

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 Parcial de atividades
Período: Agosto de 2008 a Fevereiro de 2009

Fevereiro 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 | 8 |
| 1.2.4 Dados utilizados | 9 |
| 2. Cálculo da radiação incidente no topo da atmosfera | 10 |
| 3. Verificação dos dias de céu claro | 11 |
| 4. Albedo da superfície | 15 |
| 5. Análise das componentes de radiação | 23 |
| 5.1 Onda curta incidente na superfície | 23 |
| 5.2 Onda curta refletida pela superfície | 26 |
| 6. Transmissividade da atmosfera | 30 |
| 7. Conclusões preliminares | 32 |
| 8. Referências | 34 |
| 9. Outras atividades | 35 |
| 9.1 Disciplinas cursadas | 35 |
| 9.1 Participações em eventos | 35 |

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.

Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico relativo à região do ASPSP, o que possibilitou um melhor conhecimento do local de estudo. As componentes do balanço de radiação na região do arquipélago foram obtidas através de banco de dados meteorológicos disponíveis na Internet. Neste primeiro relatório é discutido o balanço de onda curta. Com estes dados pretende-se futuramente obter o balanço de radiação e posteriormente o balanço de energia, utilizando-se 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 principais objetivos desta etapa do trabalho são:

- Realizar um levantamento bibliográfico relativo à região do ASPSP, o que possibilita um melhor conhecimento da região de estudo;
- Obter as componentes de radiação de onda curta (OC) na região do arquipélago, através de banco de dados meteorológicos disponíveis na Internet;
- Realizar o tratamento dos dados de radiação de onda curta.
- Obter a radiação total incidente no topo da atmosfera (TOA);
- Verificar 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 próxima etapa do trabalho terá como objetivos:

- Obter as componentes de radiação de onda longa (OL) na região do arquipélago;
- Obter o balanço de radiação na região;
- Obter o balanço de energia na região.

Para obtenção do balanço de energia, serão utilizados 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 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, 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.

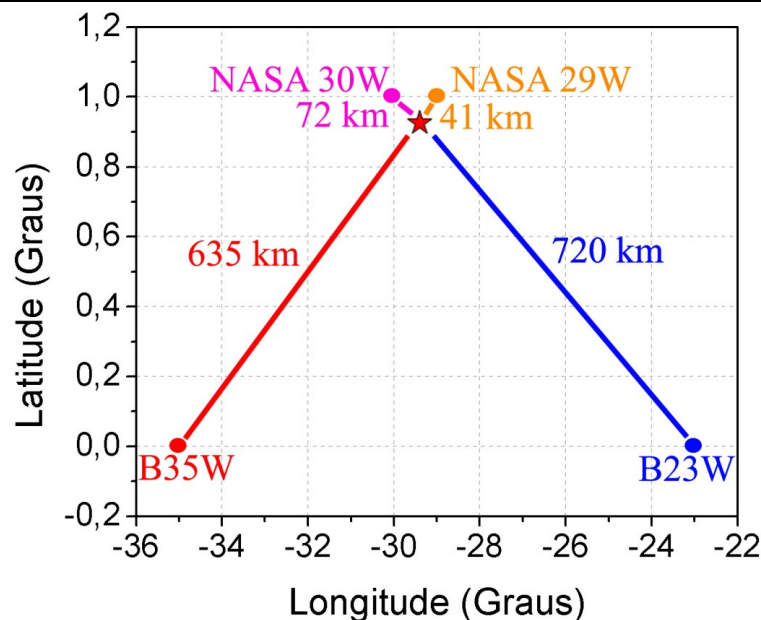


Figura 1: Localização geográfica do ASPSP, das bóias PIRATA em ($0^{\circ}N$, $35^{\circ}W$) e em ($0^{\circ}N$, $23^{\circ}W$), e dos pontos de grade utilizados da NASA em ($1^{\circ}N$, $29^{\circ}W$) e em ($1^{\circ}N$, $30^{\circ}W$).

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 espalhada 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) está disponível numa resolução de dois minutos, e é medida a uma altura de 3,5 metros acima do nível médio do mar. A *Figura 2* é um exemplo da bóia utilizada para a aquisição dos dados:

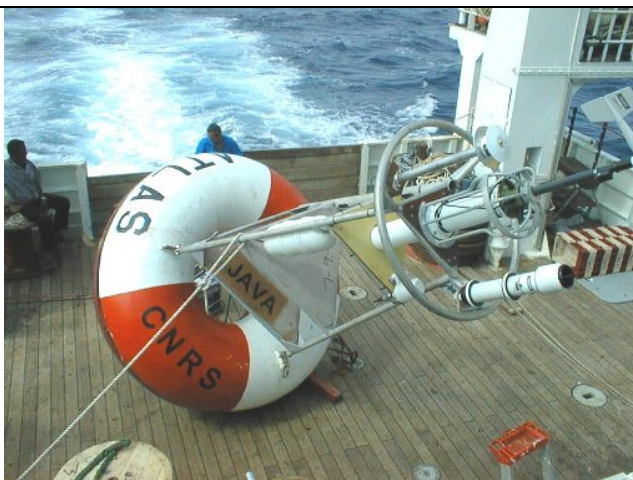


Figura 2: Bóia PIRATA utilizada na aquisição das variáveis meteorológicas e oceanográficas.

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.

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.

Nesta etapa do trabalho, foram utilizados dados de $OC\downarrow$ e refletida ($OC\uparrow$) na superfície, 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 |

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:

$$\cos \gamma = \text{sen}(\delta) \text{sen}(\phi) + \cos(\delta) \cos(\phi) \cos(h) \quad (2)$$

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:

$$\delta = a_1 + a_2 \cos(\theta) + a_3 \text{sen}(\theta) + a_4 \cos(2\theta) + a_5 \text{sen}(2\theta) \quad (4)$$

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

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

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</i> : Constantes utilizadas no cálculo empírico da declinação solar, da distância Terra-Sol e da equação do tempo. | | | | | |
|--|-----------|-------------|---------|-------|-----------|
| 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 $OC\downarrow$ 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.

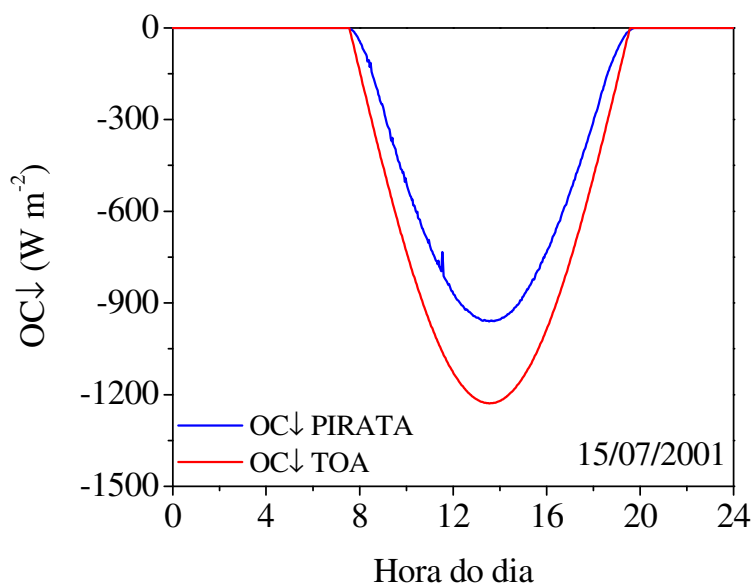


Figura 3: Exemplo de um dia de céu claro. Em vermelho, a $OC\downarrow$ calculada no TOA, e em azul a $OC\downarrow$ medida *in situ* do PIRATA ($W\ m^{-2}$), na região da bóia B23W, para o dia 15/07/2001.

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.

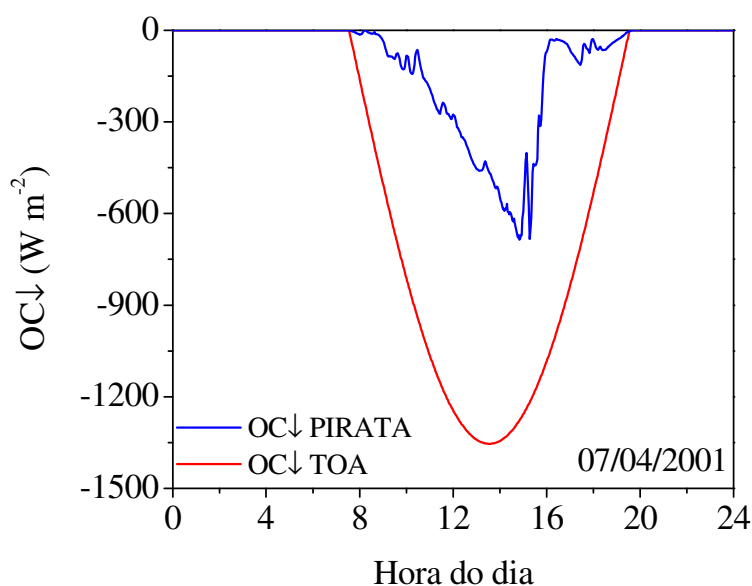


Figura 4: Exemplo de um dia de céu não-claro. Em vermelho, a $OC\downarrow$ calculada no TOA, e em azul a $OC\downarrow$ medida *in situ* do PIRATA ($W\ m^{-2}$), na região da bóia B23W, para o dia 07/04/2001.

