

Universidade de São Paulo – USP
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG
Departamento de Ciências Atmosféricas – ACA

Relatório parcial de atividades de pesquisa de iniciação científica

Estudo das propriedades radiométricas na região Antártica

Caio Jorge Ruman

Orientadora: Jacyra Soares

Bolsa CNPq N°: 146301/2011-0

Período: Agosto de 2011 a Janeiro de 2012

Fevereiro de 2012

ACA-IAG-USP

ÍNDICE

1. Introdução	3
1.1 Objetivos	3
2. Região e dados de estudo	4
3. Resultados	6
3.1 Radiação de onda curta	6
3.1.1 Radiação de onda curta incidente	6
3.1.2 Transmissividade atmosférica	8
3.1.3 Radiação de onda curta refletida pela superfície	9
3.2 Radiação de onda longa.....	10
3.2.1 Radiação de onda longa emitida pela superfície	10
3.2.2 Radiação de onda longa emitida pela atmosfera	11
3.3 Balanço de radiação	11
4. Conclusão.....	12
5. Referências	13
6. Outras atividades acadêmicas desenvolvidas no período	13
6.1 Disciplinas cursadas no período	13
6.2 Participação em eventos	14

1. Introdução

A Antártica é a região do planeta mais preservada e uma das mais vulneráveis às mudanças ambientais globais e por isso, alterações no meio ambiente Antártico, naturais ou causados pelo homem, tem o potencial de provocar impactos biológicos e socioeconômicos que podem afetar o sistema terrestre como um todo. Por ser parte integrante e essencial do sistema ambiental global, a região Antártica não só exporta sinais climáticos, afetando o clima global, mas também importa sinais climáticos globais, sofrendo suas consequências. Por esta razão, a pesquisa científica nas regiões polares é de grande importância ambiental e econômica, pois contribui para compreensão das alterações climáticas e ambientais observadas nestas regiões.

O monitoramento do sistema atmosférico é fundamental para avaliar tais mudanças, o que significa coletar dados ambientais continuamente, com qualidade controlada e por um longo prazo, ou seja, traduzido em séries temporais longas, que permitem a avaliação mais acurada de implicações futuras, subsidiando tomadas de decisão.

Em fevereiro de 2011 iniciou-se o projeto “Estudo da Turbulência na Antártica (ETA)”, coordenado pela Prof.^a Dra Jacyra Soares, onde se pretende coletar dados meteorológicos, em altas e baixas frequências. Esses dados são utilizados neste projeto de Iniciação Científica. O ETA está vinculado ao “Módulo 1: Atmosfera Antártica e os Impactos ambientais na América do Sul” do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Antártico de Pesquisas Ambientais (INCT-APA). O principal objetivo do Instituto é estudar as mudanças climáticas que ocorrem na Antártica. Seu campo de estudo é a Ilha Rei George, onde está instalada a Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz (EACF). Essa é uma região bastante sensível às variações climáticas e o estudo de suas particularidades pode trazer respostas às mudanças globais do clima.

No período anterior da Bolsa PIBIC, realizou-se um levantamento bibliográfico relativo à região Antártica, o que possibilitou um melhor conhecimento do local. As componentes do balanço de radiação foram obtidas através de banco de dados meteorológicos disponíveis na internet. Foi realizado o tratamento dos dados de radiação de onda longa e onda curta, e com estes dados foi obtido o balanço de radiação (Ruman, 2011).

1.1 Objetivos

Este trabalho visa à descrição e análise das propriedades radiométricas da atmosfera na região da Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz. Para isto, os principais objetivos são:

- Utilizar os dados de radiação de onda curta e onda longa obtidos no Projeto ETA para estudo do balanço de radiação;
- Obter a radiação total incidente no topo da atmosfera (I_0);

- Obter as propriedades radiométricas da atmosfera (com expressões gerais de transmissividade) e da superfície (albedo e emissividade) disponíveis na literatura e testadas para condições polares e verificar sua evolução diurna.

A fase atual teve como objetivos:

- Após 1 ano de dados coletados, será feita a análise dos dados de radiação de onda curta e radiação de onda longa;
- Após o tratamento dos dados do projeto ETA, obter o balanço de radiação da região estudada;
- Obter a radiação total incidente no topo da atmosfera (I_0);
- Estudo da transmissividade da atmosfera na região da EACF.

