogramas do albedo observado (equação 7) e teórico (expressão 8) para os pontos de grade da NASA. Os cálculos foram feitos para os horários disponíveis (de três em três horas), e portanto não é possível avaliar a intensidade do ciclo diurno do albedo na região.

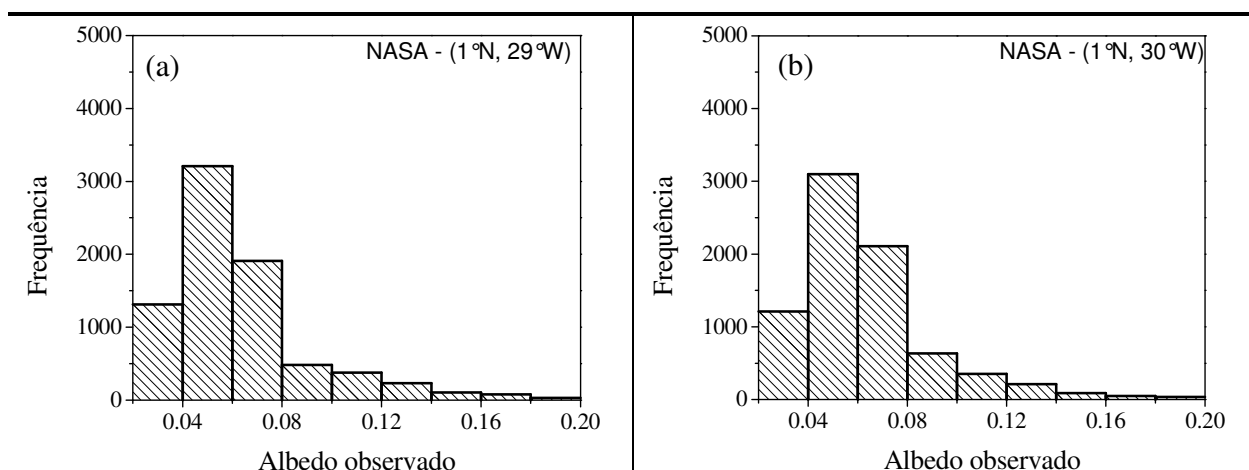


Figura 7: Histograma do albedo observado (equação 7), para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

Analisando a Figura 7, nota-se que a distribuição da intensidade do albedo observado apresentou comportamento semelhante em ambas as regiões de dados da NASA. Tanto em (1°N, 29°W) quanto em (1°N, 30°W), a intensidade de maior frequência do

albedo observado está entre 0,04 e 0,06. É importante lembrar que a resolução dos dados da NASA é de três em três horas (0h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h e 21h, horário de Greenwich).

Na *Figura 8* seguem os histogramas do albedo teórico em alta resolução (2 em 2 minutos) para a região das bóias PIRATA. Como os cálculos foram feitos em pequenos intervalos de tempo, é possível analisar nestes histogramas a distribuição diária da intensidade do albedo teórico.

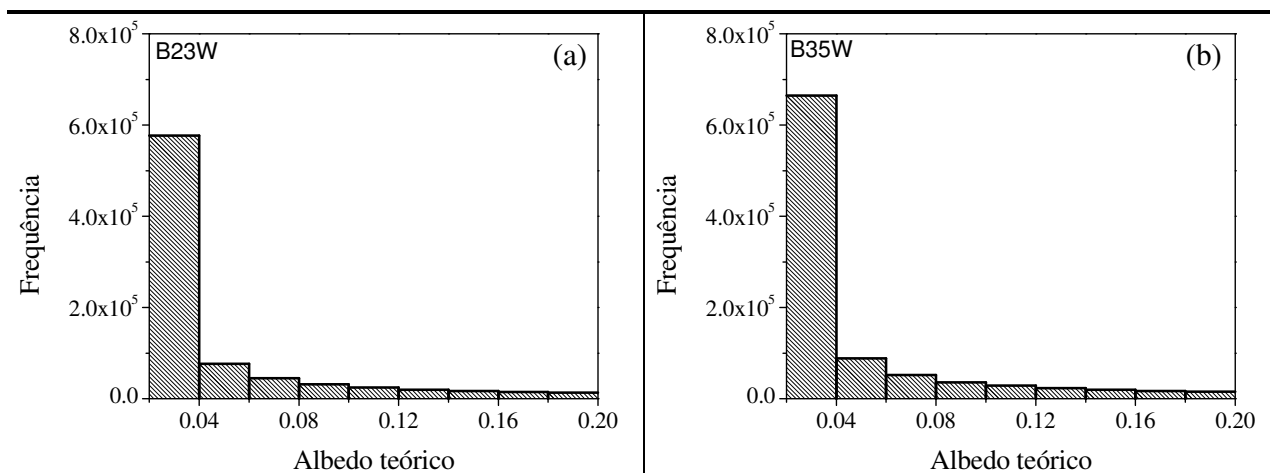


Figura 8: Histograma do albedo teórico (expressão 8), para a região das bóias PIRATA, em (a) (0°N, 23°W) e em (b) (0°N, 35°W).

Na *Figura 8*, nota-se que o intervalo de intensidade de maior frequência para o albedo teórico está entre 0,02 e 0,04. Nota-se também que quanto maior é o intervalo, menor é a frequência em que ocorrem.

A *Figura 9* apresenta o albedo teórico e o observado em função da elevação do Sol, para as regiões dos pontos de grade utilizados da NASA. Para o albedo observado, utilizou-se todo o período de dados disponível (janeiro de 2000 a junho de 2005).

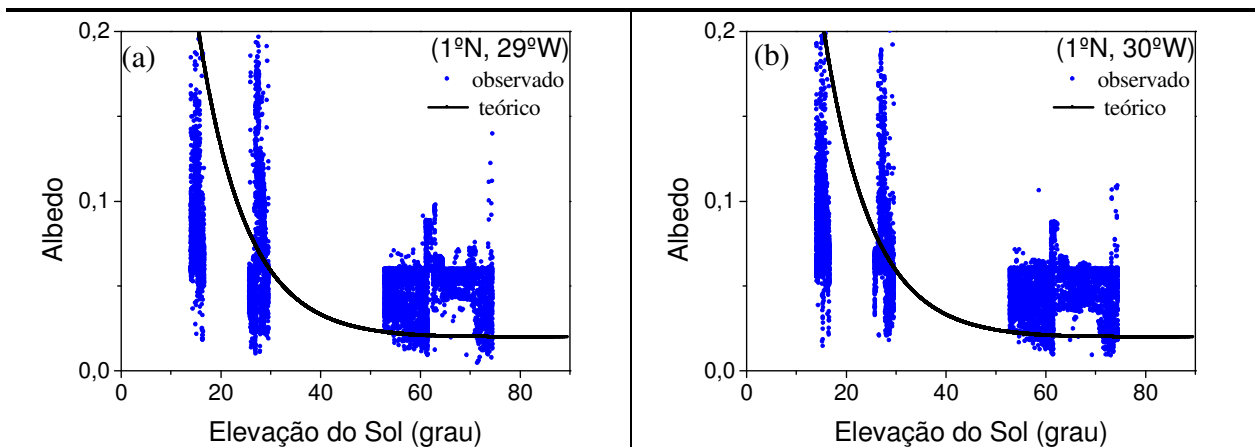
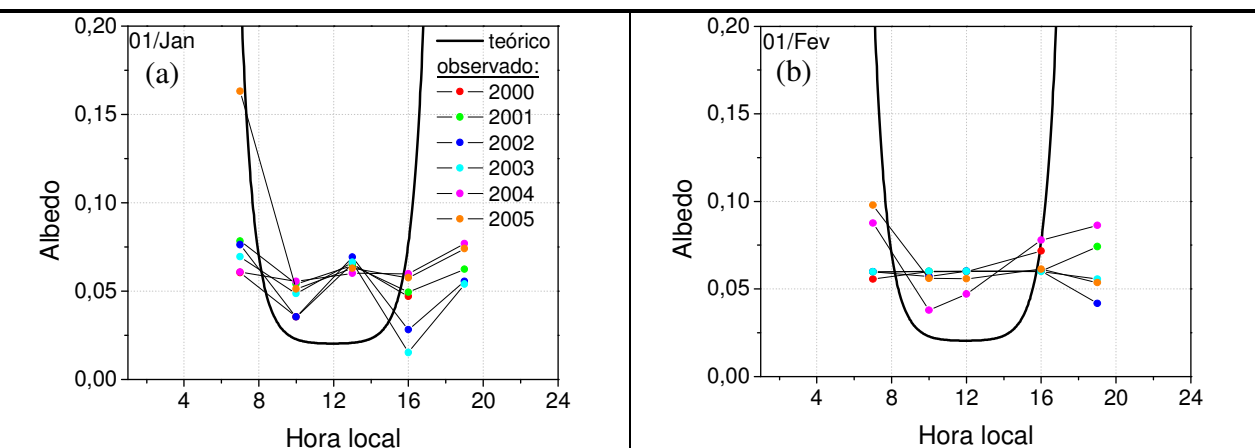
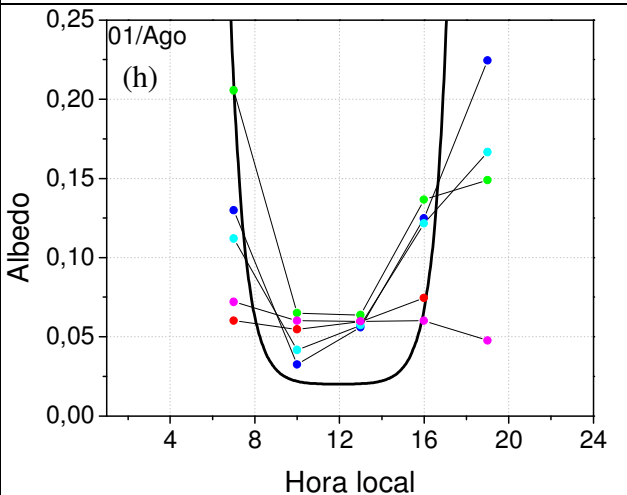
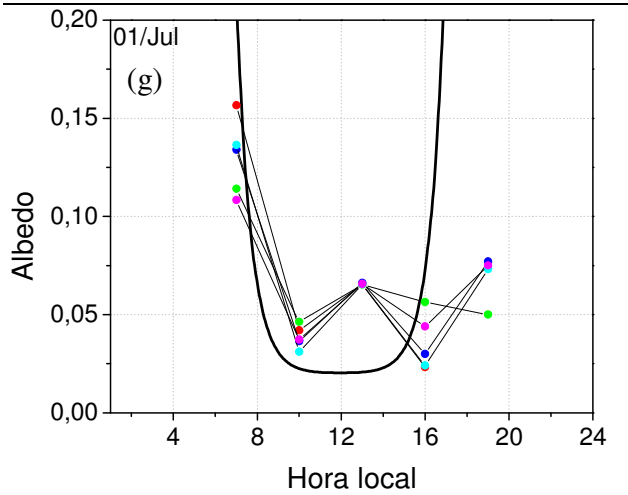
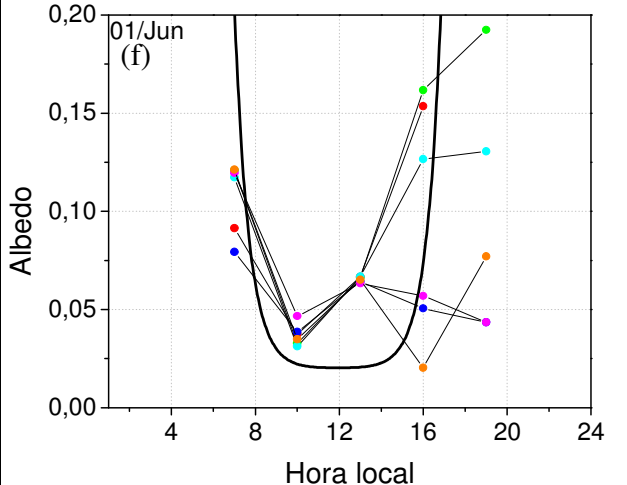
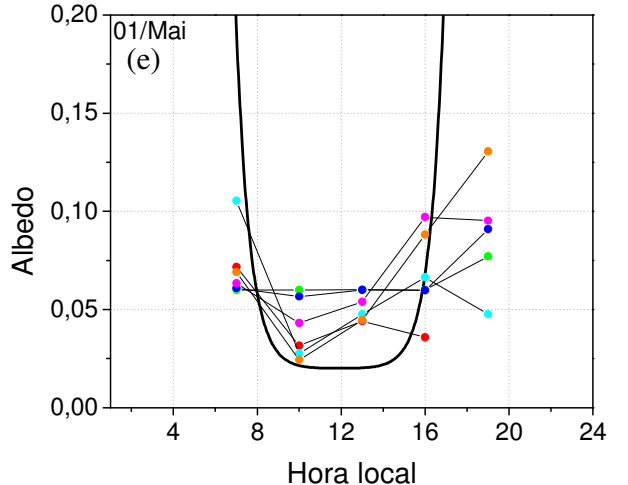
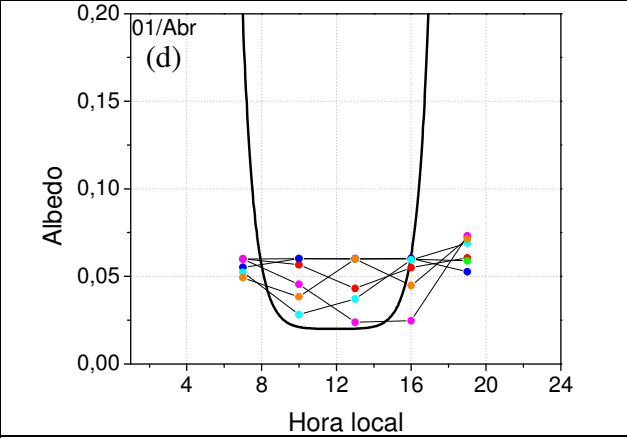
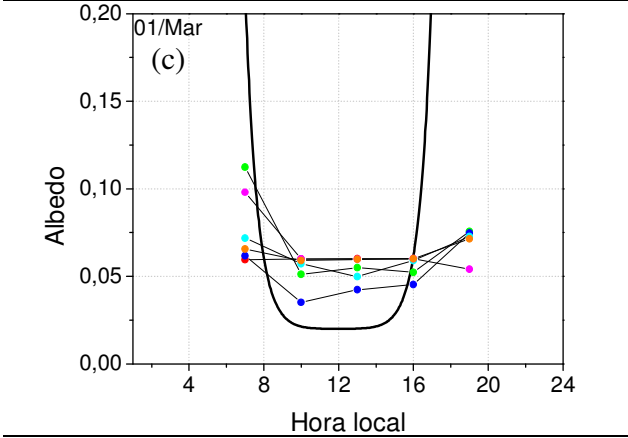


Figura 9: Albedo teórico (linha preta) e observado (pontos em azul) para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

Na Figura 9, os pontos em azul (albedo observado) representam os cinco horários disponíveis da NASA em que o valor de OC_{\downarrow} na superfície não é nulo (7h, 10h, 13h, 16h, 19h, hora local). Nota-se também que em ambas as regiões os resultados obtidos foram bastante semelhantes. A expressão teórica só é válida para dias de céu claro, o que é muito raro de se observar na região de estudo, conforme Figura 5.