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 $OC\downarrow$ medida na superfície das bóias e da $OC\downarrow$ 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.

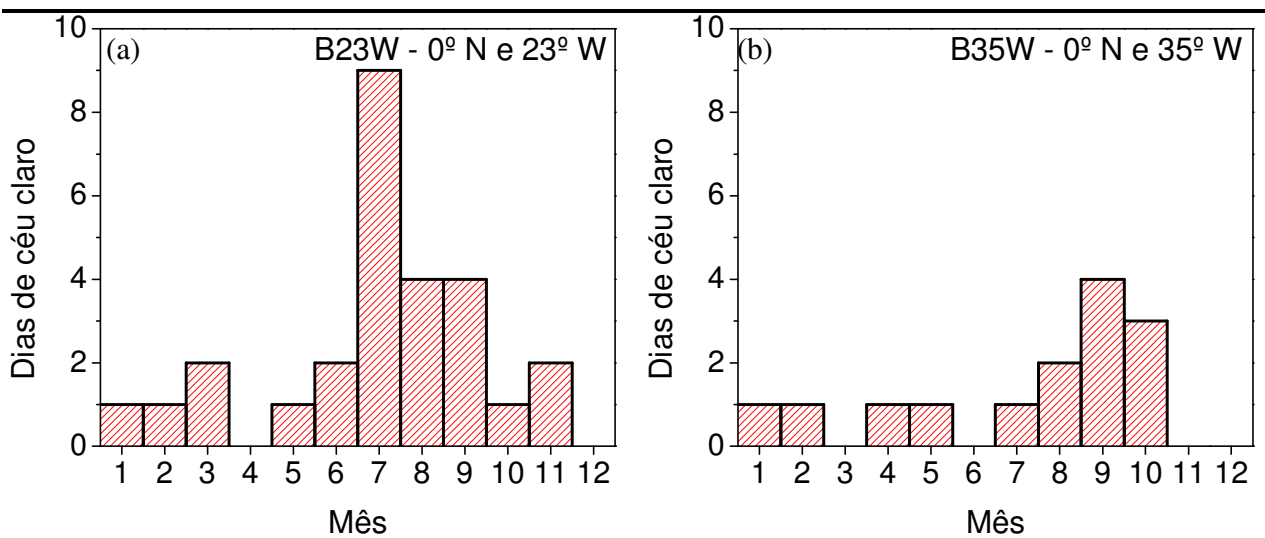


Figura 5: Histograma da frequência de dias de céu claro, para a região das bóias (a) B23W e (b) B35W do PIRATA. A análise foi feita com todo o período disponível de medidas.

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).

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

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

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

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.

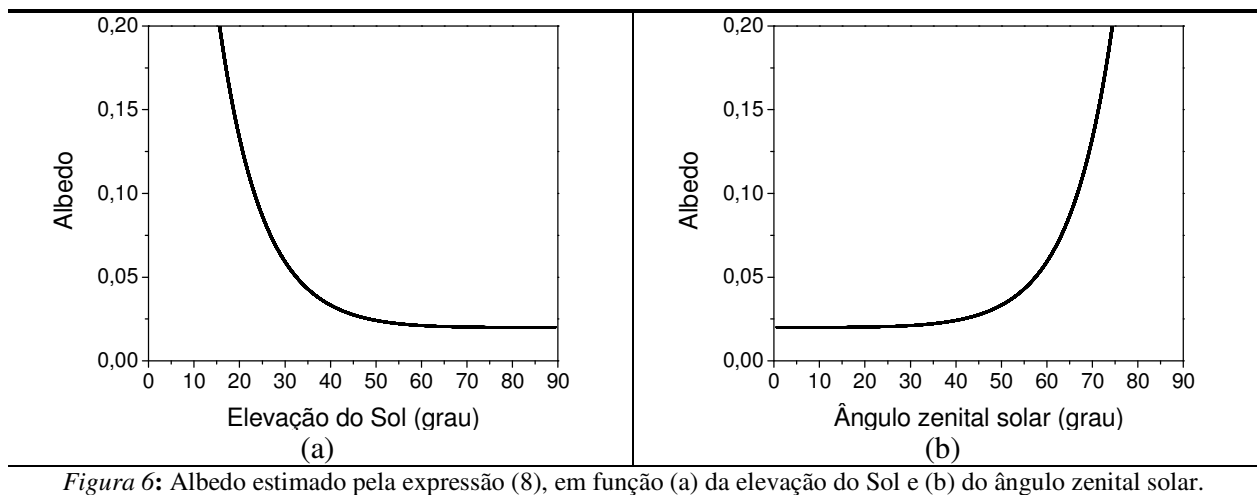


Figura 6: Albedo estimado pela expressão (8), em função (a) da elevação do Sol e (b) do ângulo zenital solar.

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.

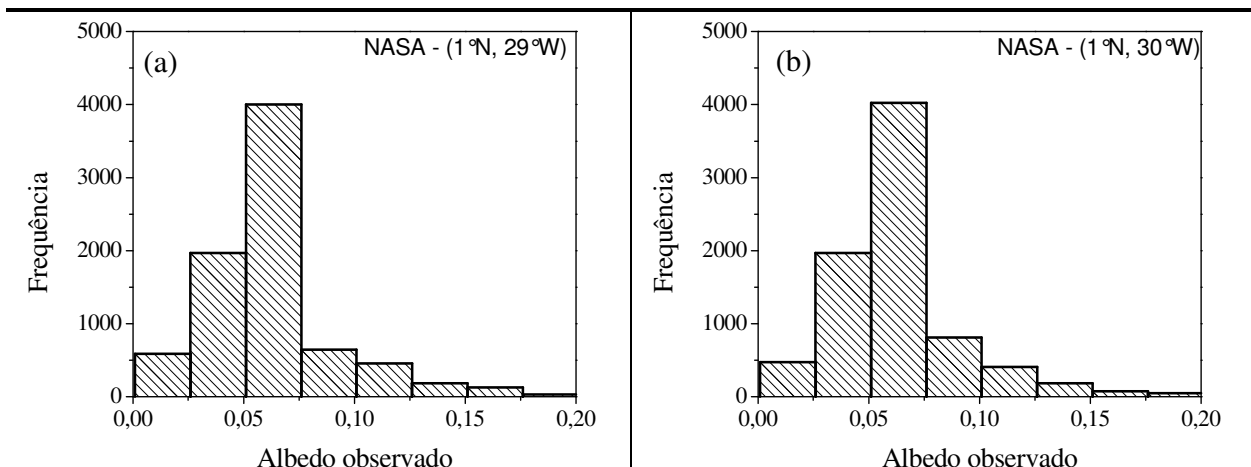


Figura 7: Histograma do albedo observado (equação 7), para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

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 0,05 e 0,075. 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).

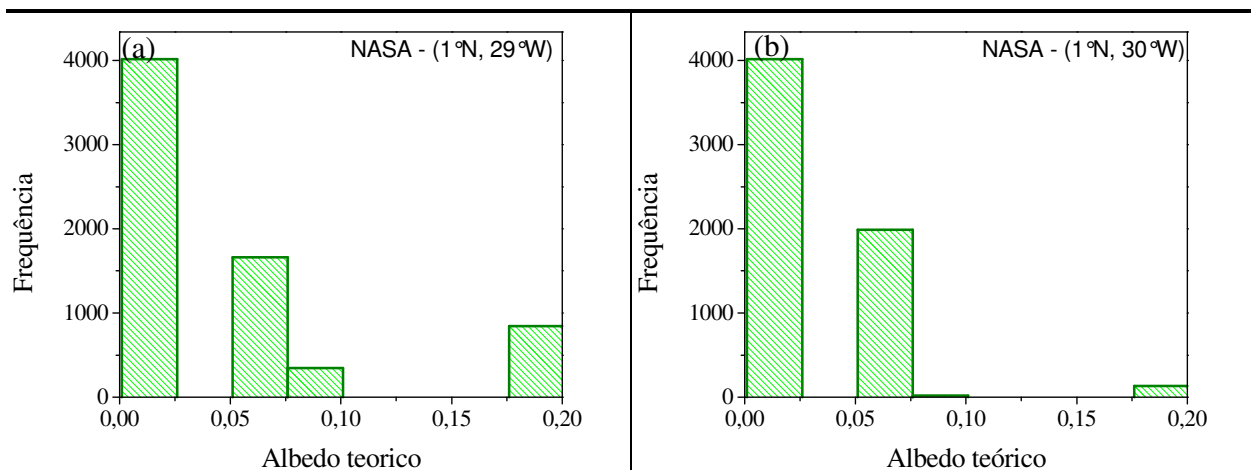


Figura 8: Histograma do albedo teórico (expressão 8), para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

Na *Figura 8*, nota-se que o albedo teórico não apresentou uma distribuição gaussiana normal em ambas as regiões. Comparando as *Figuras 8 e 9*, observa-se que a intensidade de maior frequência não foi a mesma para o albedo observado e o teórico; nas duas regiões da NASA, o albedo teórico apresentou intensidade de maior frequência entre 0

e 0,025. Entretanto, valores de albedo teórico entre 0,05 e 0,075 estão entre o intervalo de segunda maior frequência.