Durante esse período participei também da Expedição OPERANTAR XXX para auxiliar no projeto Estudo da Turbulência na Antártica (ETA), para instalação de instrumentos meteorológicos para coletar dados *in situ* (Figura 1).



Figura 1a: Em frente a entrada principal da EACF.



Figura 1b: Instalação dos instrumentos ao sistema de aquisição de dados (datalogger CR5000 da Campbell Scientific Inc).

2. Região e dados de estudo

Neste relatório foram utilizados dados coletados na Estação Antártica Comandante Ferraz. Essa estação encontra-se na Ilha Rei George, no Arquipélago das Shetlands do Sul, na Península Antártica ($62^{\circ}05'07''$ S, $58^{\circ}23'33''$ W) e está a 20 m acima do nível médio do mar. O arquipélago está situado a 130 km do continente Antártico e a 849 km do ponto mais ao sul do continente americano (Cabo Horns).

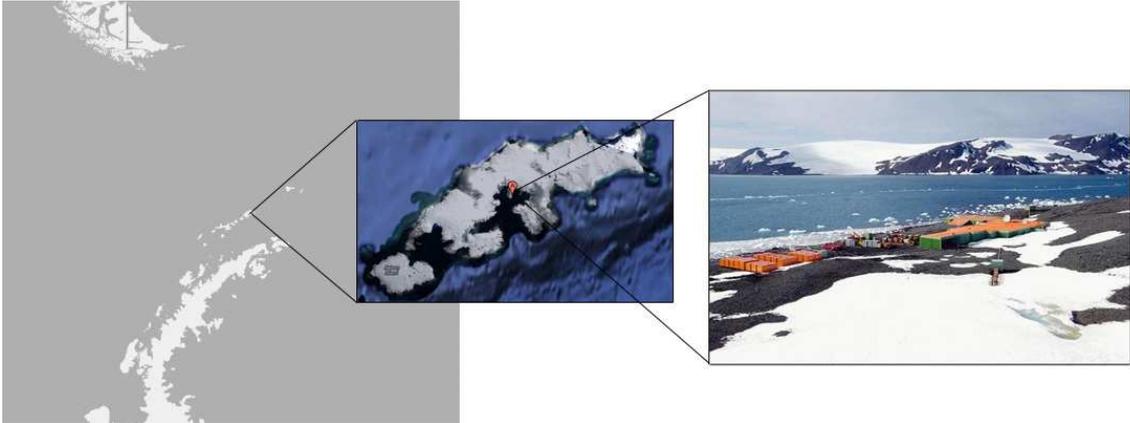
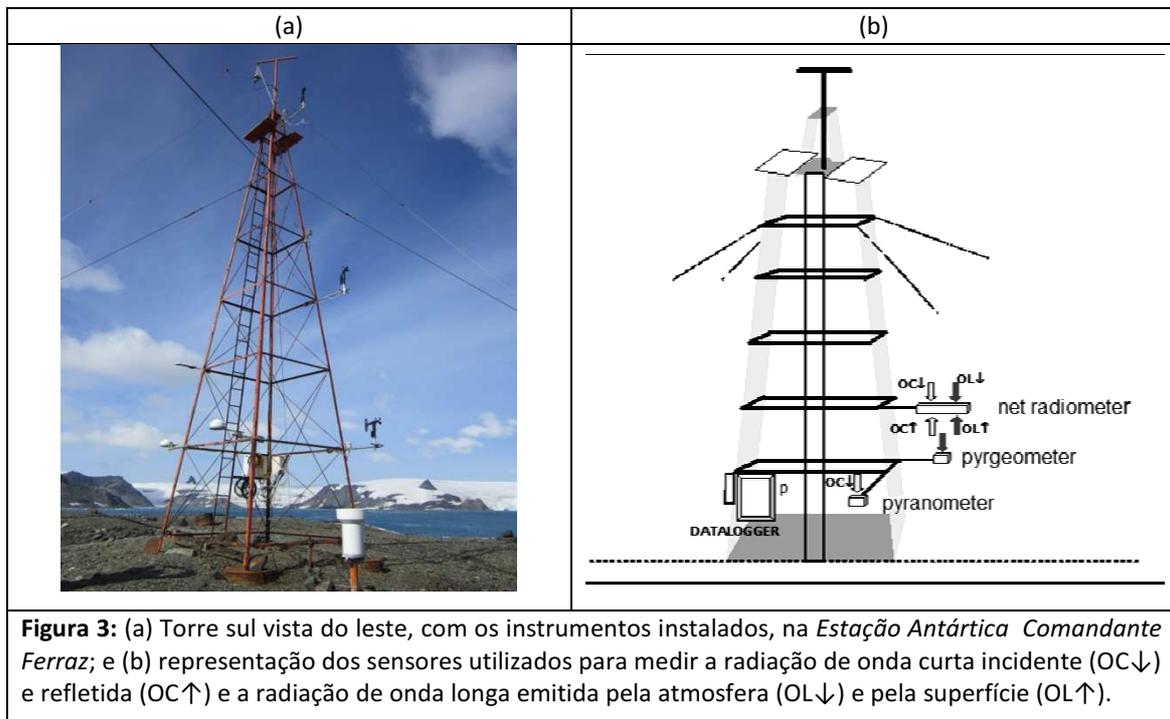