Na Figura 10 seguem exemplos da evolução diária do albedo teórico e observado, para o ponto de grade da NASA em (1°N, 29°W). Escolheu-se, aleatoriamente, verificar esta evolução no dia primeiro de cada mês, utilizando-se todos os anos disponíveis.





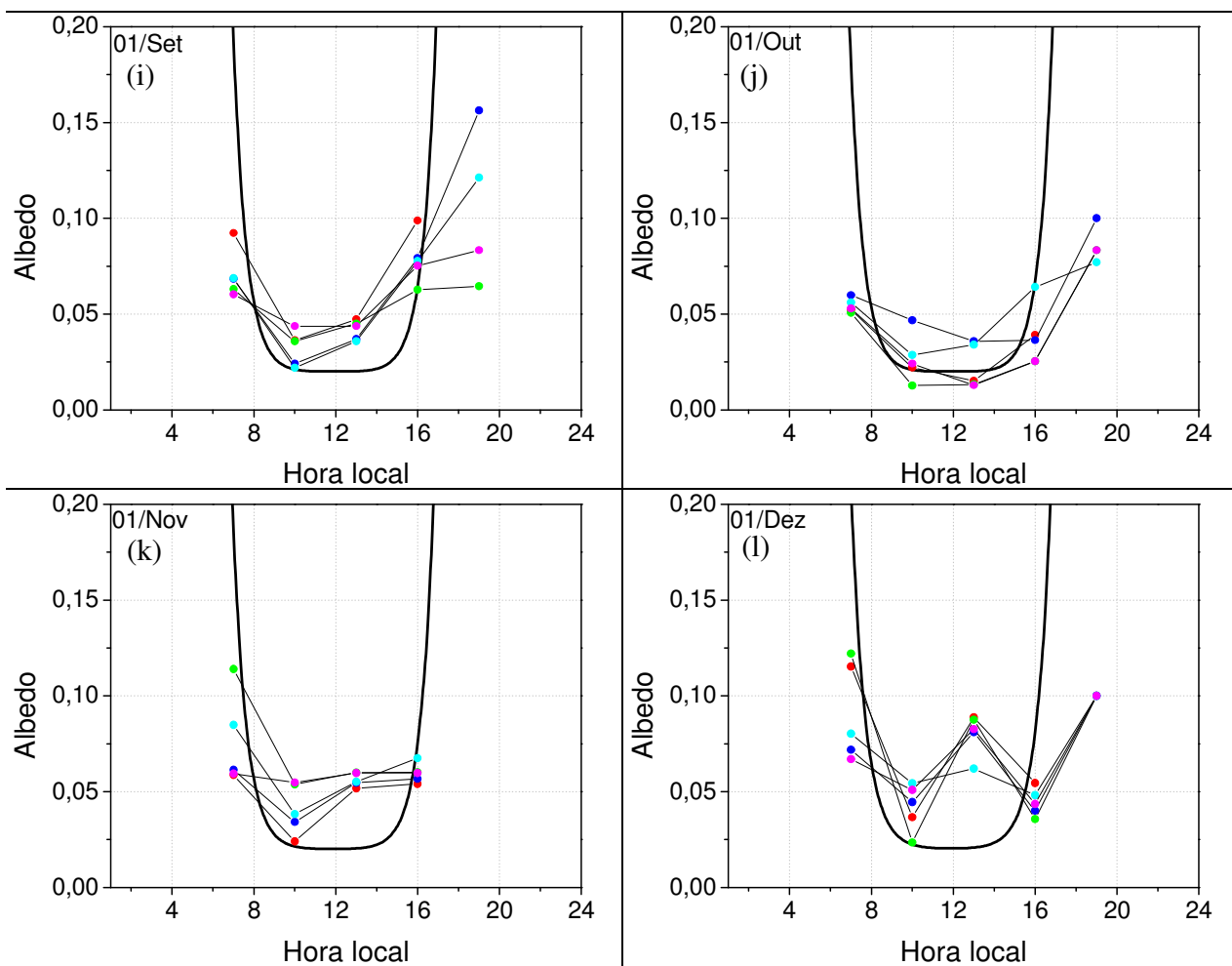


Figura 10: Evolução diária do albedo teórico e observado, para o primeiro dia de cada mês, no ponto de grade da NASA em (1°N, 29°W). O período utilizado foi de jan/2000 a jun/2005.

Na Figura 10, nota-se que para os horários 07h e 19h (Sol mais próximo ao horizonte), o albedo teórico superestimou os valores observados, enquanto que nos horários 10h e 13h (Sol mais próximo ao zênite), a intensidade do albedo estimado esteve sempre abaixo da observada. Cabe ressaltar que a expressão teórica tem sua validade restrita aos dias de céu claro.

A fim de verificar a evolução diária dos parâmetros estudados ao longo do ano, elaborou-se um programa em Fortran que calcula as médias das variáveis em cada hora do dia, para cada mês do ano. Para as regiões das bóias PIRATA, primeiramente calculou-se a média horária (já que os dados têm resolução de 2 minutos). Para as regiões dos pontos de grade da NASA, a média horária mensal só pôde ser calculada para os 8 horários

disponíveis no dia (resolução de 3 horas). Os resultados finais foram interpolados no programa SURFER e plotados em um único gráfico cada, caracterizando a evolução média horária das variáveis para cada mês do ano.

Nas *Figuras 11 e 12* seguem respectivamente a evolução média horária mensal do albedo observado e teórico, para os pontos de grade da NASA. As figuras estão apresentadas em uma mesma escala de cores, para facilitar a visualização e comparação dos resultados. Os dados foram plotados na hora local do ASPSP, atrasado em duas horas do horário de Greenwich.

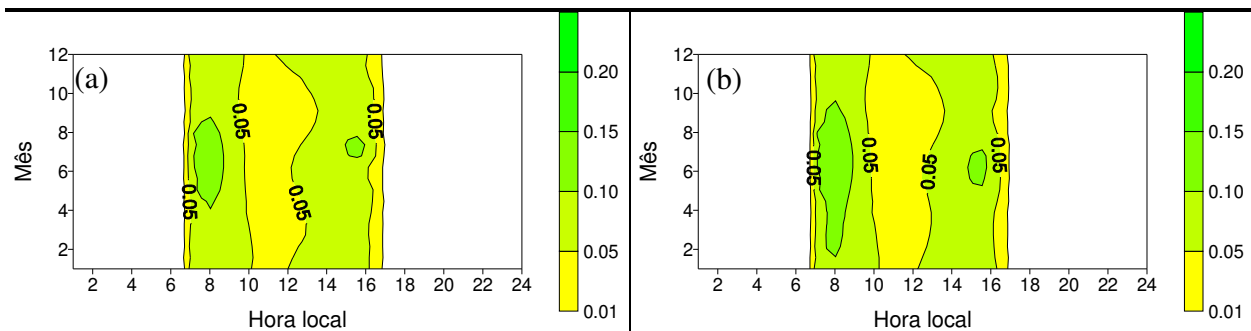


Figura 11: Evolução média horária mensal do albedo observado, para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

Na *Figura 11* nota-se que a intensidade média do albedo observado em ambos os pontos de grade da NASA apresentou maiores valores no início e no fim do dia (instantes em que o Sol está mais próximo ao horizonte). Observa-se também que em ambas as regiões há valores de albedo somente a partir das 7h; isto ocorreu devido à baixa resolução dos dados da NASA (3 em 3 horas), que impossibilita a verificação do horário do nascer do Sol.

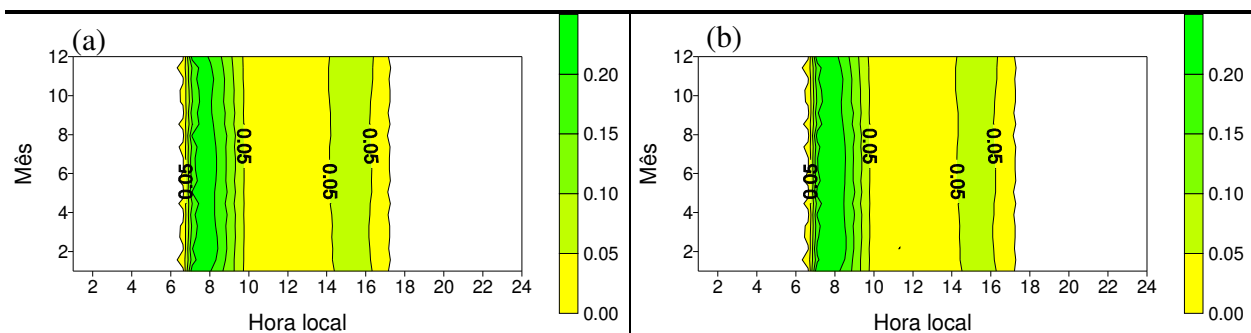


Figura 12: Evolução média horária mensal do albedo teórico (expressão 8), para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

Comparando as *Figuras 11 e 12* é possível identificar o efeito da nebulosidade nos valores do albedo da superfície. O albedo estimado para a superfície do mar (*Figura 12*) mostrou-se compatível ao observado (*Figura 11*) na parte da tarde (após as 14h). Pela manhã, os valores calculados superestimaram os observados. Na *Figura 13* segue a evolução média horária mensal do albedo teórico, para as regiões das bóias PIRATA.

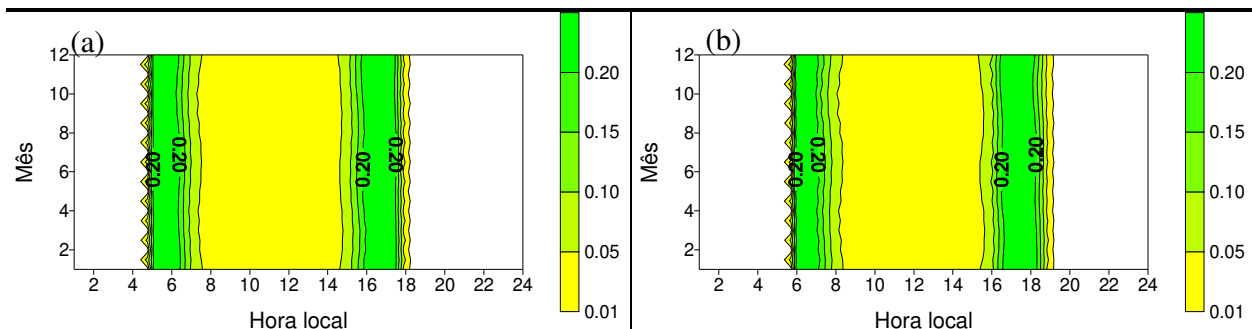


Figura 13: Evolução média horária mensal do albedo teórico (expressão 8), para a região das bóias utilizadas do PIRATA, em (a) (0°N, 23°W) e em (b) (0°N, 35°W).

Analisando os resultados obtidos na *Figura 13*, nota-se que não houve grandes diferenças na intensidade do albedo calculado nas duas diferentes regiões. A diferença que se nota é no horário em que ocorrem tais intensidades; na parte da manhã, valores de albedo maiores que 0,10 ocorrem em média entre as 05h e 07h UTC para a bóia B23W (*Figura 13a*), enquanto para a B35W ocorrem entre as 06h e 08h UTC (*Figura 13b*). Esta defasagem (que também é verificada na parte da tarde) ocorre pois a bóia B23W encontra-se mais a leste que a bóia B35W, e assim o Sol nasce primeiro em sua região.

Na *Figura 13* também se nota que o albedo estimado para a superfície do mar é maior nos instantes em que o Sol está mais próximo ao horizonte. É importante observar que o albedo estimado também não apresenta variações médias significativas ao longo do ano.