Na *Figura 9* 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.

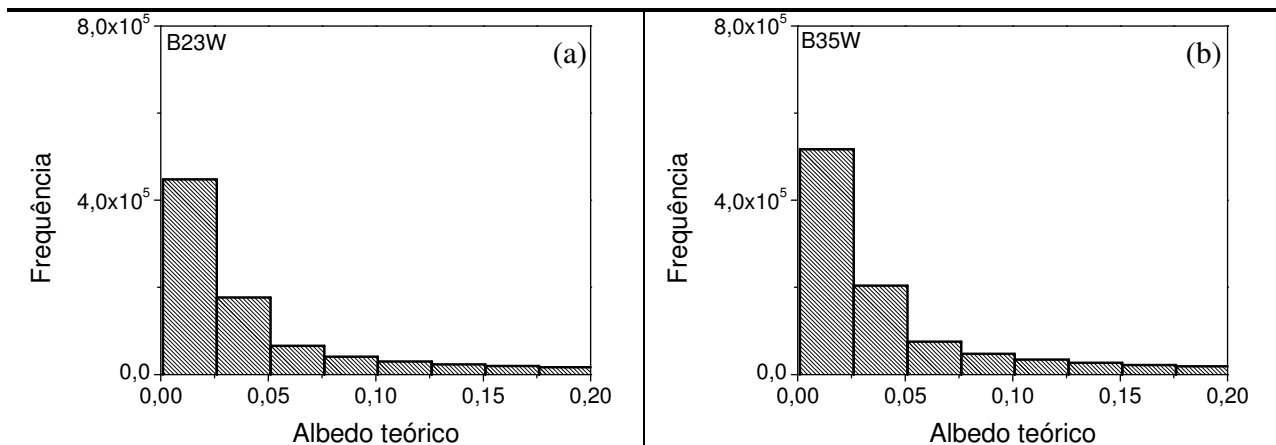
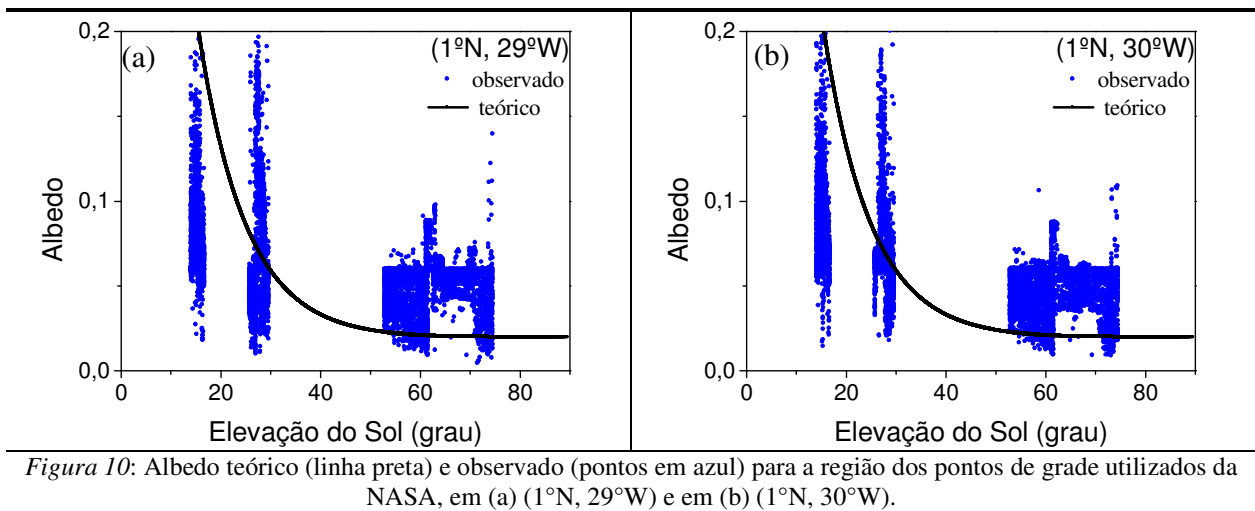


Figura 9: Histograma do albedo teórico (expressão 8), para a região das bóias PIRATA, em (a) (0°N , 23°W) e em (b) (0°N , 35°W).

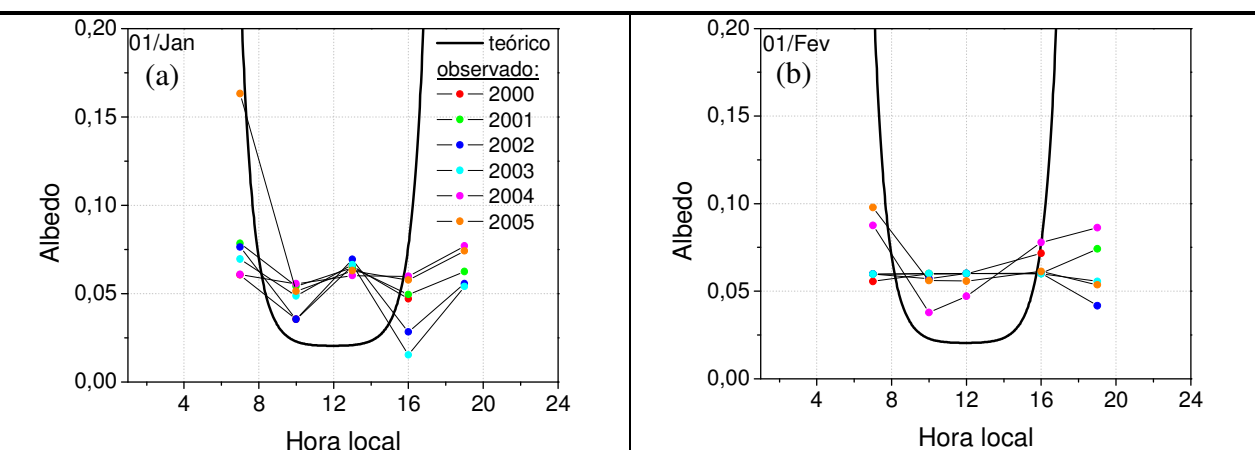
Na *Figura 9*, nota-se que o intervalo de intensidade de maior frequência para o albedo teórico está entre 0 e 0,025. Nota-se também que quanto maior é o intervalo, menor é a frequência em que ocorrem.