Figura 2: Região de estudo e a EACF. Ilha Rei George, Arquipélago das Shetlands do Sul, Península Antártica (62°05'07" S, 58°23'33" W).

Os dados utilizados neste trabalho foram coletados *in situ* no âmbito do projeto ETA, utilizando um piranômetro (modelo CPM11), um pirgeômetro (modelo CGR3) e um saldo radiômetro (modelo CNR4) da Kipp-Zonnen. Esses radiômetros foram instalados numa torre de 12 metros (Torre Sul) na EACF, a 1,85m (CPM11, CG3) e 3,4m (CNR4) de altura da superfície. Os dados foram coletados com uma taxa de 0,05 Hz e, posteriormente realizadas médias horárias.



Foram utilizados dados de onda curta incidente (OC↓), onda curta refletida (OC↑), onda longa emitida pela atmosfera (OL↓) e onda longa emitida pela superfície (OL↑) no período de março de 2011 a fevereiro de 2012 medidos em (62°05'07"S, 58°23'33"W).

3. Resultados

Neste trabalho, os valores de radiação de onda curta incidente na superfície ($OC\downarrow$) e onda longa emitida pela atmosfera ($OL\downarrow$) foram considerados negativos, pois essas componentes estão orientadas no sentido contrário ao referencial utilizado. Os valores de radiação de onda longa emitida pela superfície ($OL\uparrow$) e onda curta refletida pela superfície ($OC\uparrow$) foram considerados positivos, por estarem orientados no sentido do referencial utilizado.

3.1 Radiação de onda curta

Nesta seção será discutido o estudo da radiação de onda curta, através da evolução diurna dos valores médios mensais de $OC\downarrow$ (Figura 5), da radiação incidente no topo da atmosfera (I_0) e os valores médios diários de $OC\downarrow$ (Figura 6).

3.1.1 Radiação de onda curta incidente

A região estudada está localizada em uma região de alta latitude, próxima do círculo polar antártico, e os valores de radiação de onda curta incidente variam conforme a duração do dia, com valores baixos no inverno (dias curtos) e valores altos no verão (dias longos). Na figura 5 é apresentada a evolução diurna dos valores médios mensais de $OC\downarrow$ para cada mês do ano, em hora local (GMT-4).