5. Temperatura da superfície do mar

Na *Figura 14* segue a evolução média horária mensal da TSM, obtida para a região das bóias B23W e B35W. Realizou-se primeiramente a média horária dos dados (já que os dados de TSM possuíam resolução de 10 minutos), para posteriormente calcular a média horária para cada mês, com todos os dados disponíveis. Os resultados obtidos para ambas

as bóias estão apresentados em uma mesma escala de cores, para facilitar a comparação dos resultados.

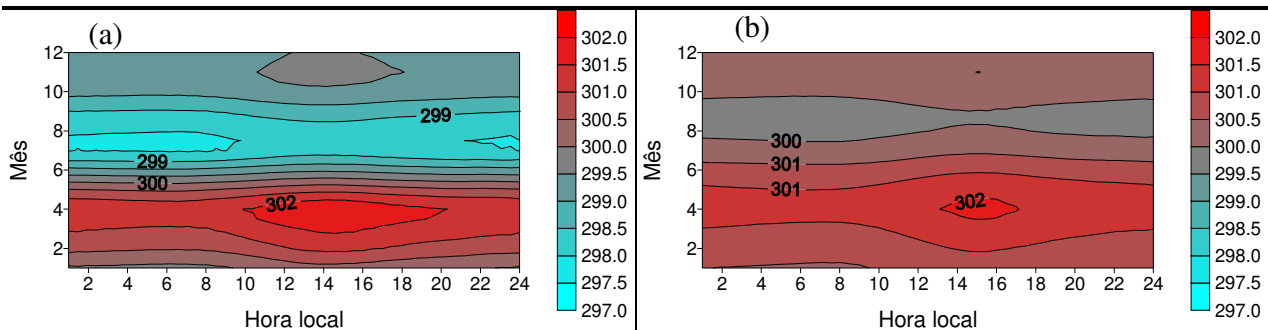


Figura 14: Evolução média horária mensal da TSM (K), para a região das bóias utilizadas do PIRATA, em (a) (0°N, 23°W) e em (b) (0°N, 35°W).

Comparando as Figuras 14a e 14b, nota-se que a região da bóia B35W apresenta valores superiores de TSM em comparação à região da bóia B23W, principalmente durante o segundo semestre do ano. Nota-se também que para ambas as bóias, a TSM é maior no primeiro semestre do ano, apresentando picos entre os meses de março a maio. Observa-se ainda que o ciclo diurno da TSM é aproximadamente constante, já que a água de adquire e perde calor lentamente.

6. Análise das componentes de radiação

6.1 Onda curta incidente na superfície

Neste trabalho, os valores de OC_{\downarrow} foram considerados negativos, já que esta componente está orientada contrário ao sistema de referência vertical.

Na Figura 15 seguem os histogramas da OC_{\downarrow} observada para as bóias B23W (1999 a 2007) e B35W (1998 a 2007). Nestes histogramas, os dados foram utilizados em sua resolução máxima (2 minutos), sem a realização de nenhuma média. Intensidades menores que -200 W m^{-2} não foram inclusas.

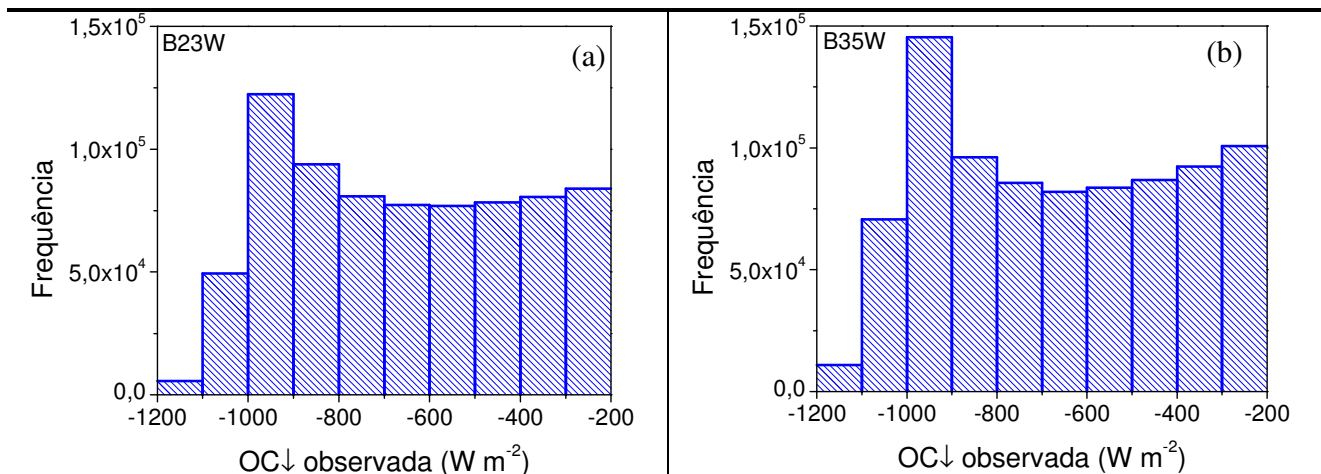


Figura 15: Histograma da OC↓ observada, para a região das bóias PIRATA, em (a) (0°N, 23°W) e em (b) (0°N, 35°W).

Na Figura 15, observa-se que os resultados para a região das duas bóias foram semelhantes; o intervalo de intensidades que obteve maior frequência observada foi entre -900 e -1000 W m⁻² para ambas as bóias.

Na Figura 16 seguem os histogramas da OC↓ observada para os pontos de grade da NASA. Novamente, apenas intensidades maiores que -200 W m⁻² foram incluídas.

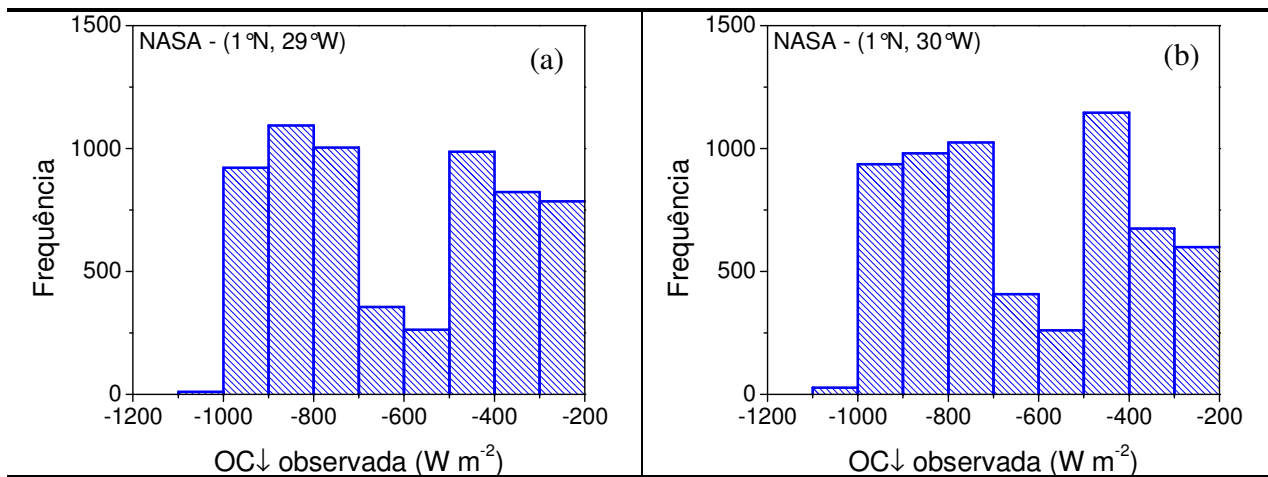


Figura 16: Histograma da OC↓ observada, para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

Na Figura 16, tem-se que os resultados obtidos em ambos locais também se apresentaram semelhantes; os intervalos de intensidades que apresentaram maiores frequências observadas foram entre -700 e -1000 W m⁻² e entre -400 e -500 W m⁻².

Nas Figuras 17 e 18 seguem a evolução média horária mensal da $OC\downarrow$ observada e calculada incidente no TOA, respectivamente para as bóias B23W e B35W PIRATA. Utilizou-se todo o período de dados disponível, e as figuras estão na mesma escala de cores.

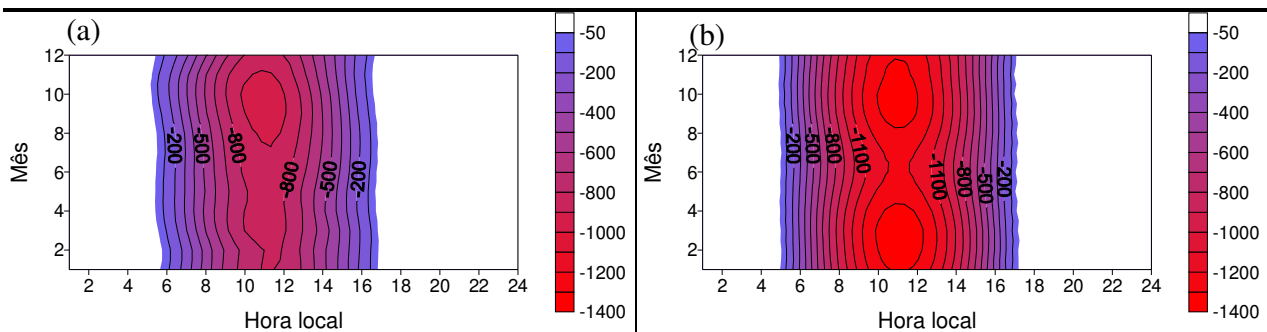


Figura 17: Evolução média horária mensal da $OC\downarrow$ (a) observada e (b) calculada no TOA, para a região da bóia PIRATA B23W, em (0°N, 23°W).

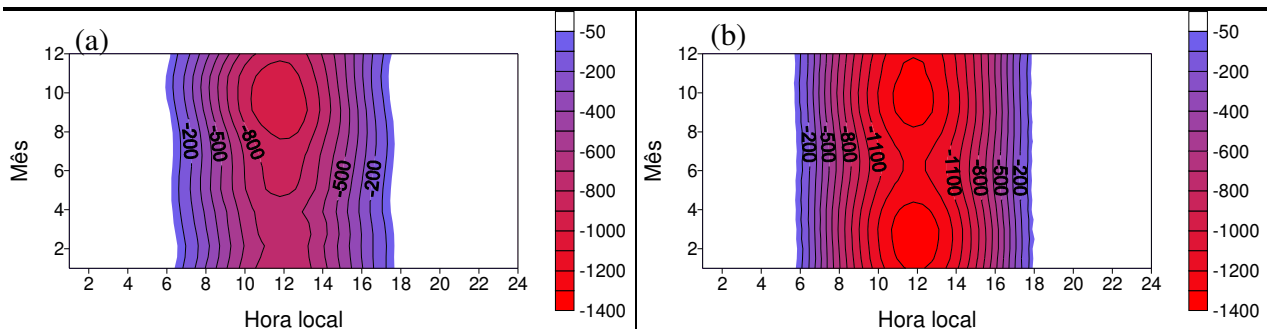


Figura 18: Evolução média horária mensal da $OC\downarrow$ (a) observada e (b) calculada no TOA, para a região da bóia PIRATA B35W em (0°N, 35°W).

Nas Figuras 17a e 18a, nota-se que a intensidade da $OC\downarrow$ observada apresenta picos maiores no segundo semestre do ano.

Nas Figuras 17b e 18b, observa-se que a intensidade média da $OC\downarrow$ calculada no TOA para as regiões PIRATA é simétrica em ambos os semestres do ano, e o mês de junho é o que apresenta menores picos. Analisando-se as Figuras 17 e 18, conclui-se que o primeiro semestre deve apresentar maior cobertura de nuvens nas regiões, já que a intensidade da radiação que chega na superfície neste período é menor, e o que chega no topo é semelhante ao que chega durante o primeiro semestre.

Nas Figuras 19 e 20 seguem a evolução média horária mensal da $OC\downarrow$ observada e calculada incidente no TOA, respectivamente para as localizações (1°N, 29°W) e (1°N, 30°W) dos pontos de grade utilizados da NASA.

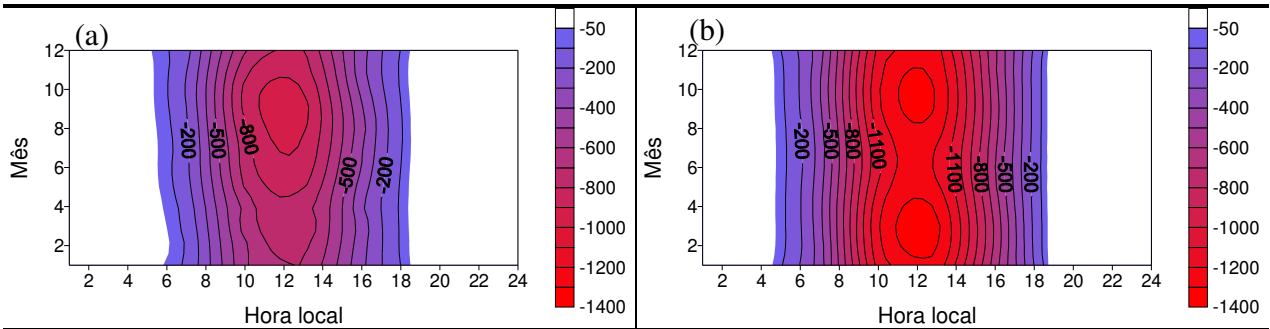


Figura 19: Evolução média horária mensal da $OC\downarrow$ (a) observada e (b) calculada no TOA, para a região do ponto de grade utilizado da NASA em (1°N, 29°W).