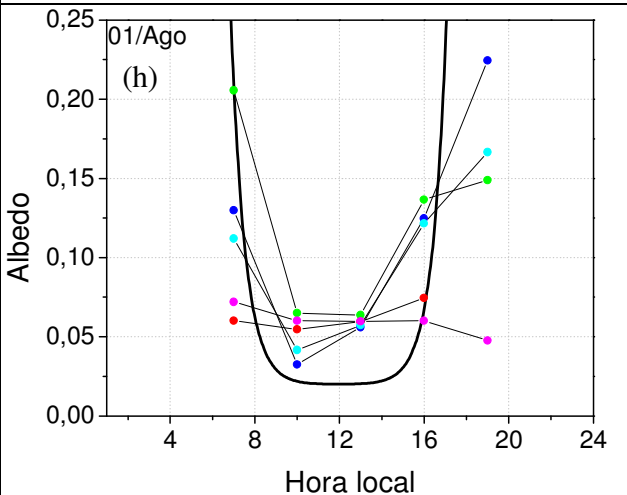
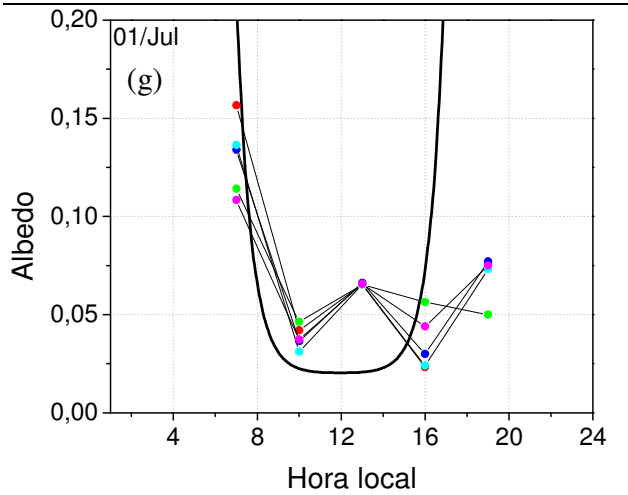
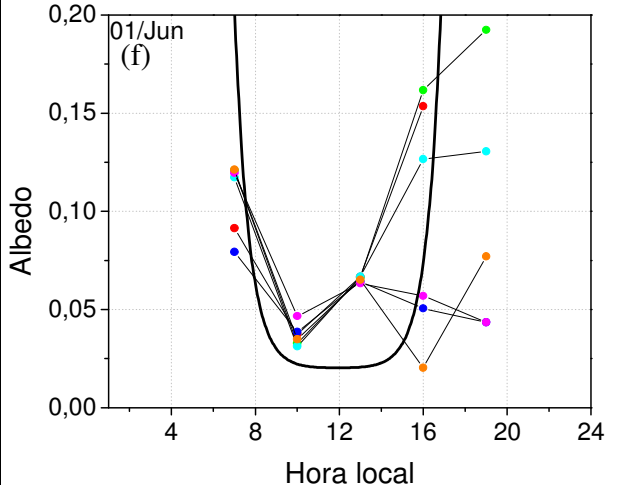
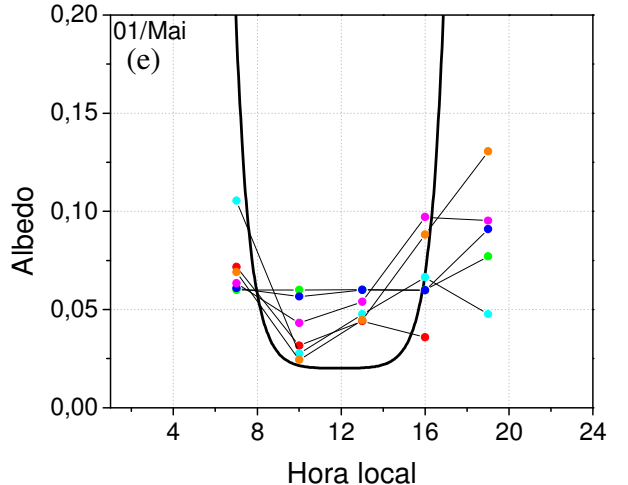
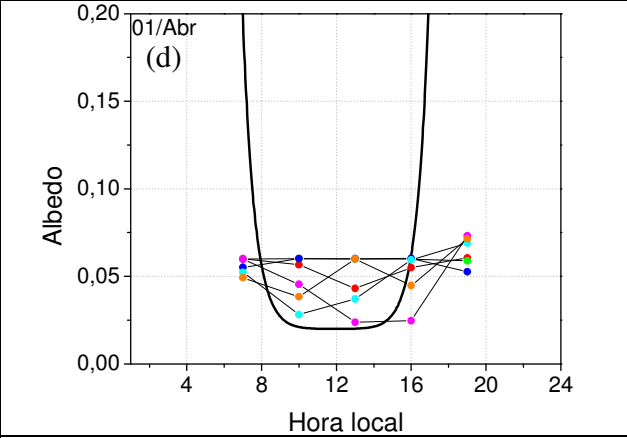
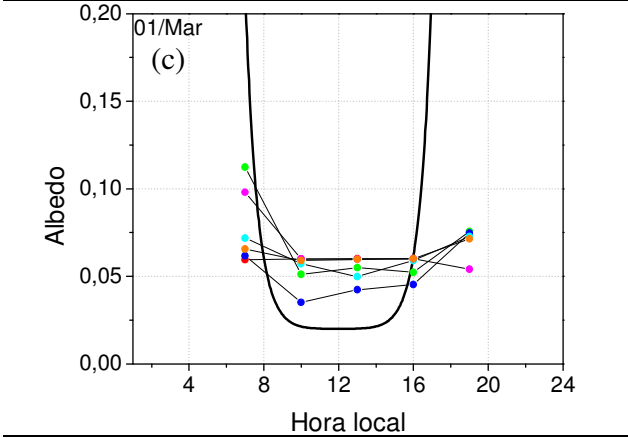
A *Figura 10* apresenta o albedo teórico e o observado em função da elevação do Sol, para as regiões dos pontos de grade utilizados da NASA. Para o albedo observado, utilizou-se todo o período de dados disponível (janeiro de 2000 a junho de 2005).



Na Figura 10, 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.

Na Figura 11 seguem exemplos da evolução diária do albedo teórico e observado, para o ponto de grade da NASA em (1°N, 29°W). Escolheu-se verificar esta evolução no dia primeiro de cada mês, utilizando-se todos os anos disponíveis.





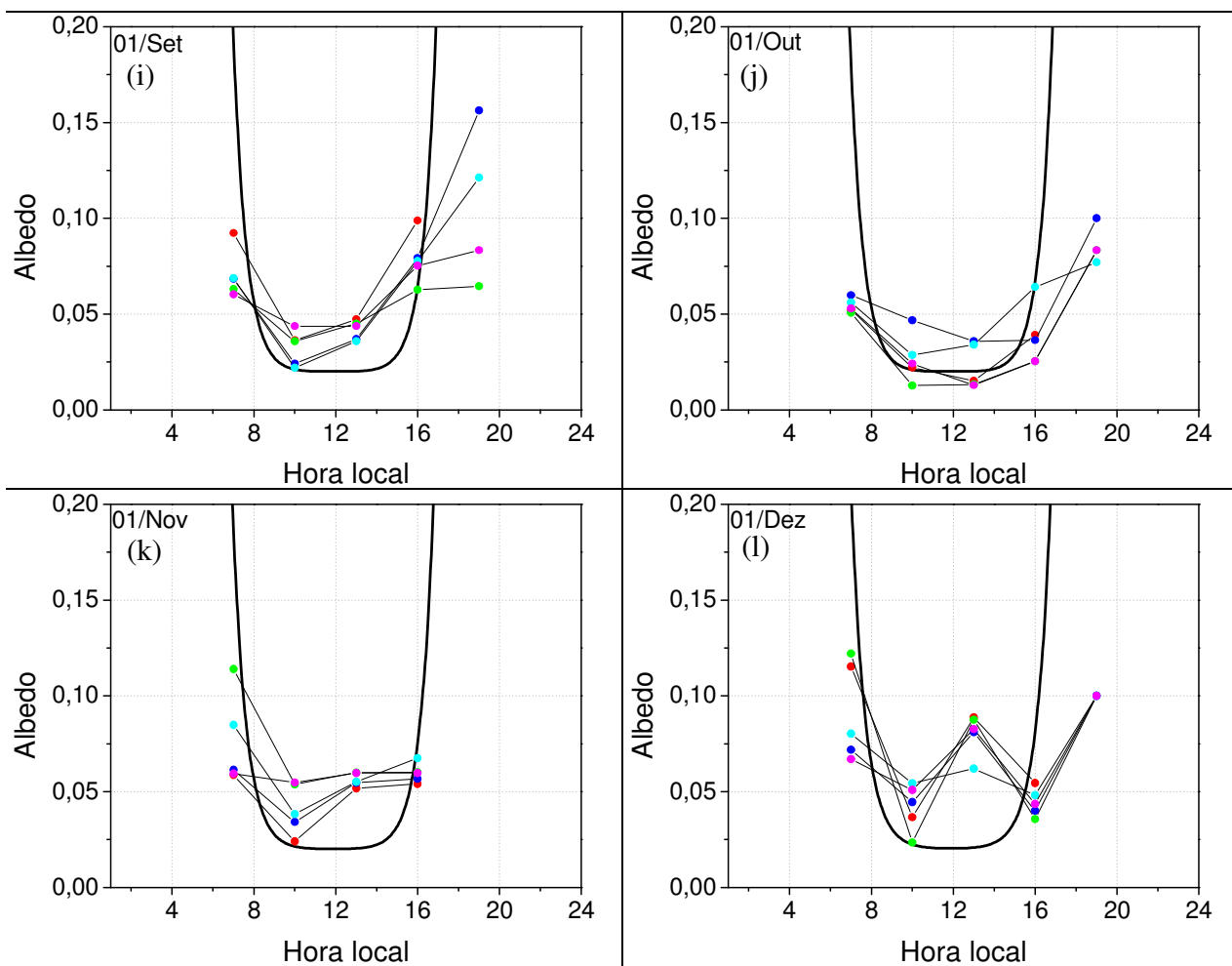


Figura 11: Evolução diária do albedo teórico e observado, para o primeiro dia de cada mês, no ponto de grade da NASA em (1°N, 29°W). O período utilizado foi de jan/2000 a jun/2005.

Na Figura 11, 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.

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 12 e 13 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.

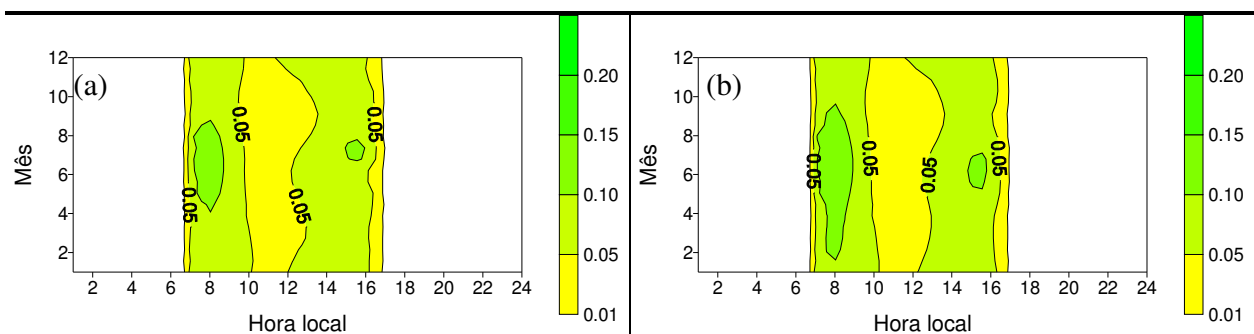


Figura 12: Evolução média horária mensal do albedo observado, para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

Na Figura 12 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.