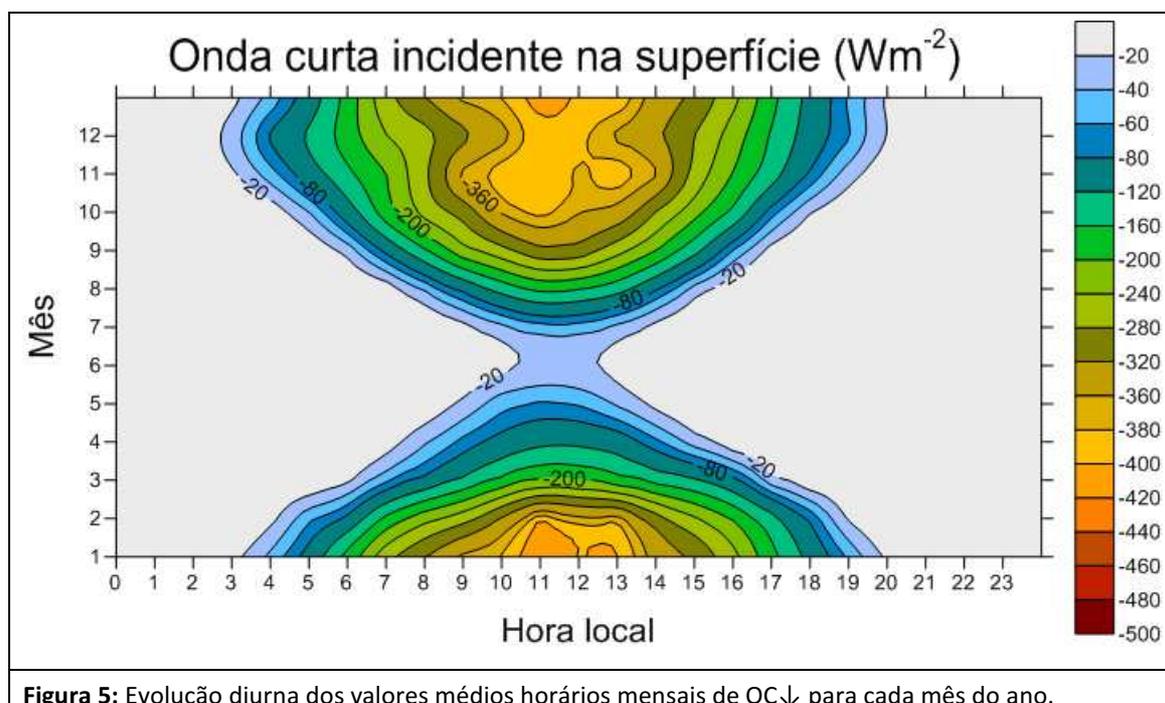


Figura 5: Evolução diurna dos valores médios horários mensais de $OC\downarrow$ para cada mês do ano.

A EACF está situada na península Keller, a sudeste de um morro com aproximadamente 268m de altura e a 1500m de distância, que equivale uma elevação de 10° em relação ao horizonte e ao sul de uma geleira de cerca de 500m de altura e 4000m de distância, que equivale a uma elevação de 7° em relação ao horizonte.

No período de inverno a elevação média máxima do sol é de 8°. Assim, o sol passa a maior parte do tempo atrás desses obstáculos naturais, o que faz com que a região receba principalmente radiação de onda curta na forma difusa. Isso faz com que no inverno a componente OC↓ medida na EACF seja ainda menor em relação a regiões próximas.

A radiação solar incidente no topo da atmosfera (TOA) foi calculada seguindo os seguintes procedimentos numéricos (Iqbal, 1983):

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 Wm^{-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:

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

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:

$$\delta = (a_1 + a_2 \cos \theta + a_3 \sin \theta + a_4 \cos 2\theta + a_5 \sin 2\theta) \frac{180}{\pi} \quad (4)$$

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

$$E_T = (c_1 + c_2 \cos \theta + c_3 \sin \theta + c_4 \cos 2\theta + c_5 \sin 2\theta) \frac{1440 \text{ min}}{2\pi} \quad (6)$$

Onde $\theta = 2\pi d / 365$ 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 de (4) a (6) seguem na Tabela 2:

Tabela 2: Constantes utilizadas no cálculo empírico da declinação solar, da distância Terra-Sol e da equação do tempo.					
a1	0,006918	b1	1,000110	c1	0,000075
a2	-0,399912	b2	0,034221	c2	0,001868

a3	0,070257	b3	0,001280	c3	-0,032077
a4	-0,006758	b4	0,000719	c4	-0,014615
a5	0,000907	b5	0,000077	c5	-0,040849

Calculou-se o valor de I_0 para cada horário disponível dos dados de $OC\downarrow$ (Figura 6).