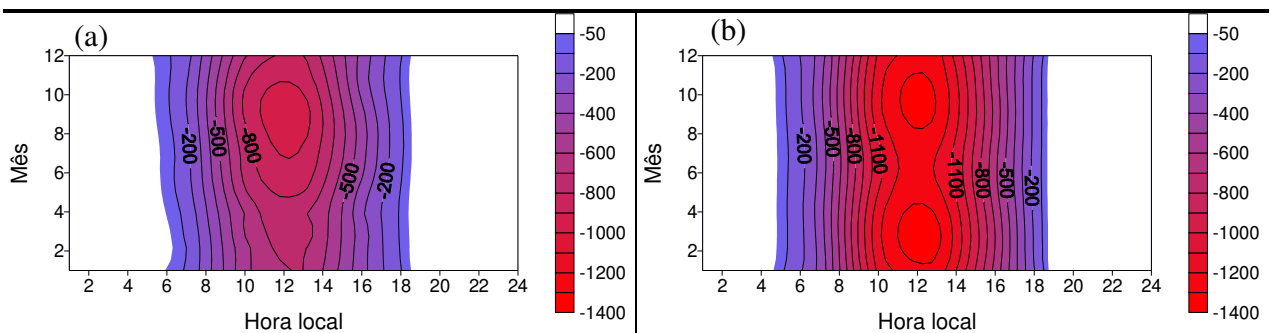


Figura 20: Evolução média horária mensal da $OC\downarrow$ (a) observada e (b) calculada no TOA, para a região do ponto de grade utilizado da NASA, em (1°N, 30°W).

Nas Figuras 19 e 20, os resultados foram semelhantes aos obtidos com os dados PIRATA.

6.2 Onda curta refletida pela superfície

A onda curta refletida pela superfície do mar foi calculada tanto para os dados da NASA quanto para os dados PIRATA, a partir do albedo teórico:

$$OC \uparrow = -\alpha_{teórico} OC \downarrow \quad (10)$$

A *Figura 21* ilustra exemplos da $OC\uparrow$ estimada com os dados da bóia PIRATA B23W, para dois dias diferentes. Os dias escolhidos são os mesmos do exemplo de dias de céu claro e não claro (*Figuras 3 e 4*). Nestes exemplos, a $OC\uparrow$ estimada é função do albedo teórico, que varia conforme o ângulo zenital.

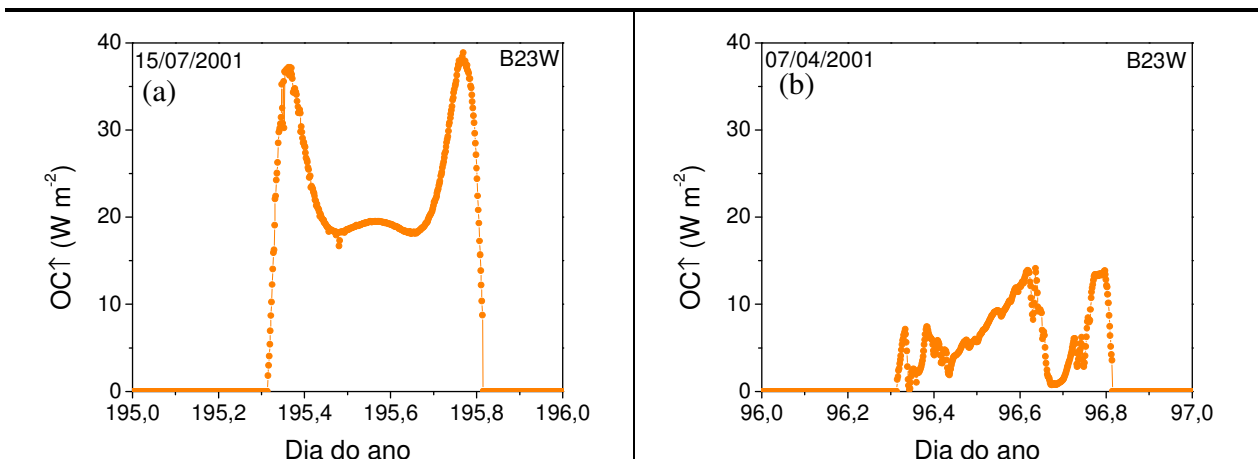


Figura 21: Onda curta refletida pela superfície (expressão 10), para a região da bóia PIRATA B23W, em um dia (a) de céu claro e (b) nublado.

Na *Figura 21a*, têm-se que para um dia de céu claro a $OC\uparrow$ estimada apresenta um comportamento simétrico, com dois picos durante o dia. Nos horários entre estes picos, (instantes em que o Sol está mais perto do zênite e que a $OC\downarrow$ na superfície é maior), nota-se que a $OC\uparrow$ estimada decresce até certo ponto e sua intensidade apresenta uma breve elevação.

Para dias cobertos por nuvens (*Figura 21b*), a $OC\uparrow$ estimada não apresenta um comportamento padrão ou geométrico ao longo do dia.

Na *Figura 22* seguem os histogramas da $OC\uparrow$ calculada para as bóias B23W e B35W do PIRATA. Nestes histogramas, foram considerados apenas valores maiores que 5 W m^{-2} .

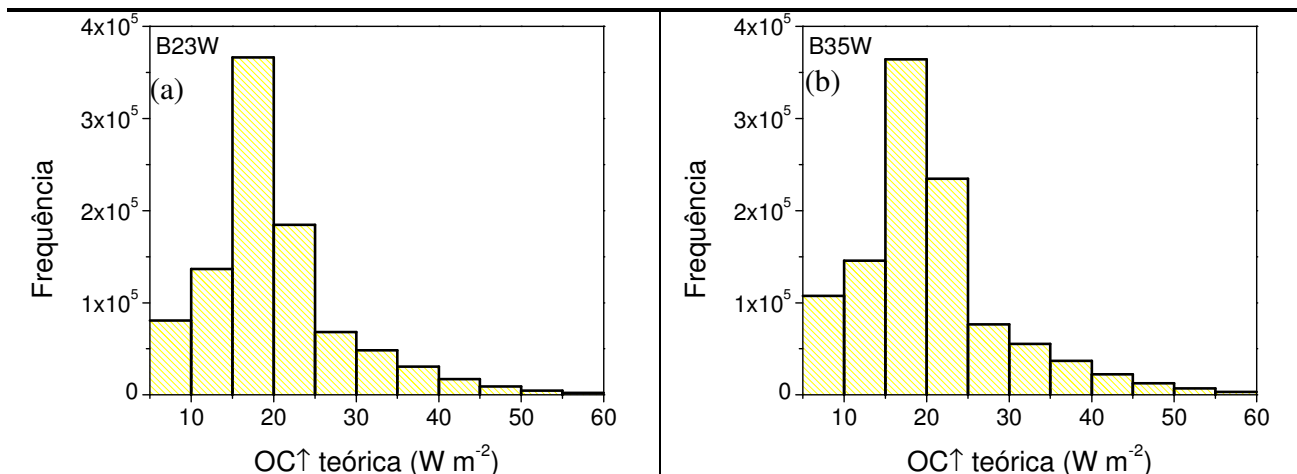


Figura 22: Histograma da OC↑ teórica (equação 10), para a região das bóias utilizadas do PIRATA, em (a) (0°N, 23°W) e em (b) (0°N, 35°W).

Na Figura 22, observa-se uma distribuição normal para a OC↑ teórica, sendo que as intensidades de maior frequência estão entre 15 e 20 $W m^{-2}$.

Nas Figuras 23 e 24 seguem respectivamente os histogramas da OC↑ teórica e observada para os pontos de grade da NASA. Os cálculos foram feitos apenas para os mesmos horários disponíveis da NASA (3 em 3 horas).

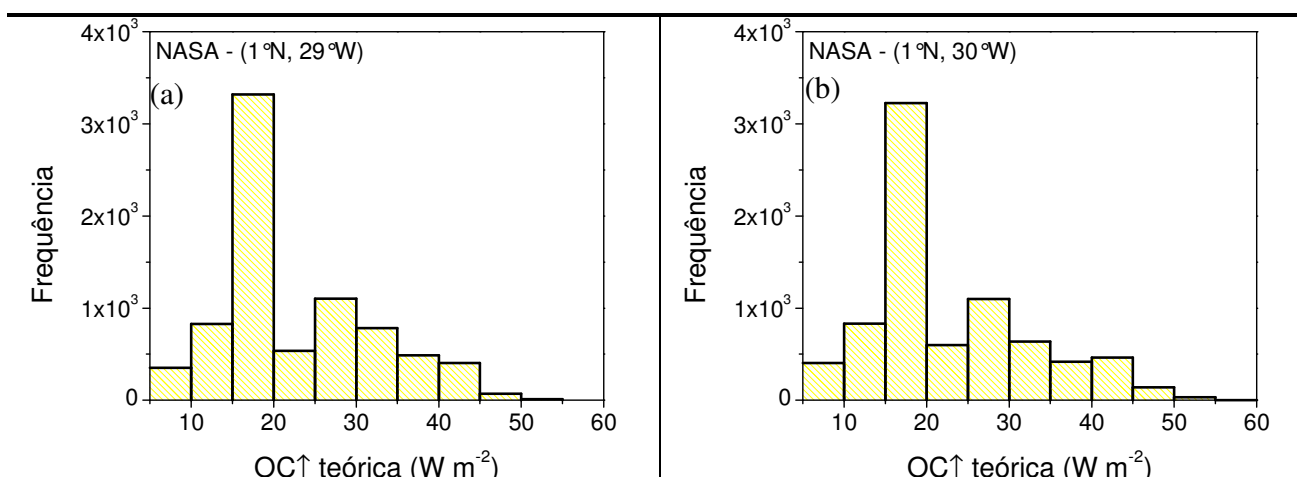


Figura 23: Histograma da OC↑ teórica (equação 10), para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

Na Figura 23, têm-se que as intensidades de maior frequência da OC↑ para as localizações (1°N, 29°W) e (1°N, 30°W) também estão entre 15 e 20 $W m^{-2}$.

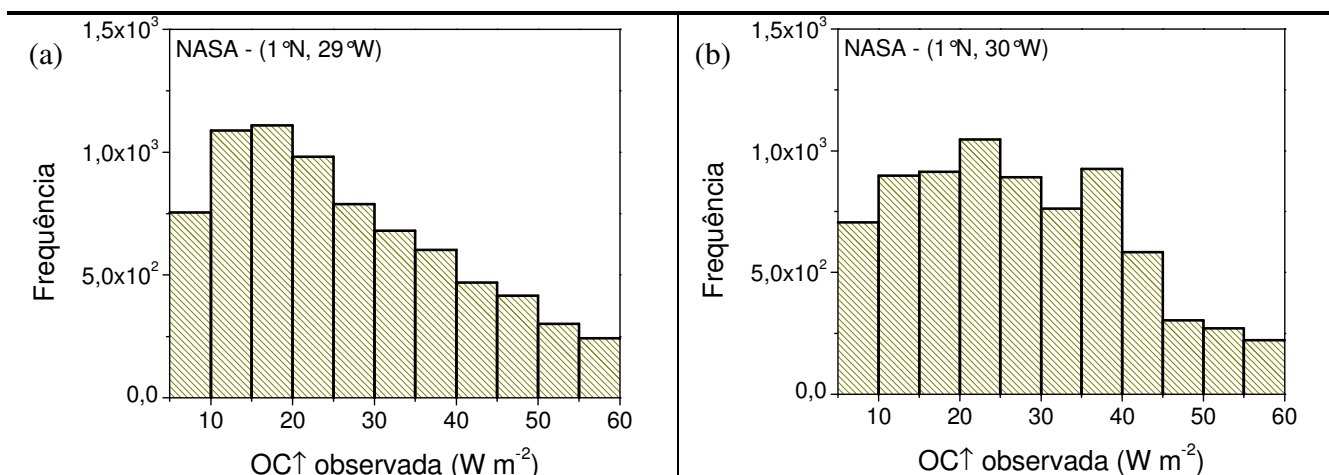


Figura 24: Histograma da OC↑ observada (equação 10), para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

Analisando a *Figura 24*, nota-se que os resultados obtidos da OC↑ observada em ambas as regiões apresentam tendências semelhantes. Contudo, as intensidades de maior frequência estão entre 10 e 20 $W m^{-2}$ para a localização (1°N, 29°W) e entre 20 e 25 $W m^{-2}$ e 35 e 40 $W m^{-2}$ para a localização (1°N, 30°W), diferente do intervalo obtido para a OC↑ teórica (*Figura 23*).

Na *Figura 25* segue a evolução média horária mensal da OC↑ teórica, para as duas bóias PIRATA.

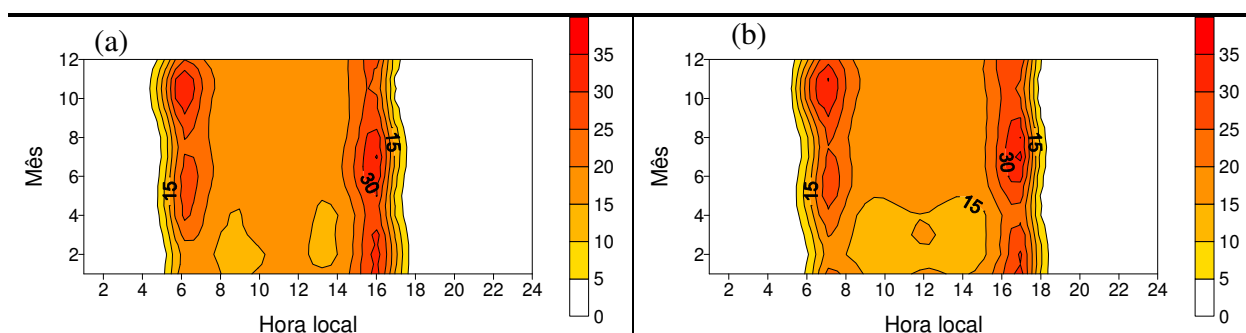


Figura 25: Evolução média horária mensal da OC↑ calculada (equação 10), para a região das bóias utilizadas do PIRATA, em (a) (0°N, 23°W) e em (b) (0°N, 35°W).