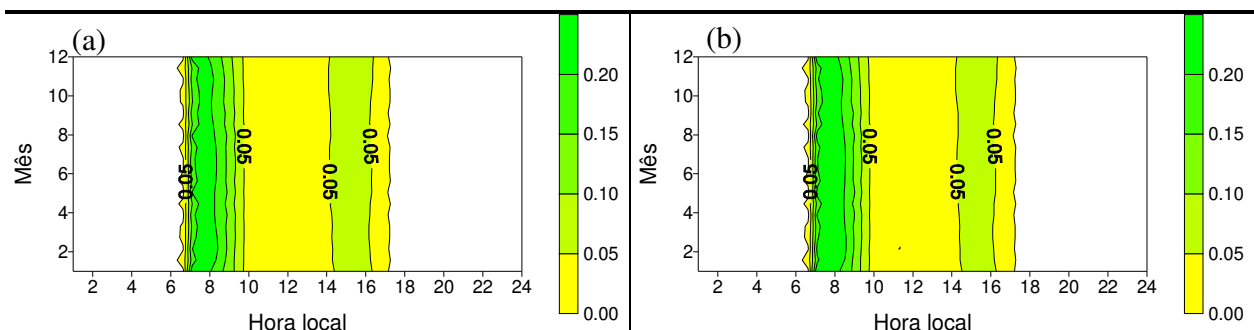


Figura 13: Evolução média horária mensal do albedo teórico (expressão 8), para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

Comparando as *Figuras 12 e 13*, nota-se que o albedo estimado para a superfície do mar (*Figura 13*) mostrou-se mais compatível ao observado (*Figura 12*) na parte da tarde (após as 14h). Pela manhã, os valores calculados superestimaram os observados. Isto pode ter ocorrido devido à baixa resolução dos dados da NASA.

Nas *Figura 14* segue a evolução média horária mensal do albedo teórico, para as regiões das bóias PIRATA.

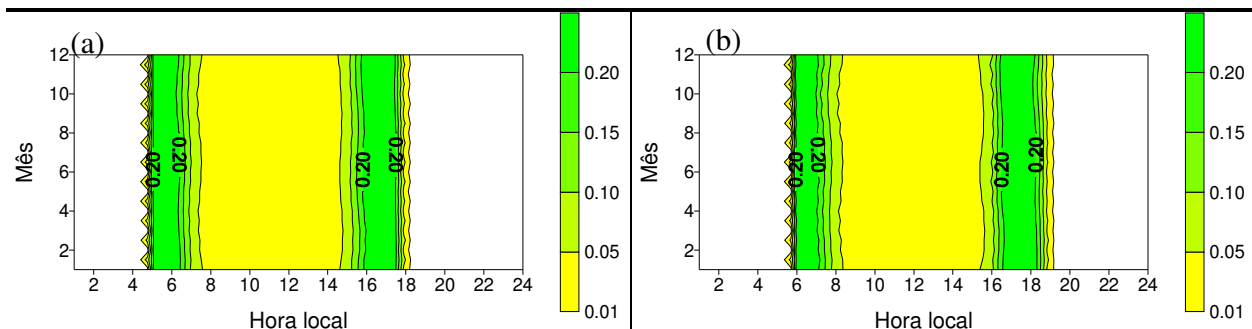


Figura 14: Evolução média horária mensal do albedo teórico (expressão 8), para a região das bóias utilizadas do PIRATA, em (a) (0°N, 23°W) e em (b) (0°N, 35°W).

Analisando os resultados obtidos na *Figura 14*, 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 14a*), enquanto para a B35W ocorrem entre as 06h e 08h UTC (*Figura 15b*). 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 14* 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. Análise das componentes de radiação

5.1 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 incluídas.

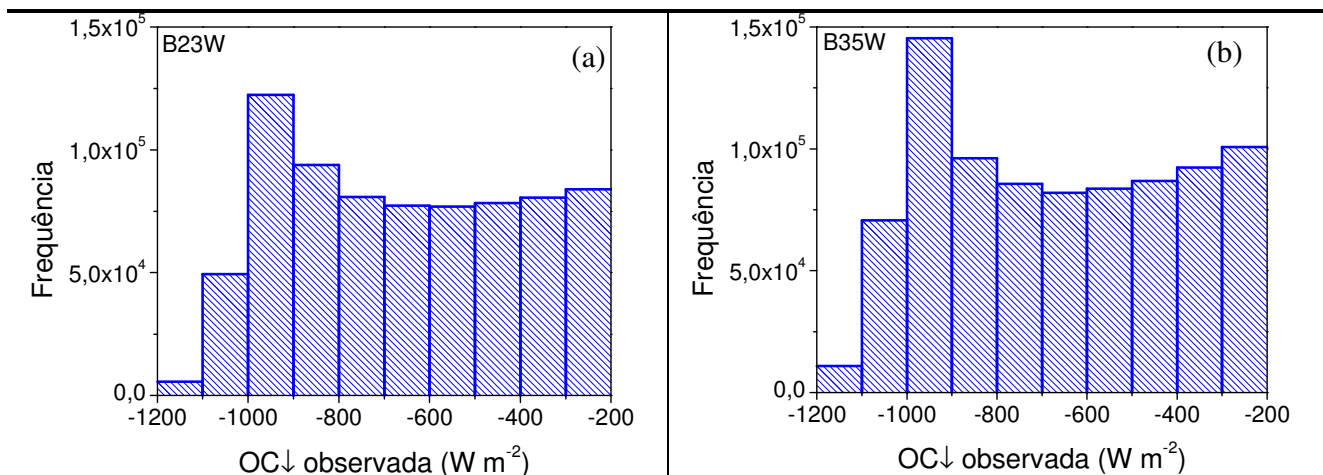


Figura 15: Histograma da $OC\downarrow$ observada, para a região das bóias PIRATA, em (a) (0°N , 23°W) e em (b) (0°N , 35°W).

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 $OC\downarrow$ observada para os pontos de grade da NASA. Novamente, apenas intensidades maiores que -200 W m^{-2} foram incluídas.

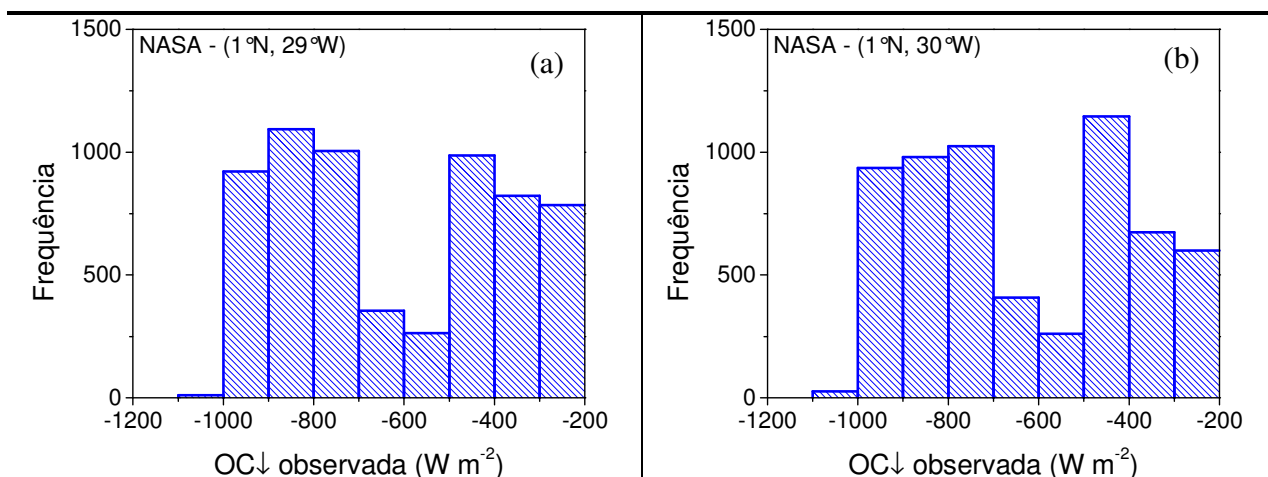


Figura 16: Histograma da OC↓ observada, para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

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↓ 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.

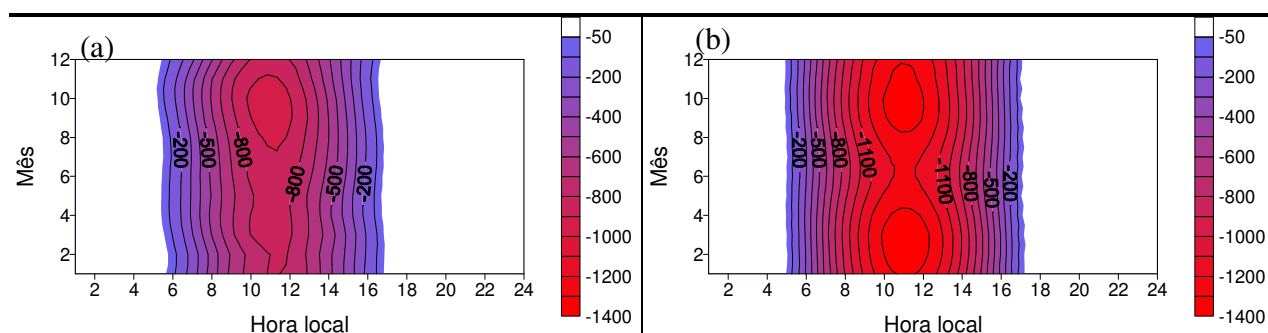


Figura 17: Evolução média horária mensal da OC↓ (a) observada e (b) calculada no TOA, para a região da bóia PIRATA B23W, em (0°N, 23°W).