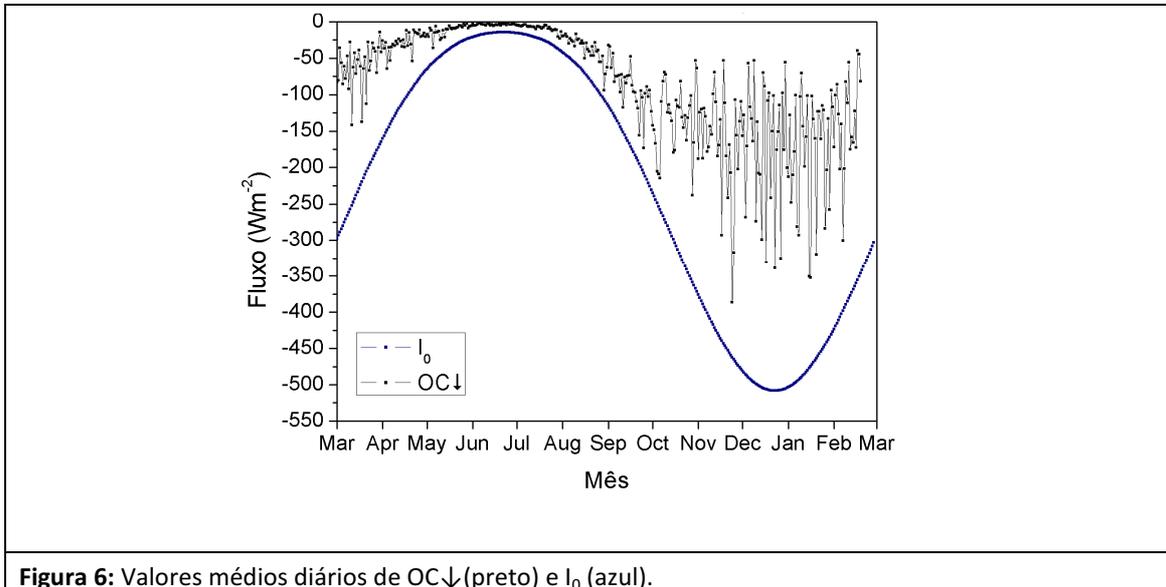


Figura 6: Valores médios diários de $OC\downarrow$ (preto) e I_0 (azul).

A região investigada é um local com alta frequência de passagem de sistemas frontais e nuvens associadas (Broeke *et al.*, 2004) e isso se reflete na alta variabilidade diária da $OC\downarrow$ (Figura 6).

3.1.2 Transmissividade atmosférica

A transmissividade da atmosfera foi estimada a partir da expressão:

$$\Gamma = \frac{OC\downarrow}{I_0} \quad (7)$$

Realizou-se o cálculo da transmissividade para cada valor horário de $OC\downarrow$, e com esses valores foi feito um histograma (Figura 7).

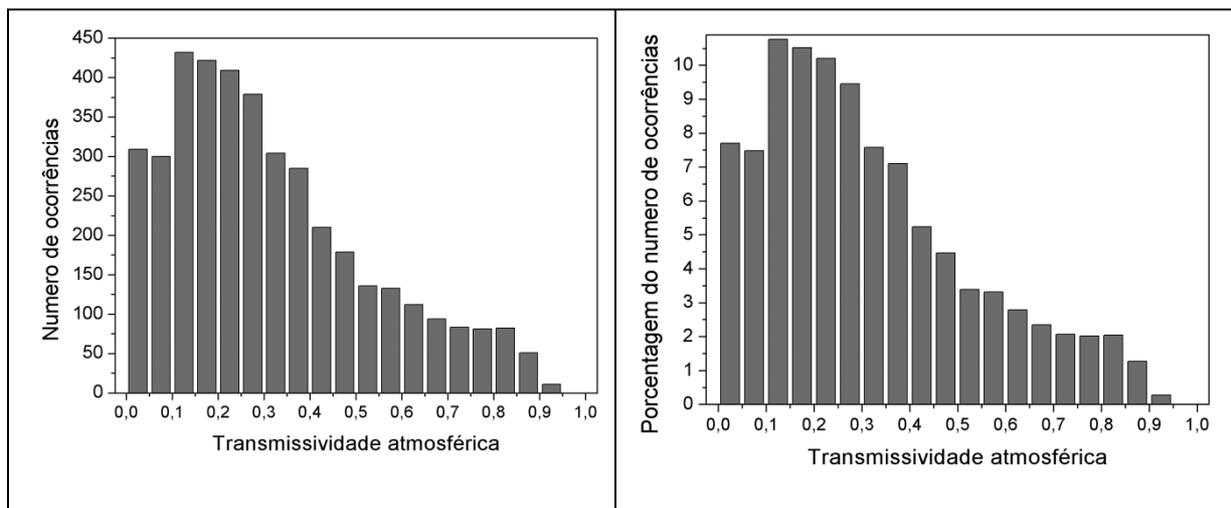


Figura 7: Histograma da transmissividade por hora, estimada na região da EACF.