Nas *Figuras 26 e 27* seguem a evolução média horária mensal da OC↑ teórica e observada, respectivamente para as regiões (0°N, 23°W) e (0°N, 35°W) da NASA. É importante observar que estas figuras não estão na mesma escala de cores que a *Figura 25*, dos dados PIRATA.

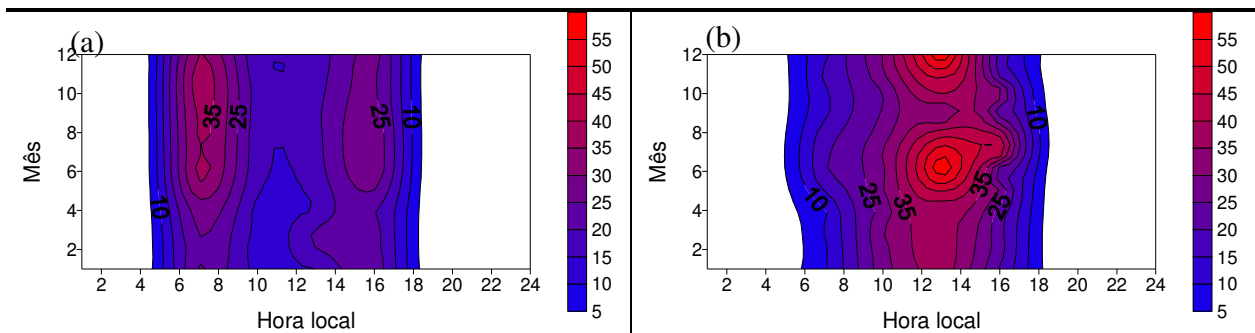


Figura 26: Evolução média horária mensal da $OC\uparrow$ (a) teórica (expressão 10) e (b) observada, para a região do ponto de grade utilizado da NASA em ($1^\circ N$, $29^\circ W$).

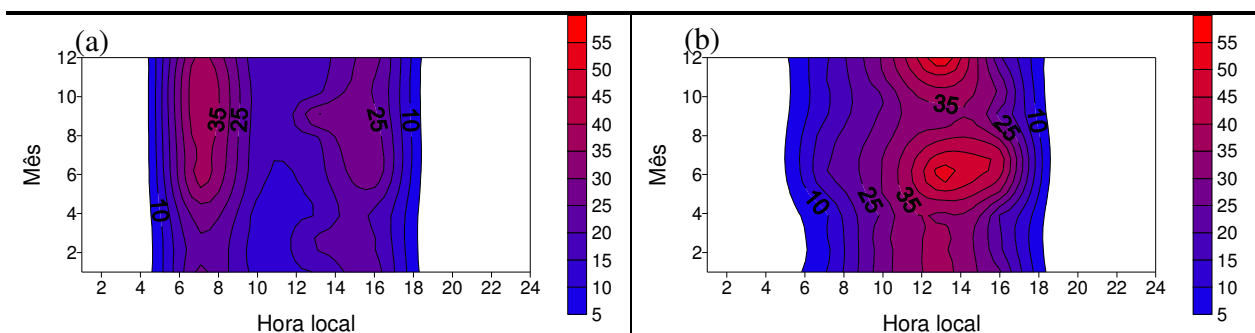


Figura 27: Evolução média horária mensal da $OC\uparrow$ (a) teórica (expressão 10) e (b) observada, para a região do ponto de grade utilizado da NASA em ($1^\circ N$, $30^\circ W$).

Nas Figuras 26 e 27, nota-se que os valores observados de $OC\uparrow$ são superiores aos valores estimados, sendo que os picos de intensidade ocorrem entre as 11h e 16h (hora local), ao longo de todo o ano. Os meses de maio a agosto e outubro a novembro apresentam os maiores valores médios da $OC\uparrow$ observada.

Contudo, a evolução média da $OC\uparrow$ teórica (Figuras 26a e 27a) apresenta dois picos de intensidade, em diferentes horários do dia. Estes picos estão entre as 06h-08h e 14h-16h (hora local).

6.3 Onda longa emitida pela atmosfera

Nos dados PIRATA, a $OL\downarrow$ estava disponível apenas para a bóia B23W. Assim, a evolução média horária mensal e a distribuição da intensidade desta componente serão analisadas apenas para esta localidade e para a região dos pontos de grade utilizados da NASA.

Na *Figura 28* seguem os histogramas da $OL\downarrow$ observada para a região da bóia PIRATA B23W. Os valores são considerados negativos, já que a $OL\downarrow$ está orientada contrário ao sistema de referência vertical.

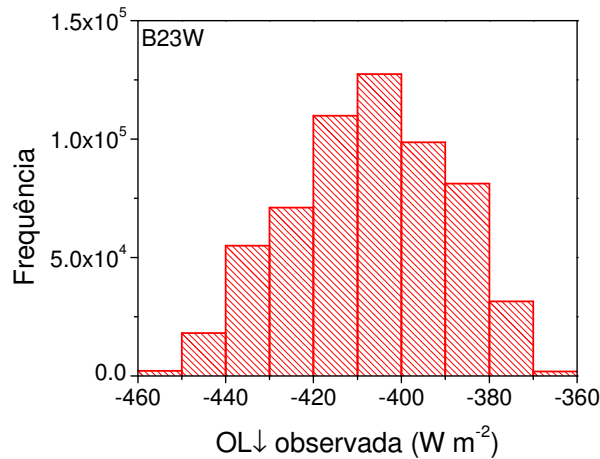


Figura 28: Histograma da $OL\downarrow$ observada, para a região da bóia PIRATA em ($0^\circ N$, $23^\circ W$).

Na *Figura 28*, têm-se que as intensidades de maior frequência da $OL\downarrow$ para a bóia B23W estão entre -410 e -400 $W m^{-2}$. Nota-se também que esta componente apresenta uma distribuição normal.

Na *Figura 29* seguem os histogramas da $OL\downarrow$ observada para os pontos de grade da NASA.

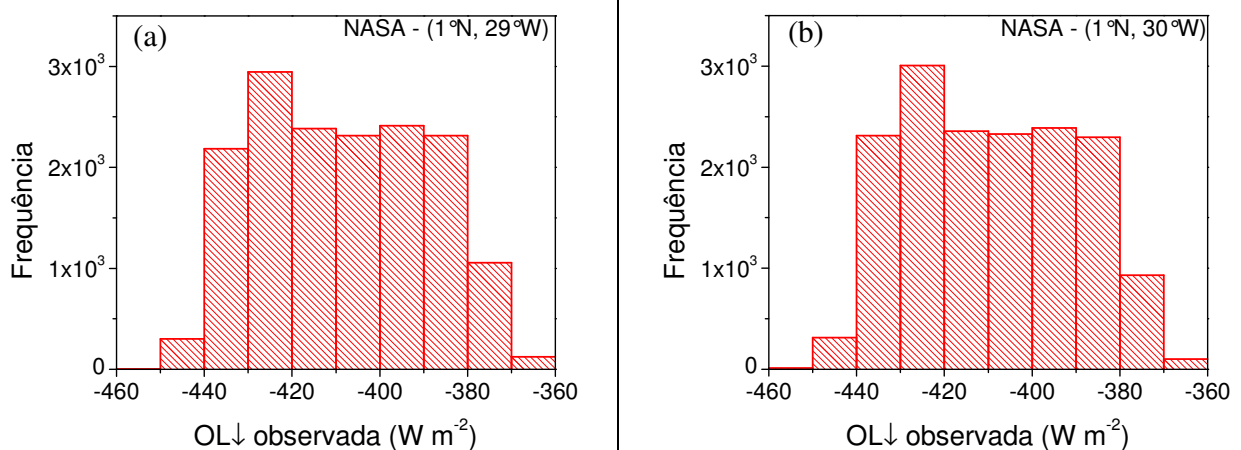


Figura 29: Histograma da $OL\downarrow$, para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) ($1^\circ N$, $29^\circ W$) e em (b) ($1^\circ N$, $30^\circ W$).

Na *Figura 29*, têm-se que para ambos os pontos de grade da NASA, as intensidades de maior frequência da $OL\downarrow$ estão entre -430 e -420 W m^{-2} , intervalo este superior ao encontrado para a região da bóia B23W (*Figura 28*). É importante lembrar que os dados da NASA possuem resolução menor (de 3 em 3 horas), enquanto os dados de $OL\downarrow$ PIRATA possuem melhor resolução (2 minutos).

Nas *Figuras 30 e 31* seguem a evolução média horária mensal da $OL\downarrow$ observada, respectivamente para a bóia PIRATA B23W e para os pontos de grade utilizados da NASA.

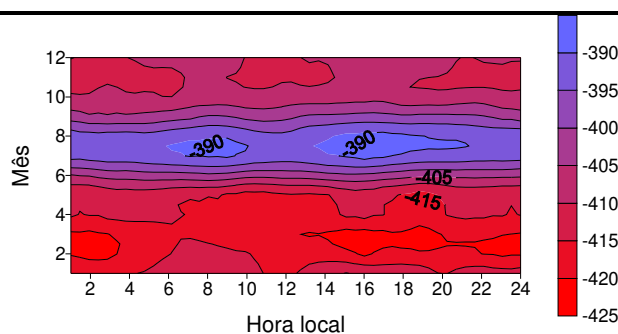


Figura 30: Evolução média horária mensal da $OL\downarrow$ observada, para a região da bóia PIRATA em $(0^\circ\text{N}, 23^\circ\text{W})$.

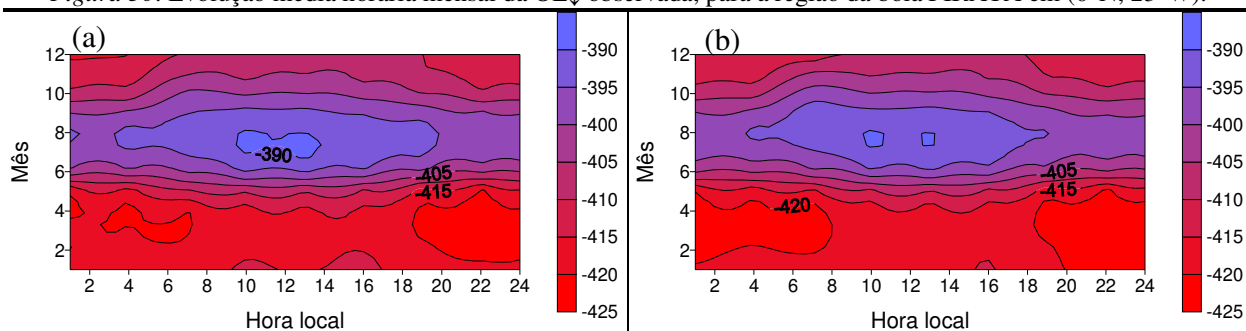


Figura 31: Evolução média horária mensal da $OL\downarrow$, para a região do ponto de grade utilizado da NASA (a) em $(1^\circ\text{N}, 29^\circ\text{W})$ e (b) em $(1^\circ\text{N}, 30^\circ\text{W})$.

Analisando as *Figuras 30 e 31*, nota-se que os resultados obtidos para todas as regiões estudadas apresentaram características semelhantes, sendo que valores mais intensos de $OL\downarrow$ ocorrem no primeiro semestre do ano. Os meses entre julho e setembro apresentaram os menores valores, atingindo mínimos de -390 W m^{-2} .

6.4 Onda longa emitida pela superfície

Na *Figura 32* seguem os histogramas da OL↑ observada para os pontos de grade da NASA, localizados em (1°N, 29°W) e em (1°N, 30°W). Os valores positivos indicam que esta componente está orientada da superfície em direção à atmosfera.

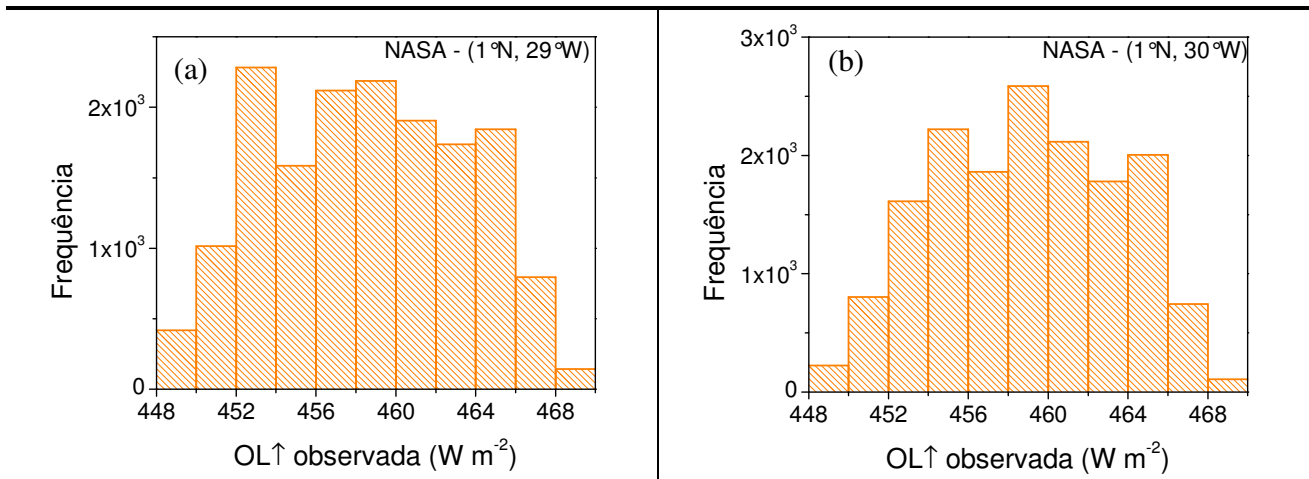


Figura 32: Histograma da OL↑ observada, para a região do ponto de grade utilizado da NASA (a) em (1°N, 29°W) e (b) em (1°N, 30°W).