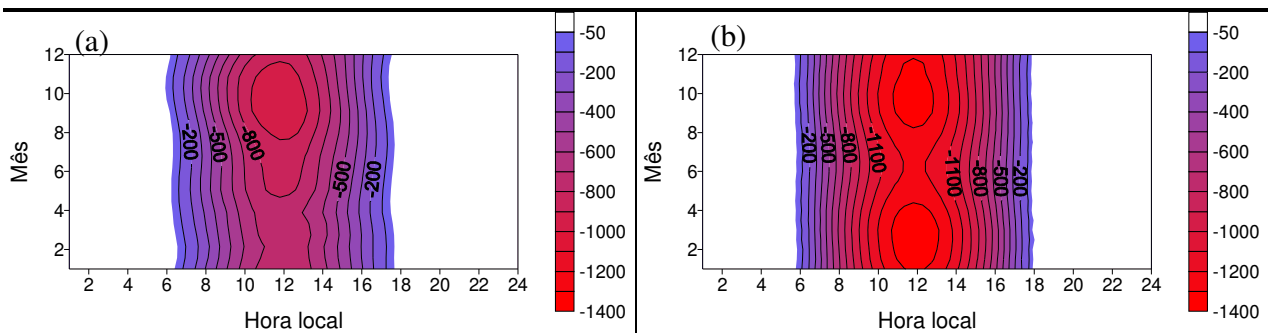


Figura 18: Evolução média horária mensal da $OC\downarrow$ (a) observada e (b) calculada no TOA, para a região da bóia PIRATA B35W em (0°N , 35°W).

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.

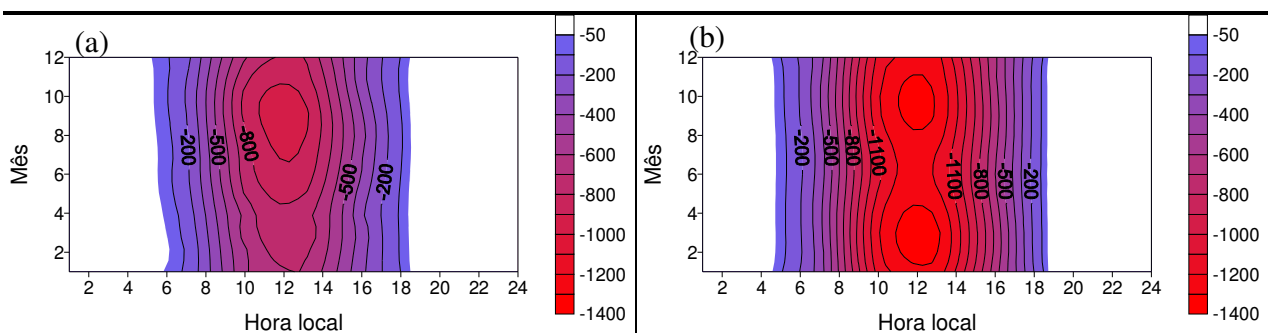


Figura 19: Evolução média horária mensal da $OC\downarrow$ (a) observada e (b) calculada no TOA, para a região do ponto de grade utilizado da NASA em (1°N , 29°W).

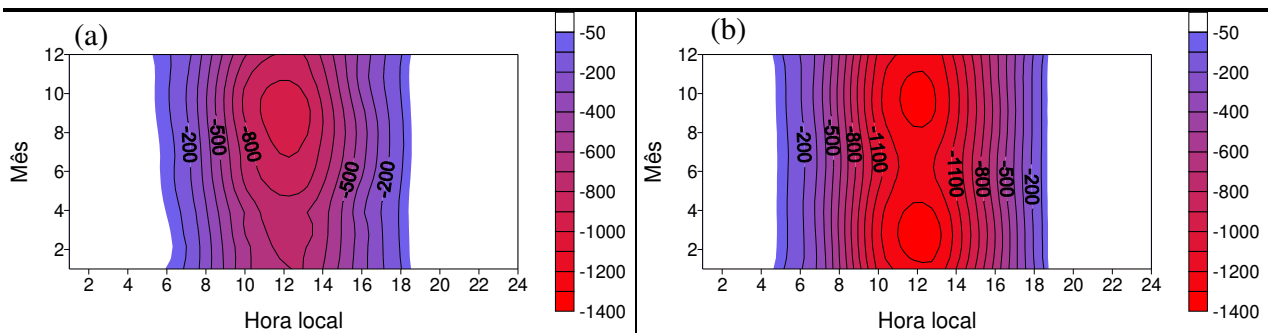


Figura 20: Evolução média horária mensal da $OC\downarrow$ (a) observada e (b) calculada no TOA, para a região do ponto de grade utilizado da NASA, em ($1^{\circ}N$, $30^{\circ}W$).

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

5.2 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).

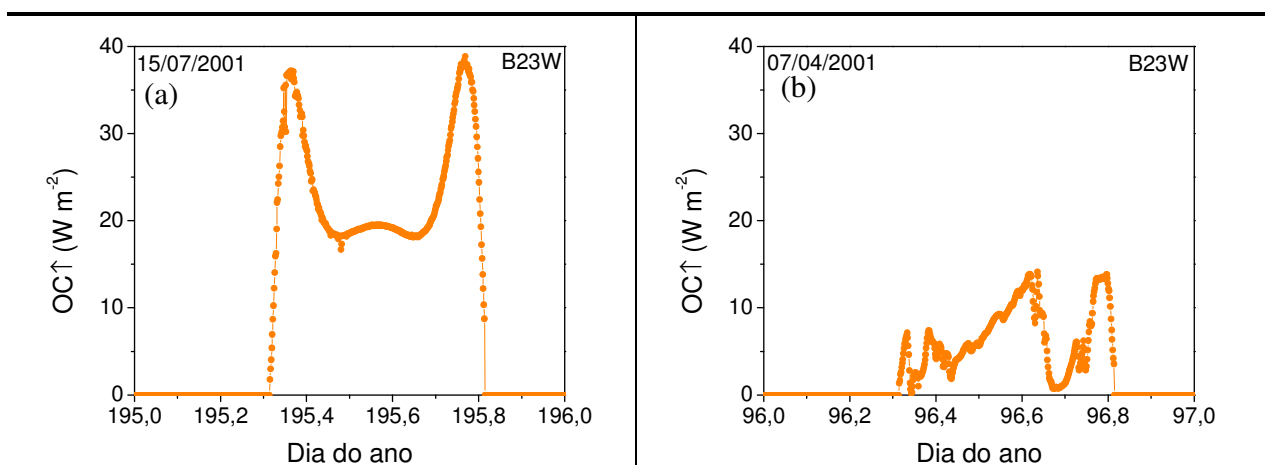


Figura 21: Onda curta refletida pela superfície (expressão 10), para a região da bóia PIRATA B23W, em um dia (a) de céu claro e (b) nublado.

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} .

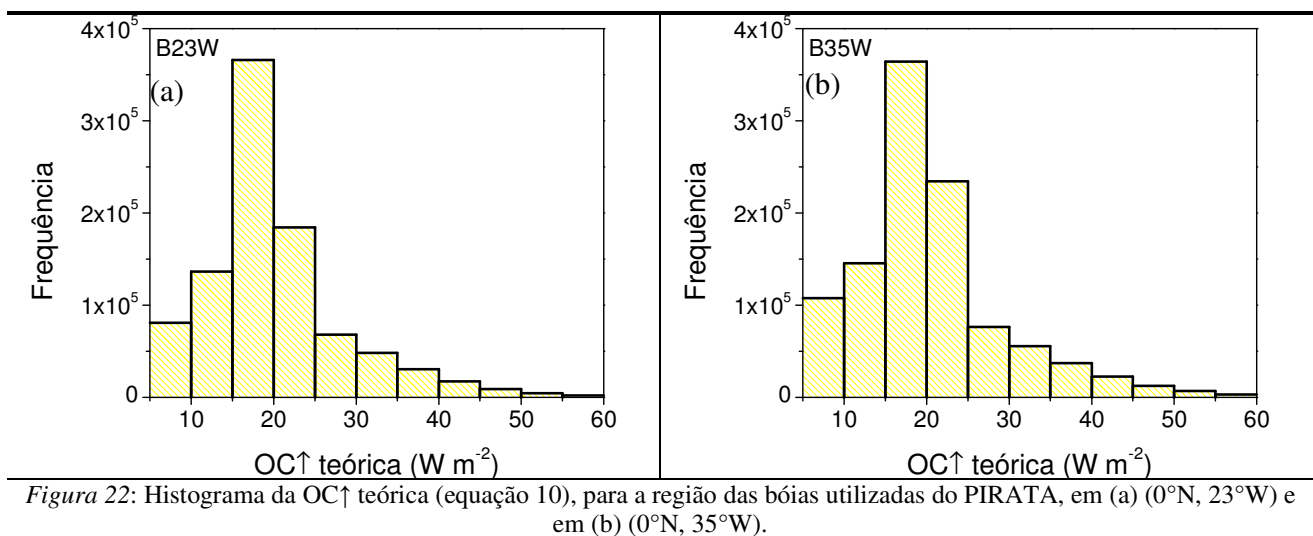


Figura 22: Histograma da $OC\uparrow$ teórica (equação 10), para a região das bóias utilizadas do PIRATA, em (a) (0°N , 23°W) e em (b) (0°N , 35°W).