Analisando os histogramas, obtemos que os valores mais frequentes para a transmissividade na região da EACF são entre 0,1 e 0,3. Segundo a Figura 7, 80% dos valores encontram-se entre 0,05 e 0,5, devido principalmente à absorção e espalhamento de $OC\downarrow$ devido a grande quantidade de nuvens da região e a distância que a luz solar realiza para atingir o solo, devido à inclinação solar.

3.1.3 Radiação de onda curta refletida pela superfície

Na figura 8 temos a evolução diurna dos valores médios mensais de $OC\uparrow$ para cada mês do ano.

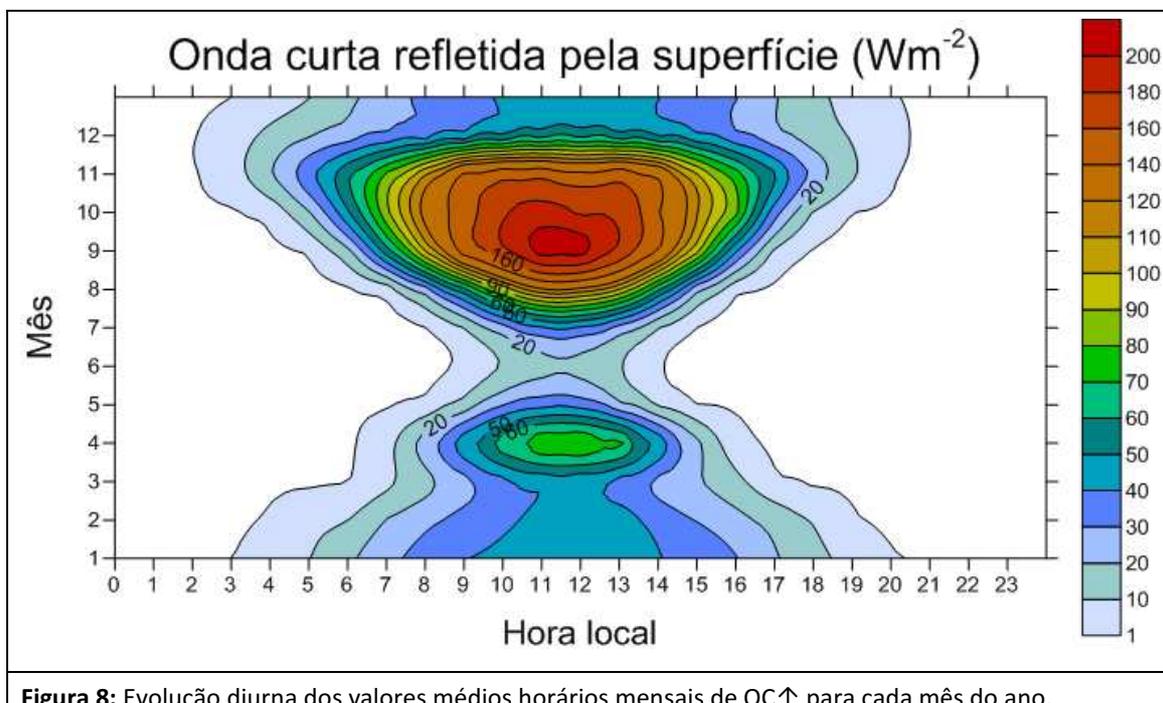


Figura 8: Evolução diurna dos valores médios horários mensais de $OC\uparrow$ para cada mês do ano.

Os valores de $OC\uparrow$ variam conforme a duração do dia, com um máximo entre setembro e outubro, período em que a incidência de $OC\downarrow$ começa a aumentar, mas não é o suficiente para derreter a neve, que possui um alto albedo. No primeiro semestre, os maiores valores estão entre março e abril, período em que a incidência de $OC\downarrow$ começa a diminuir e a neve começa a acumular.