Analisando a *Figura 32*, têm-se que as intensidades de maior frequência da OL↑ estão entre 452 e 454 W m⁻² e entre 458 e 460 W m⁻² para a ambas as regiões da NASA. Nota-se também que a amplitude de oscilação dos valores é pequena (aproximadamente 20 W m⁻²), o que indica que a oscilação da temperatura da superfície estudada também não é grande, já que a OL↑ depende desta temperatura.

A onda longa emitida pela superfície foi calculada para os dados PIRATA, a partir da TSM, pela lei de Stefan-Boltzmann:

$$OL \uparrow = \varepsilon \sigma TSM^4 \quad (11)$$

onde ε é a emissividade, adotada como sendo 0,97 (Soares *et al.*, 2004) e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ kg s}^{-3} \text{ K}^{-4}$).

Na *Figura 33* segue a evolução média horária mensal da OL↑ teórica (equação 11), para as duas bóias PIRATA.

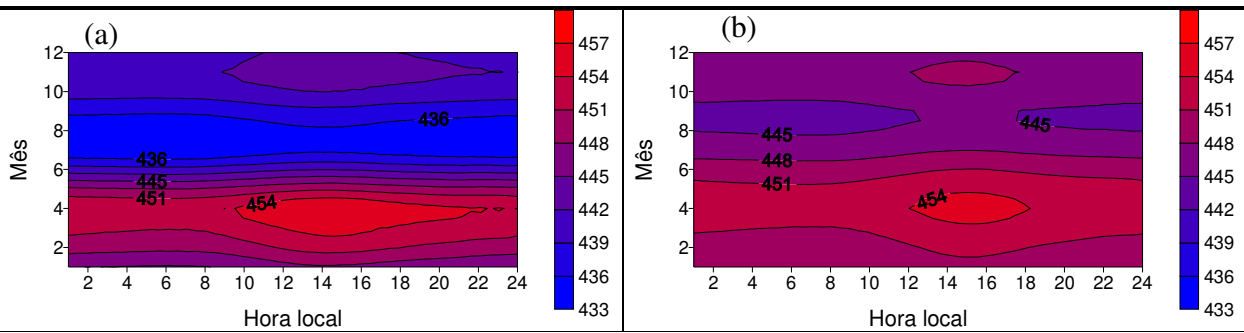


Figura 33: Evolução média horária mensal da OL↑ teórica (equação 11), para a região das bóias utilizadas do PIRATA, em (a) (0°N, 23°W) e em (b) (0°N, 35°W).

Analisando a *Figura 33*, nota-se que valores mais intensos de OL↑ ocorrem durante o primeiro semestre do ano, atingindo picos de aproximadamente 455 W m^{-2} entre os meses de março e maio. Analisando o ciclo diurno desta componente, nota-se que os valores mais intensos ocorrem no período da tarde, quando a superfície está mais aquecida. Observa-se ainda que a região da bóia B35W apresenta valores maiores de OL↑ no segundo semestre do ano, em comparação com a região da bóia B23W. Isto confere com o observado na *Figura 15*, já que na evolução média horária mensal da TSM, a B35W apresentou valores mais elevados em comparação à B23W.

Na *Figura 34* segue a evolução média horária mensal da OL↑ observada, para os pontos de grade utilizados da NASA. É importante notar que as *Figuras 33* e *34* não estão na mesma escala. Vale ressaltar também que a resolução dos dados da NASA é de 3 horas.

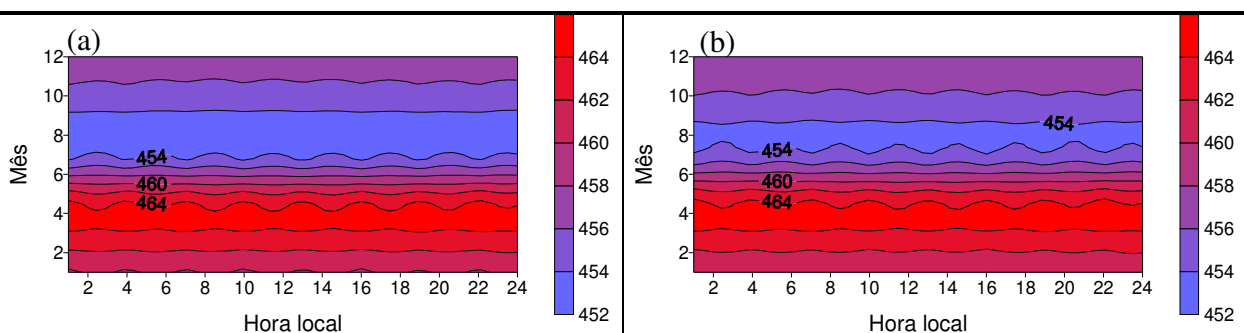


Figura 34: Evolução média horária mensal da OL↑ observada, para a região do ponto de grade utilizado da NASA (a) em (1°N, 29°W) e (b) em (1°N, 30°W).

Analisando a *Figura 34* nota-se que ambas as localidades estudadas da NASA apresentaram resultados semelhantes na evolução média mensal de OL↑, sendo que os

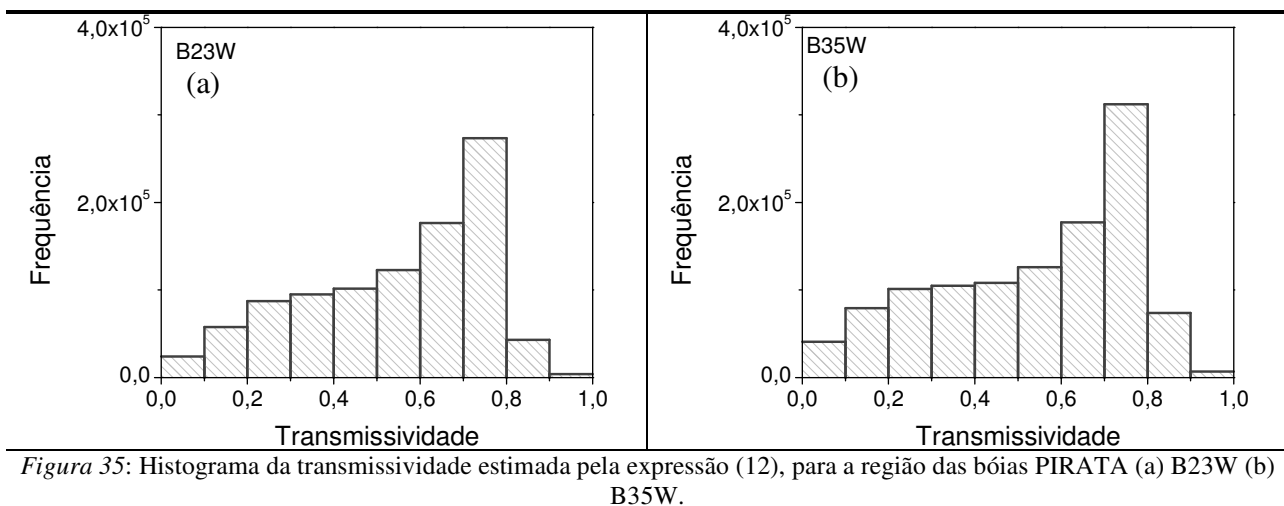
menores valores ocorreram no segundo semestre do ano, o que confere com o resultado obtido com os dados PIRATA (*Figura 33*).

7. Transmissividade da atmosfera

A transmissividade da atmosfera é estimada a partir da radiação solar observada incidente na superfície e a incidente no TOA, pela expressão (12):

$$\Gamma = \frac{OC \downarrow_{obs}}{I_0} \quad (12)$$

A transmissividade foi calculada para os dados do PIRATA e da NASA. Nas *Figuras 35 e 36*, seguem os histogramas da transmissividade obtida para cada região.



Na *Figura 35*, os resultados obtidos para ambas as bóias foram semelhantes, sendo que as intensidades de maior frequência estão entre 0,7 e 0,8.

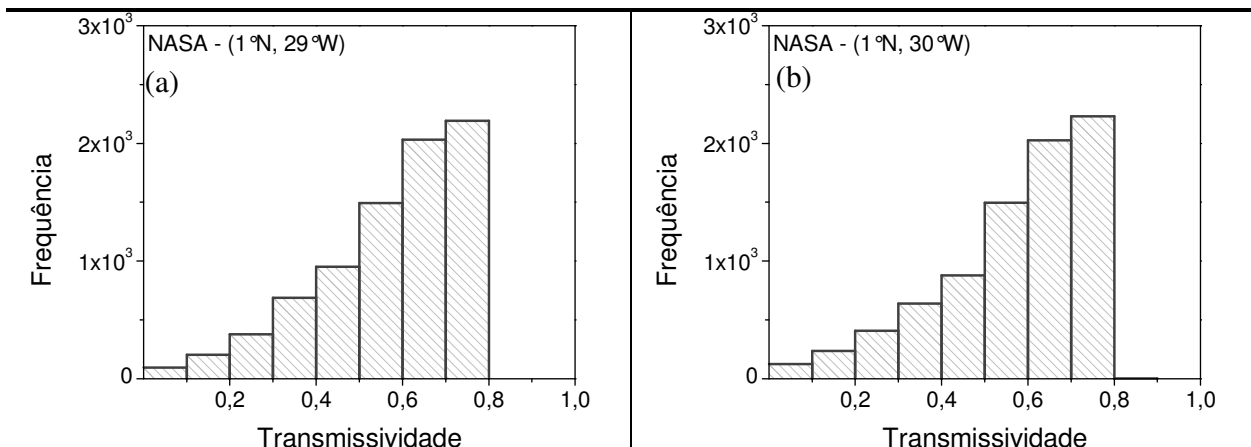


Figura 36: Histograma da transmissividade estimada pela expressão (12), para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

Na Figura 36, tem-se que as intensidades de maior frequência da transmissividade para os dados da NASA também estão entre 0,7 e 0,8.

Nas Figuras 37 e 38 seguem a evolução média horária mensal da transmissividade observada, respectivamente para a região das bóias PIRATA e para a região dos pontos de grade utilizados da NASA.

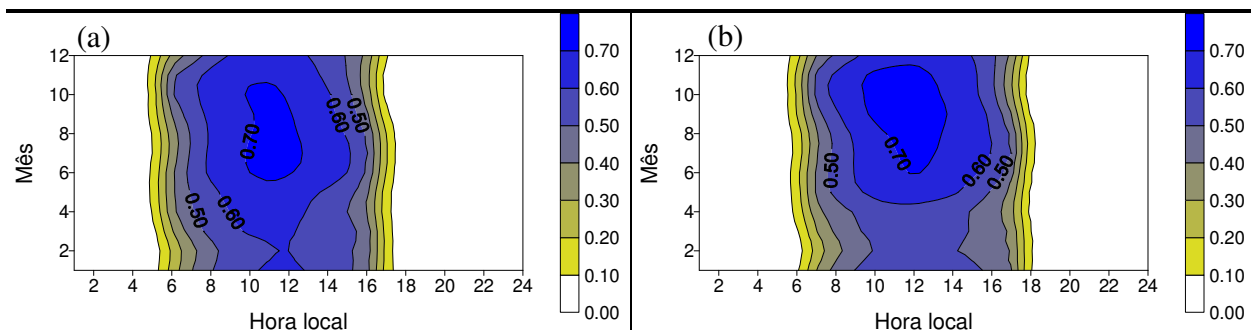


Figura 37: Evolução média horária mensal da transmissividade observada (equação 12), para a região das bóias utilizadas do PIRATA, em (a) (0°N, 23°W) e em (b) (0°N, 35°W).

Na Figura 37, nota-se que a transmissividade é maior no segundo semestre do ano, o que já era esperado, uma vez que a $OC\downarrow$ durante este período também é maior. Verifica-se também que a fração de radiação transmitida é menor nos instantes em que o Sol está perto do horizonte, e os máximos ocorrem por volta do meio dia local.

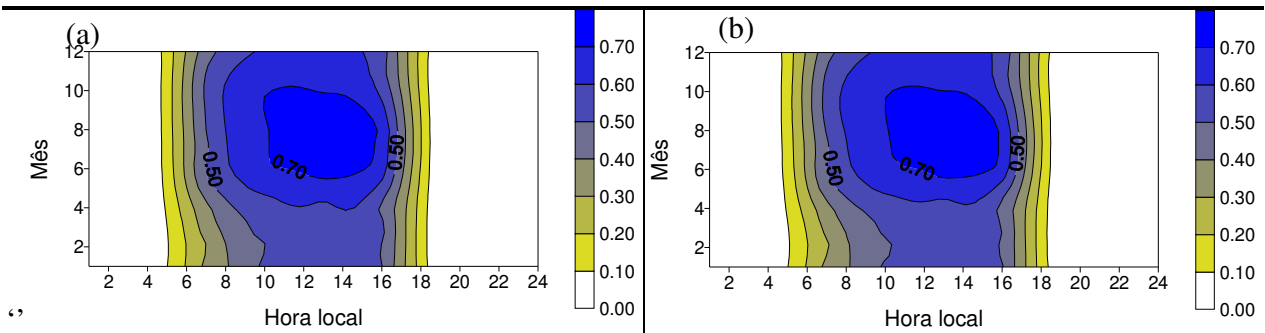


Figura 38: Evolução média horária mensal da transmissividade observada (equação 12), para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

Os resultados obtidos da evolução média mensal da transmissividade com os dados NASA (Figura 38) foram semelhantes aos verificados com os dados PIRATA (Figura 37).