Na *Figura 22*, observa-se uma distribuição normal para a $OC\uparrow$ 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 $OC\uparrow$ 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).

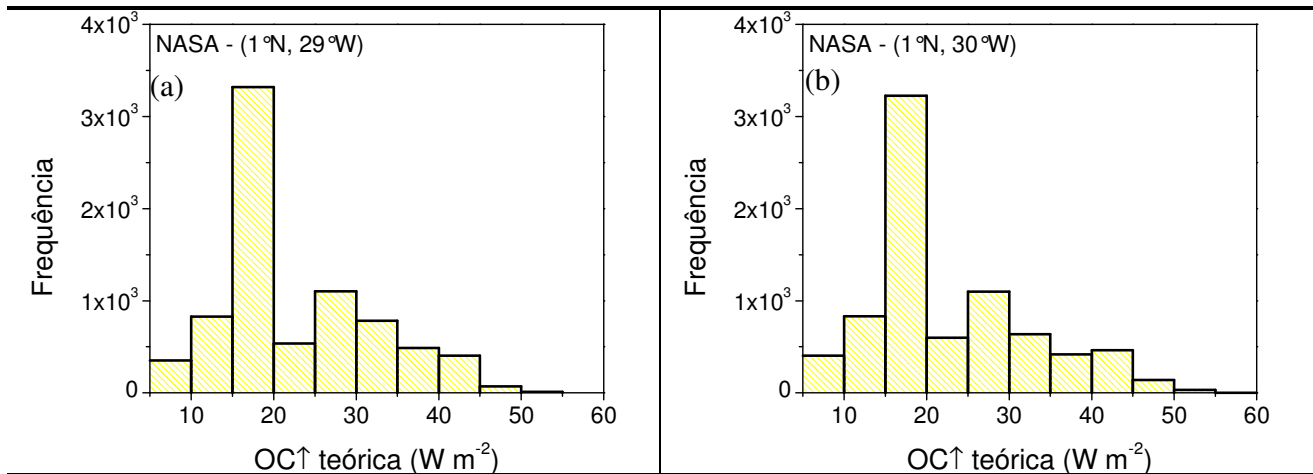


Figura 23: Histograma da OC↑ teórica (equação 10), para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

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.

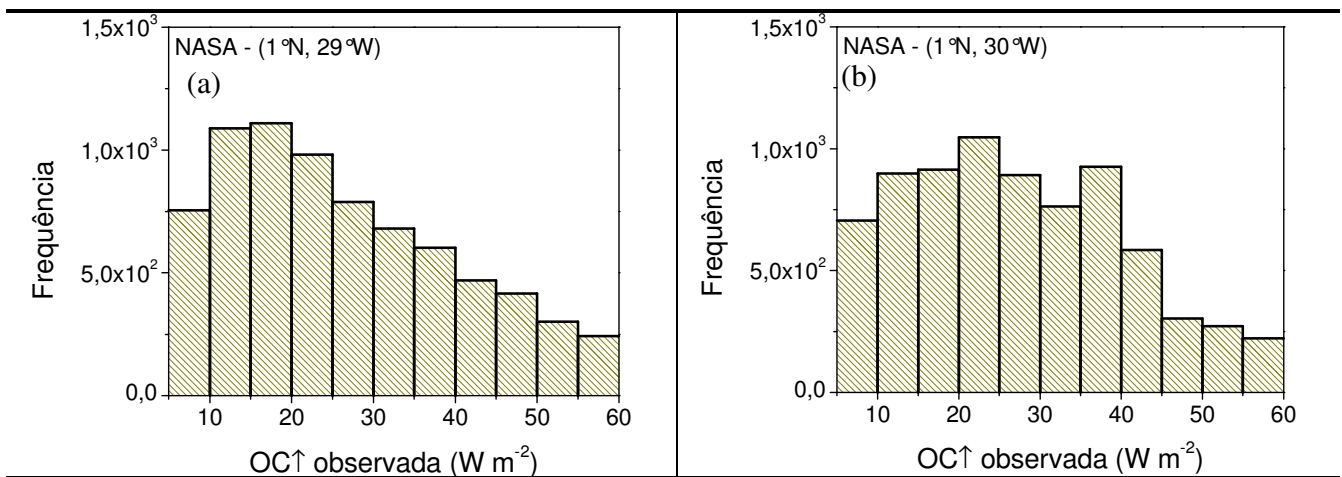


Figura 24: Histograma da OC↑ observada (equação 10), para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

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.

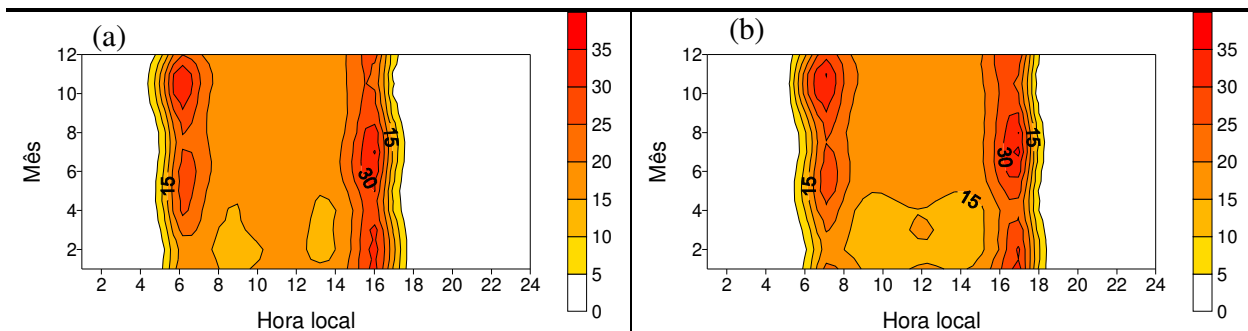


Figura 25: Evolução média horária mensal da OC↑ calculada (equação 10), para a região das bóias utilizadas do PIRATA, em (a) (0°N, 23°W) e em (b) (0°N, 35°W).

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.

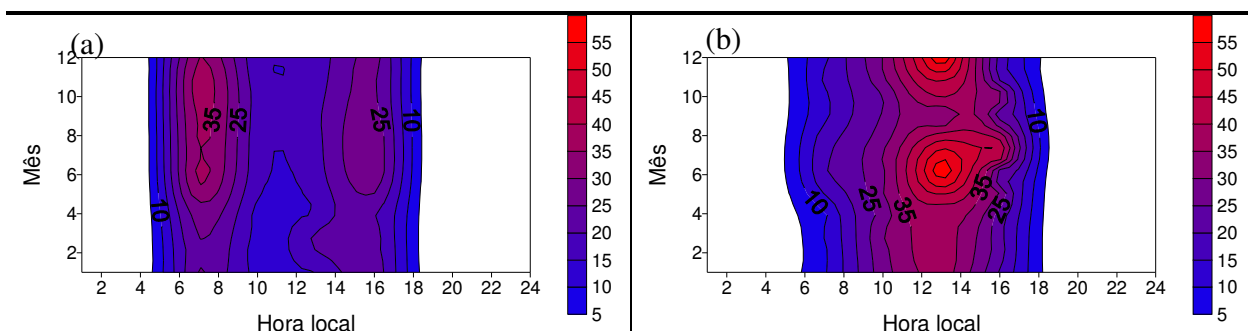


Figura 26: Evolução média horária mensal da OC↑ (a) teórica (expressão 10) e (b) observada, para a região do ponto de grade utilizado da NASA em (1°N, 29°W).

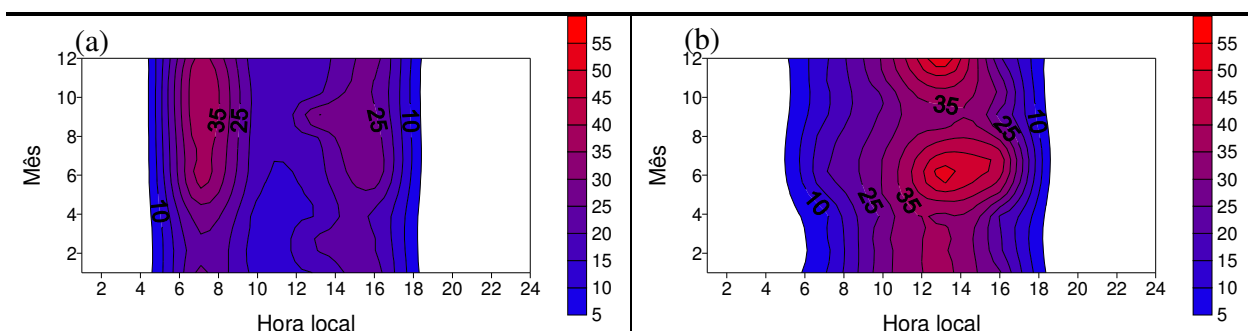


Figura 27: Evolução média horária mensal da OC↑ (a) teórica (expressão 10) e (b) observada, para a região do ponto de grade utilizado da NASA em (1°N, 30°W).

Nas Figuras 26 e 27, nota-se que os valores observados de OC↑ 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↑ observada.

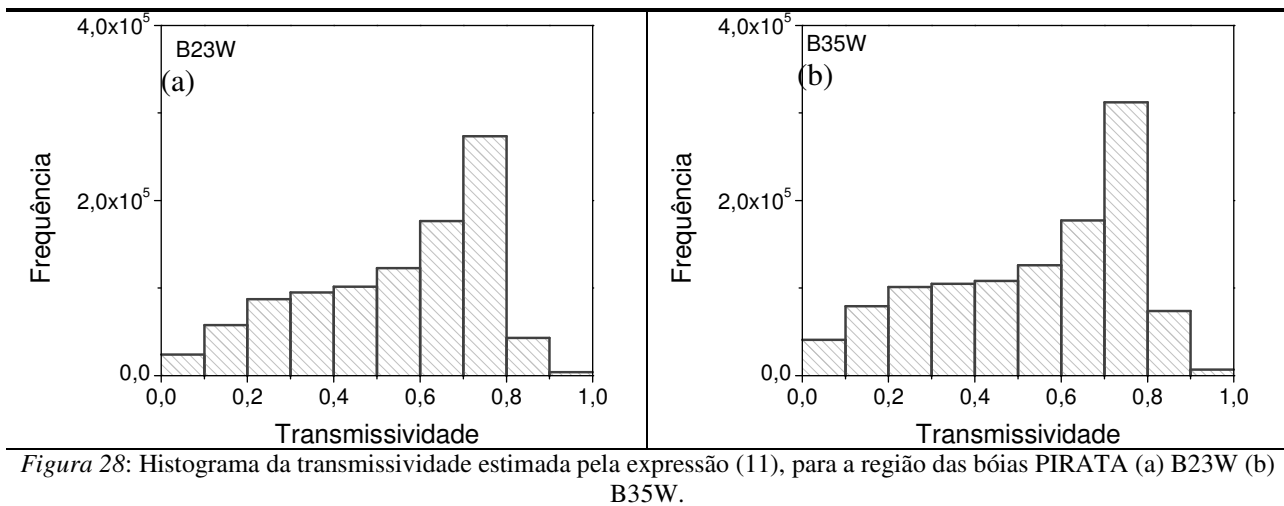
Contudo, a evolução média da OC↑ teórica (*Figuras 26a e 27a*) apresenta dois picos de intensidade, em diferentes horários do dia. Estes picos estão entre as 06h-08h e 14h-16h (hora local).

6. 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 (11):

$$\Gamma = \frac{OC \downarrow_{obs}}{OC \downarrow_{TOA}} \quad (11)$$

A transmissividade foi calculada para os dados do PIRATA e da NASA. Nas *Figuras 28 e 29*, seguem os histogramas da transmissividade obtida para cada região.



Na *Figura 28*, os resultados obtidos para ambas as bóias foram semelhantes, sendo que as intensidades de maior frequência estão entre 0,7 e 0,8.

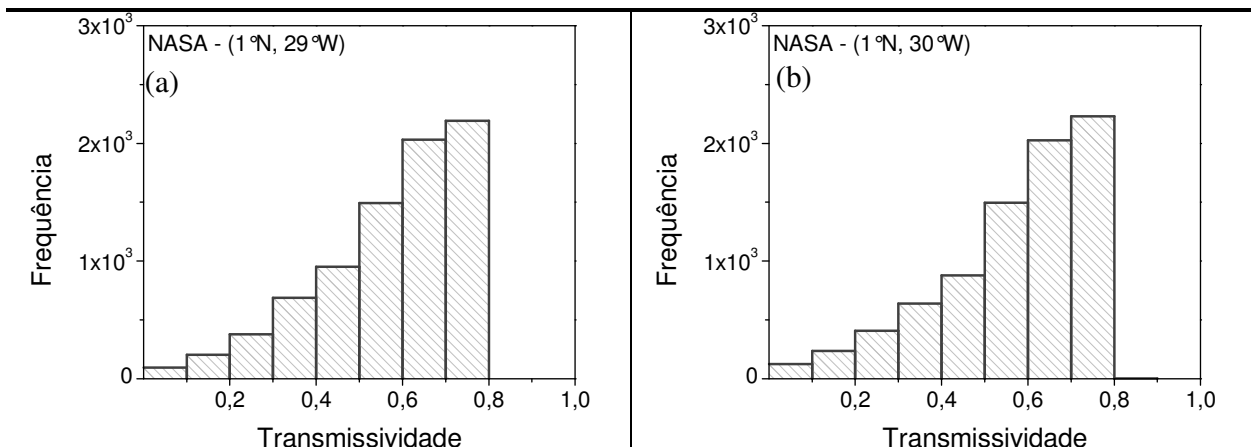


Figura 29: Histograma da transmissividade estimada pela expressão (11), para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

Na Figura 29, 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 30 e 31 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.

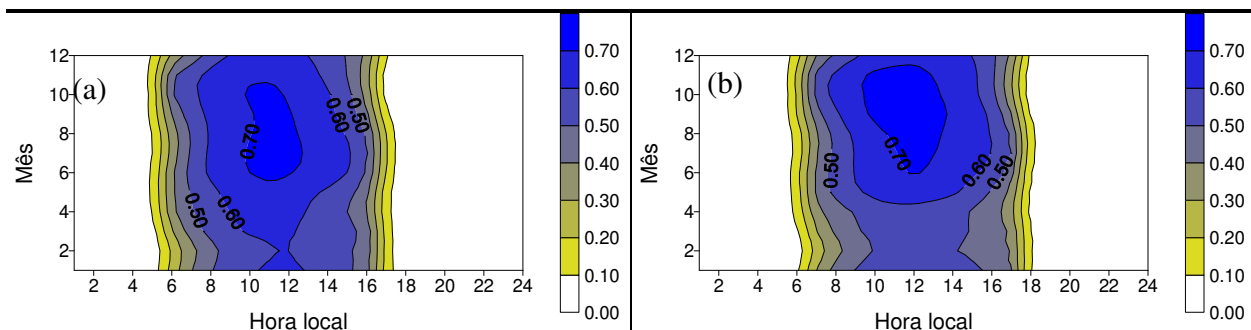


Figura 30: Evolução média horária mensal da transmissividade observada (equação 11), para a região das bóias utilizadas do PIRATA, em (a) (0°N, 23°W) e em (b) (0°N, 35°W).

Na Figura 30, 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.

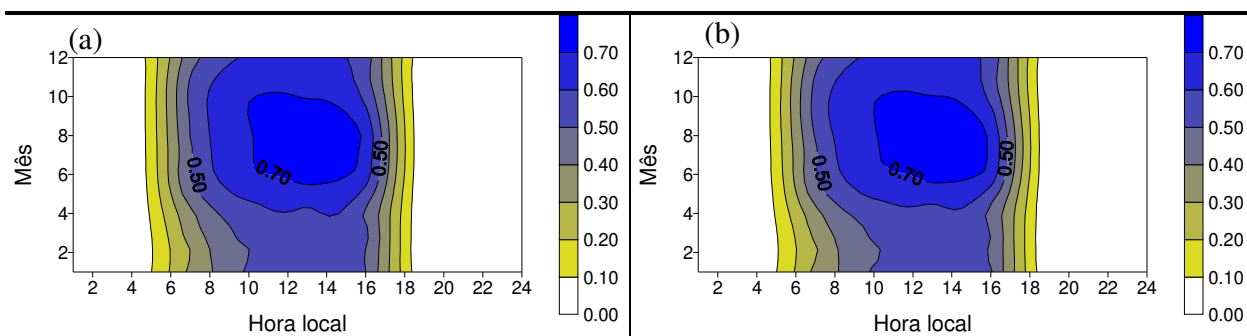


Figura 31: Evolução média horária mensal da transmissividade observada (equação 11), para a região dos pontos de grade utilizados da NASA, em (a) (1°N, 29°W) e em (b) (1°N, 30°W).

Os resultados obtidos da evolução média mensal da transmissividade com os dados NASA (Figura 31) foram semelhantes aos verificados com os dados PIRATA (Figura 30).

7. Conclusões preliminares

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 $OC\downarrow$. 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 $OC\uparrow$ 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 $OC\downarrow$ 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 $OC\downarrow$ observada ocorrem no segundo semestre do ano.

Nos histogramas da $OC\uparrow$ 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 $OC\uparrow$ teórica e a $OC\uparrow$ observada da NASA, nota-se que os resultados apresentam diferenças significativas; os valores observados de $OC\uparrow$ são superiores aos valores da $OC\uparrow$ teórica. Na evolução da $OC\uparrow$ observada, os picos de intensidade ocorrem entre as 11h e 16h (hora local), enquanto que na evolução média da $OC\uparrow$ 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 $OC\downarrow$ observada na superfície e da $OC\downarrow$ no TOA. Os histogramas (*Figuras 28 e 29*) 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 $OC\downarrow$ durante este período também é maior.

8. 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.
- 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.
- 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).

9. Outras atividades

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

9.1. Disciplinas cursadas

- Agrometeorologia – 8,3
- Astronomia de Posição – 8,2
- Cálculo Numérico – 8,0
- Meteorologia por Satélite – 8,4
- Dinâmica I – 7,6

9.2 Participações em eventos

- Participação no XIII Simpósio de Iniciação Científica do IAG, com apresentação de trabalho em painel. Ganhou prêmio de melhor painel de sua categoria (*Anexo 1*).

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.

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