8. Balanço de onda curta

O balanço de OC é dado pela soma das componentes incidente na superfície e refletida pela superfície de onda curta:

$$OC = OC \downarrow + OC \uparrow \quad (12)$$

Nas Figuras 39 e 40 segue a evolução média horária mensal do balanço de OC respectivamente para a região das bóias PIRATA e para os pontos de grade utilizados da NASA.

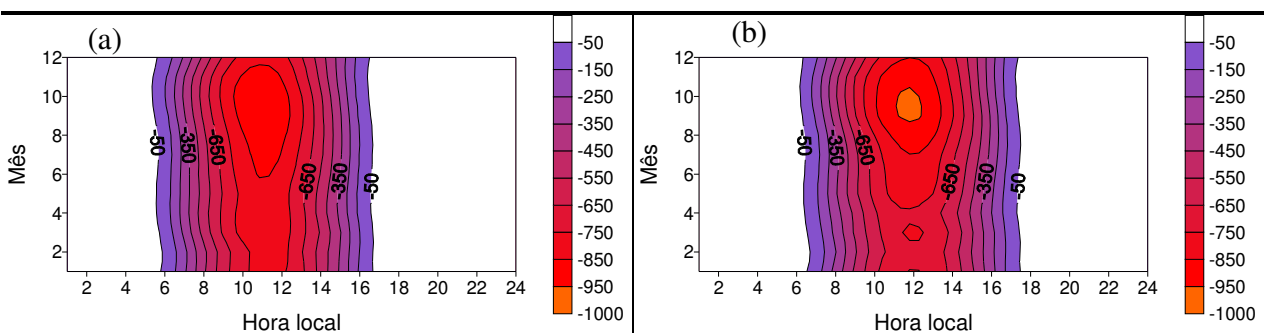


Figura 39: Evolução média horária mensal do balanço de OC (expressão 12), para a região das bóias utilizadas do PIRATA, em (a) (0°N, 23°W) e em (b) (0°N, 35°W).

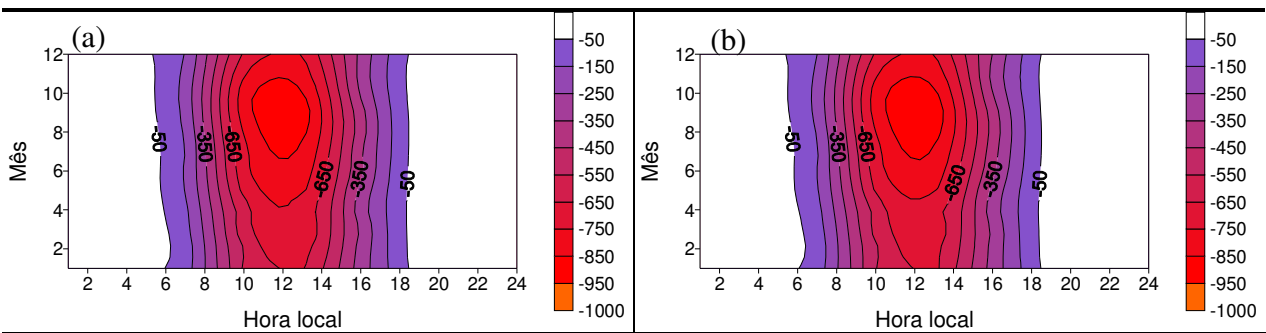


Figura 40: Evolução média horária mensal do balanço de OC (expressão 12), para a região do ponto de grade utilizado da NASA (a) em (1°N, 29°W) e (b) em (1°N, 30°W).

Analisando as Figuras 39 e 40, nota-se que os resultados obtidos foram semelhantes em todas as regiões estudadas. No segundo semestre do ano a intensidade do balanço de OC é maior, atingindo picos de até -1000 W m^{-2} ao meio dia (hora local) na região da bóia B35W, entre os meses de setembro e outubro (Figura 40b).

9. Balanço de onda longa

O balanço de OL é dado pela soma das componentes emitidas pela atmosfera e pela superfície do mar:

$$OL = OL \downarrow + OL \uparrow \quad (13)$$

Nas Figuras 41 e 42 segue a evolução média horária mensal do balanço de OL respectivamente para a região da bóia B23W e para os pontos de grade utilizados da NASA. O balanço de OL não foi calculado para a bóia B35W, pois para esta região não haviam dados disponíveis de $OL \downarrow$.

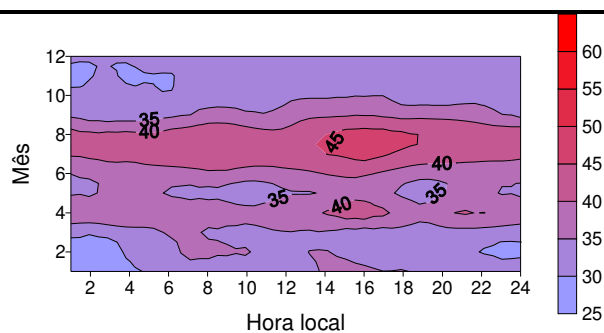


Figura 41: Evolução média horária mensal do balanço de OL (expressão 13), para a região da bóia PIRATA em (0°N, 23°W).

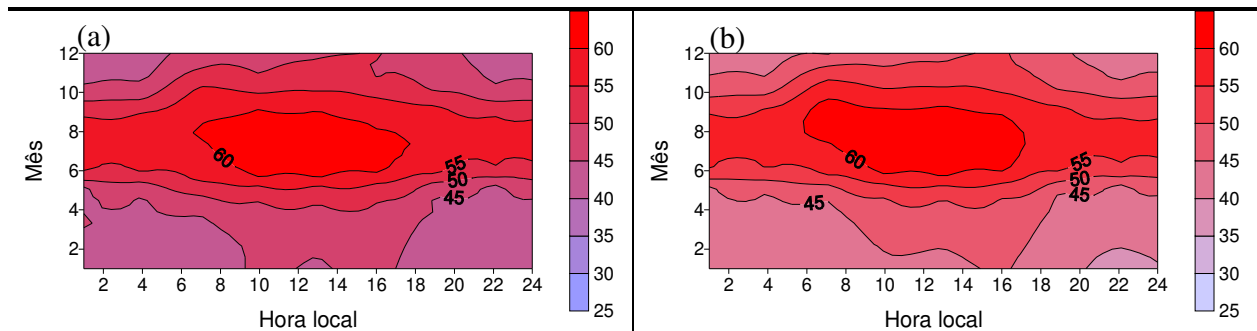


Figura 42: Evolução média horária mensal do balanço de OL (expressão 13), para a região do ponto de grade utilizado da NASA (a) em (1°N, 29°W) e (b) em (1°N, 30°W).

Analisando a *Figura 42*, observa-se que os resultados obtidos para ambos os pontos de grade da NASA foram semelhantes. Os valores positivos indicam que a componente de onda longa emitida pela superfície do mar predomina, ou seja, a TSM é sempre maior que a temperatura da atmosfera. Nota-se que no segundo semestre do ano a intensidade do balanço de OL é maior, atingindo picos de até 60 W m^{-2} .

Comparando os resultados obtidos nas *Figuras 41 e 42*, nota-se que o balanço de OL é menor na região da bóia B23W, em comparação com as regiões estudadas da NASA.

10. Balanço de radiação

O balanço de radiação (R_n) foi obtido, pela soma das componentes de onda curta e onda longa:

$$R_n = OC \downarrow + OC \uparrow + OL \downarrow + OL \uparrow \quad (14)$$

Nas *Figuras 43 e 44* segue a evolução média horária mensal do balanço de radiação respectivamente para a região da bóia B23W e para os pontos de grade utilizados da NASA. R_n não foi calculado para a bóia B35W, já que para esta região não haviam dados disponíveis de $OL \downarrow$.

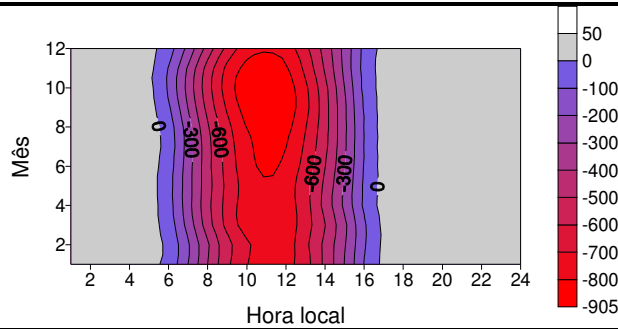


Figura 43: Evolução média horária mensal do balanço de radiação (expressão 14), para a região da bóia PIRATA em (0°N, 23°W).

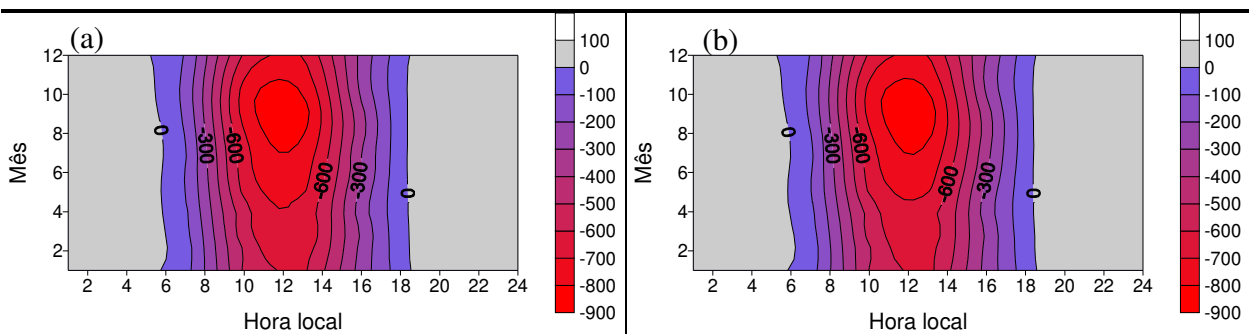


Figura 44: Evolução média horária mensal do balanço de radiação (expressão 14), para a região do ponto de grade utilizado da NASA (a) em (1°N, 29°W) e (b) em (1°N, 30°W).

Analisando-se as Figuras 43 e 44, nota-se que os valores obtidos em todas as regiões foram semelhantes, com picos de até -900 W m^{-2} em horários próximos ao meio dia (hora local), entre os meses de julho a outubro. Os valores positivos durante a noite indicam que o oceano está perdendo calor (componente de $OL\uparrow$ predomina). Estes valores positivos não ultrapassam 100 W m^{-2} para a região dos pontos de grade da NASA e 50 W m^{-2} para a região da bóia B23W.

11. Balanço de energia

Obteve-se a quantidade de calor armazenado/perdido pelo oceano como resíduo do balanço de energia, pela soma do balanço de radiação e dos fluxos de calor sensível (H) e latente (LE):

$$\text{resíduo} = R_n + H + LE \quad (15)$$

Os valores médios horários mensais dos fluxos de calor sensível e latente foram obtidos em um estudo anterior da aluna bolsista (Dutra, 2008), a partir das equações bulk (WGASF, 2000), utilizando dados PIRATA da TSM, temperatura do ar, UR e velocidade do vento. A convenção de sinais utilizada para os fluxos é a mesma que a utilizada para as componentes radiométricas: valores positivos quando orientados no sentido positivo do sistema de referência vertical e valores negativos caso contrário.

Na *Figura 45* segue a evolução média horária mensal do calor armazenado/liberado pelo oceano, para a região da bóia PIRATA B23W, utilizando os anos de 1999 a 2007. Este resíduo não foi calculado para a bóia B35W (já que não há dados disponíveis de OL_{\downarrow} para esta região) e nem para os dados NASA (não há dados disponíveis de H e LE).

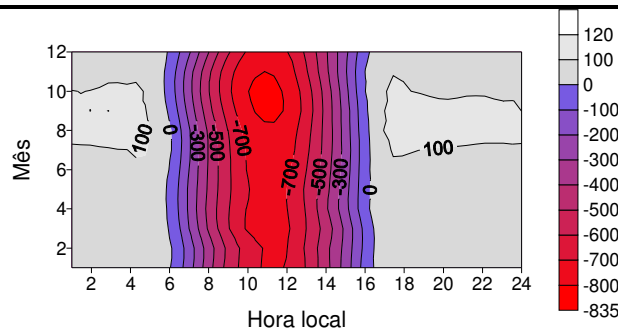


Figura 45: Evolução média horária mensal da quantidade de calor do oceano, para a região da bóia PIRATA em (0°N, 23°W).

Na *Figura 45*, valores negativos durante o dia indicam que o oceano está ganhando calor, ou seja, a componente de onda curta incidente na superfície predomina. Valores positivos durante a noite indicam que a componente de onda longa emitida pela superfície predomina, e o oceano está perdendo calor. Observam-se picos de até -835 W m^{-2} durante o dia e 120 W m^{-2} durante a noite, no segundo semestre do ano, entre os meses de julho a outubro.

12. Conclusões

Neste trabalho foram apresentados os resultados obtidos da análise das componentes de onda curta. A OC_{\downarrow} no TOA foi calculada, e foi possível realizar uma análise quantitativa dos dias de céu claro ocorridos nas regiões próximas ao ASPSP, a partir de dados disponíveis na Internet.

Na análise dos dias de céu claro, verificou-se que nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro em que a ZCIT encontra-se em sua posição mais ao Sul (sobre a região de estudo), a quantidade dos dias de céu claro observados nas regiões das bóias PIRATA é menor, em comparação aos meses de junho, julho e agosto, nos quais a ZCIT encontra-se deslocada mais ao norte, longe da região das bóias. Os resultados obtidos em ambas as bóias (*Figura 5*) mostram que dias de céu claro são pouco frequentes na região estudada, representando menos que 1% do total.

Para as regiões dos pontos de grade utilizados da NASA, foi possível comparar o albedo observado e o teórico (baseado na expressão de Fresnel), já que havia dados disponíveis das componentes incidente e refletida de OC. Apesar da baixa resolução dos dados, os resultados apresentaram tendências médias diurnas semelhantes, sendo que as maiores intensidades ocorrem nos horários em que o Sol encontra-se mais próximo ao horizonte.

Para a região das bóias PIRATA, só foi possível analisar o albedo teórico, já que só havia dados disponíveis de OC↓. Os resultados obtidos foram semelhantes aos obtidos com os dados NASA: valores maiores de albedo nos horários em que o ângulo zenital é maior. Para ângulos zenitais de até 40°, o albedo teórico é em média 0,02.

A partir do albedo teórico, calculou-se a OC↑ teórica, para as regiões de dados da NASA e do PIRATA. Na análise das componentes de onda curta, todos os resultados obtidos entre ambas as regiões de uma mesma fonte de dados apresentaram-se semelhantes entre si.

Nos histogramas da OC↓ observada, verificou-se que para as regiões das bóias PIRATA, o intervalo de intensidade que obteve maior frequência foi entre -900 e -1000 W m⁻², enquanto que para as localizações da NASA, os intervalos de maior intensidade estiveram entre -700 e -1000 W m⁻² e entre -400 e -500 W m⁻². Na evolução média horária mensal, verificou-se que maiores intensidades da OC↓ observada ocorrem no segundo semestre do ano.

Nos histogramas da OC↑ teórica, verificou-se que tanto para as regiões das bóias PIRATA quanto para as localizações da NASA, o intervalo de intensidade de maior frequência foi entre 15 e 20 W m⁻². Contudo, ao comparar a OC↑ teórica e a OC↑ observada da NASA, nota-se que os resultados apresentam diferenças significativas; os valores observados de OC↑ são superiores aos valores da OC↑ teórica. Na evolução da OC↑ observada, os picos de intensidade ocorrem entre as 11h e 16h (hora local), enquanto que na evolução média da OC↑ teórica ocorrem picos em diferentes horários do dia: entre as 06h e 08h e entre as 14h e 16h (hora local).

A transmissividade da atmosfera também foi estimada, a partir da OC↓ observada na superfície e da OC↓ no TOA. Os histogramas (*Figuras 35 e 36*) mostram que para todos os locais estudados, as intensidades de maior frequência da transmissividade estão entre 0,7 e 0,8. Na evolução média horária mensal, verificou-se que a transmissividade é maior no segundo semestre do ano, o que já era esperado, uma vez que a OC↓ durante este período também é maior.

Verificou-se que a TSM, a OL↓ e a OL↑ apresentam valores mais intensos no primeiro semestre do ano, em todas as regiões estudadas. Já os balanços de OC e de OL apresentam valores mais intensos no segundo semestre do ano.

Os valores obtidos do balanço de OL foram positivos em todos os horários de todos os meses, indicando que a TSM média é sempre maior que a temperatura média da atmosfera na região de estudo.

Na evolução média de R_n , verificou-se que durante a noite os valores do balanço para os dados da NASA atingem picos maiores que os dos dados PIRATA (respectivamente 100 e 50 W m⁻²). Durante o dia, os picos ocorrem nos horários próximos ao meio dia (hora local), chegando a aproximadamente -900 W m⁻² entre os meses de julho a outubro.

Na análise do resíduo do balanço de energia, verificou-se que o oceano ganha (dia) e perde (noite) mais calor (valores negativos e positivos respectivamente) nos meses de julho a outubro, no segundo semestre do ano.

13. Referências

- 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.
- Cogley JG. 1979. The albedo of water as a function of latitude. Monthly Weather Review 107: 775 – 781.
- Dutra, 2008 – FluTuA – Fluxos Turbulentos sobre o Atlântico. Relatório de Atividades do Programa Ensinar com Pesquisa.
http://www.iag.usp.br/meteo/labmicro/publicacoes/relatorios_tecnicos/Dutra&Soares_2008-FluTuA_Fluxos_Turbulentos_sobre_o_Atlantico.pdf
- Hastenrath S. and L. Heller, 1977: Dynamics of climate hazards in northeast Brazil. Q.J.R. Meteorol. Soc., 103, 77-92.
- MacWhorter, M. A. and R. A. Weller, 1991: Error in Measurements of Incoming Shortwave Radiation Made from Ships and Buoys. J. Atmos. Oceanic Technol., 8, 108-117.
- Nobre, C. A. e Molion, 1986: Climanálise Especial. Edição Comemorativa de 10 anos.
- Peres, 2008 – Estudo do balanço de radiação sobre o oceano Atlântico Tropical na região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Relatório final de iniciação científica.
http://www.iag.usp.br/meteo/labmicro/publicacoes/relatorios_tecnicos/Jean_2008-Estudo_do_balanco_de_radiacao_sobre_o_oceano_Atlantico_tropical_na_regiao_do_ASPSP.pdf
- Skielka, U. T. e Soares, J., 2006: Estudo das Condições Meteorológicas e Oceanográficas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo. In: XIV Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP, 2006, São Paulo.
- Wainer, I., G.Clauzet, J.Servain, J.Soares, 2003: Time Scales of Upper Ocean temperature Variability Inferred from the PIRATA data (1997-2000). Geophysical Research Letters. 30 (5), 8004.
- WGASF (2000): Intercomparison and validation of ocean-atmosphere energy flux fields. Final report of Joint WCRP/SCOR Working Group on Air-Sea fluxes (SCOR working group 110).

14. Outras atividades

A seguir são descritas outras atividades acadêmicas realizadas durante a vigência da bolsa.

14.1 Disciplinas cursadas

- Agrometeorologia – 8,3
- Astronomia de Posição – 8,2
- Cálculo Numérico – 8,0
- Meteorologia por Satélite – 8,4
- Dinâmica I – 7,6
- Micrometeorologia – 8,1
- Dinâmica II – 8,1
- Meteorologia Sinótica I – 8,5
- Climatologia II –
- Biometeorologia – 8,5

14.2 Participações em eventos

- Participação no XIII Simpósio de Iniciação Científica do IAG, com apresentação de trabalho em painel.

Dutra, L.M.M. e Soares, J.; 2008: Caracterização dos fluxos turbulentos verticais de calor na interface ar-mar na região do arquipélago de São Pedro e São Paulo. Anais do XIII Simpósio de Iniciação Científica do IAG/USP.

- Participação no 16º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP – SIICUSP-2008, com apresentação de trabalho em painel (*Anexo 2*).

Dutra, L.M.M. e Soares, J.; 2008: Estudo dos fluxos verticais turbulentos de calor na região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Anais do 16º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP. Novembro de 2008, São Paulo, SP (CDROM).

- Participação no XV Congresso Brasileiro de Meteorologia – XV CBMET, com apresentação de trabalho em painel (*Anexo 3*).

Dutra, L.M.M. e Soares J., 2008: Estimativa dos fluxos turbulentos verticais de calor na superfície do oceano Atlântico. Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo SP, Agosto de 2008.

- Participação no XIV Simpósio de Iniciação Científica do IAG, com apresentação de trabalho em painel.

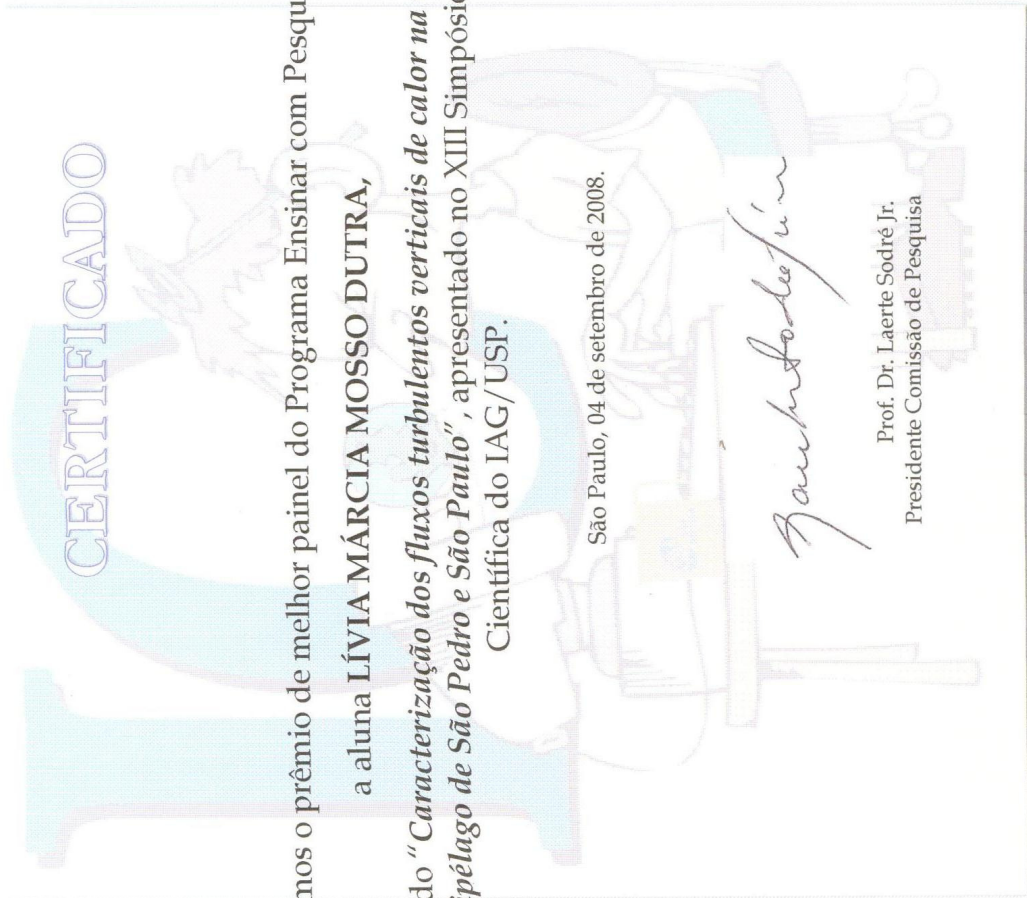
Dutra, L.M.M. e Soares, J.; 2009: Balanço de radiação sobre o oceano Atlântico tropical na região do arquipélago de São Pedro e São Paulo. Anais do XIV Simpósio de Iniciação Científica do IAG/USP.

- Inscrição no 17º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP – SIICUSP-2009.

14.3 Prêmios recebidos

- Prêmio de melhor painel na categoria Ensinar com Pesquisa (*Anexo 1*).
- Prêmio de melhor painel na categoria de Ciências Atmosféricas (*Anexo 4*).

Anexo 1



Conferimos o prêmio de melhor painel do Programa Ensinar com Pesquisa
a aluna **LÍVIA MÁRCIA MOSSO DUTRA,**

pelo trabalho intitulado "*Caracterização dos fluxos turbulentos verticais de calor na interface ar-mar na região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo*", apresentado no XIII Simpósio de Iniciação Científica do IAG/USP.

São Paulo, 04 de setembro de 2008.

Laerte Sodré Jr.

Prof. Dr. Laerte Sodré Jr.
Presidente Comissão de Pesquisa

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP

Certificado

Certificamos que *Livia Márcia Mosso Dutra* participou do 16º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP - SIICUSP com o trabalho "*Estudo dos fluxos verticais turbulentos de calor na região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo*", com a colaboração de -- e orientação do(a) Prof(a). Dr(a) *Jacyra Soares*, na área de Ciências Exatas e Engenharias, realizado nos dias 05, 06 e 07 de novembro de 2008, na Escola Politécnica - EP, campus de São Paulo, SP.

São Paulo, 05 de novembro de 2008



Prof. Dra. Mayana Zatz
PROFESSORA DE PESQUISA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



Prof. Dra. Maria Angelica Miglino
PRESIDENTE DA COMISSÃO COORDENADORA DO
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP

Anexo 3



CERTIFICADO

O INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS
ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
TEM O PRAZER DE CONFERIR O PRESENTE CERTIFICADO A

Lívia Márcia Mosso Dutra

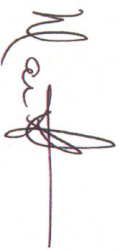
PELA APRESENTAÇÃO DO

MELHOR TRABALHO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
NO XIV SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IAG,
REALIZADO EM 21 E 22 DE MAIO DE 2009.

SÃO PAULO, 22 DE MAIO DE 2009.



PROF. DR. TÉRCIO AMBRIZZI
PRESIDENTE COMISSÃO DE PESQUISA



PROFA. DRA. MARCIA ERNESTO
DIRETORA DO IAG