Durante o dia observa-se um ciclo diurno parecido com o ciclo diurno da $OC\downarrow$, com um máximo por volta das 12h.

3.2 Radiação de onda longa

Nesta seção será discutido o estudo da radiação de onda longa, através da evolução diurna dos valores médios horários mensais de $OL\uparrow$ (Figura 9) e $OL\downarrow$ (Figura 10).

3.2.1 Radiação de onda longa emitida pela superfície

A radiação de onda longa emitida pela superfície depende principalmente da temperatura (T) e da emissividade (ϵ) da superfície e obedece a seguinte relação:

$$OL\uparrow = \epsilon\sigma T^4 \quad (8)$$

Onde σ é a constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$).

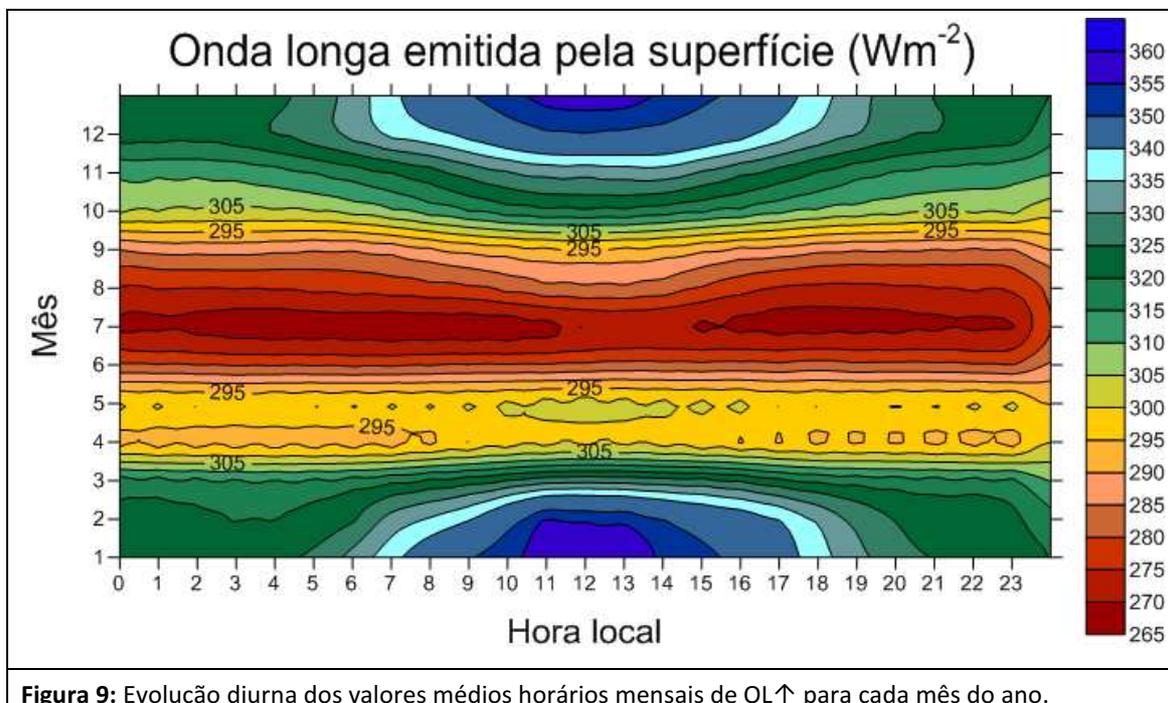


Figura 9: Evolução diurna dos valores médios horários mensais de $OL\uparrow$ para cada mês do ano.

Observa-se um forte ciclo diurno de $OL\uparrow$ de novembro até fevereiro, enquanto nos outros meses ele é visível, mas suave (Figura 9). Isso é explicado pela maior incidência de $OC\downarrow$ entre novembro e fevereiro, e que nesse período a neve derrete, expondo o solo. O solo possui um albedo menor que a neve, fazendo com que ele absorva mais energia, aumentando sua temperatura, e com isso um aumento de $OL\uparrow$ ao longo do dia.

3.2.2 Radiação de onda longa emitida pela atmosfera

A Figura 10 apresenta a evolução dos valores médios horários mensais para $OL\downarrow$. Os dados estão em hora local (GMT-4).

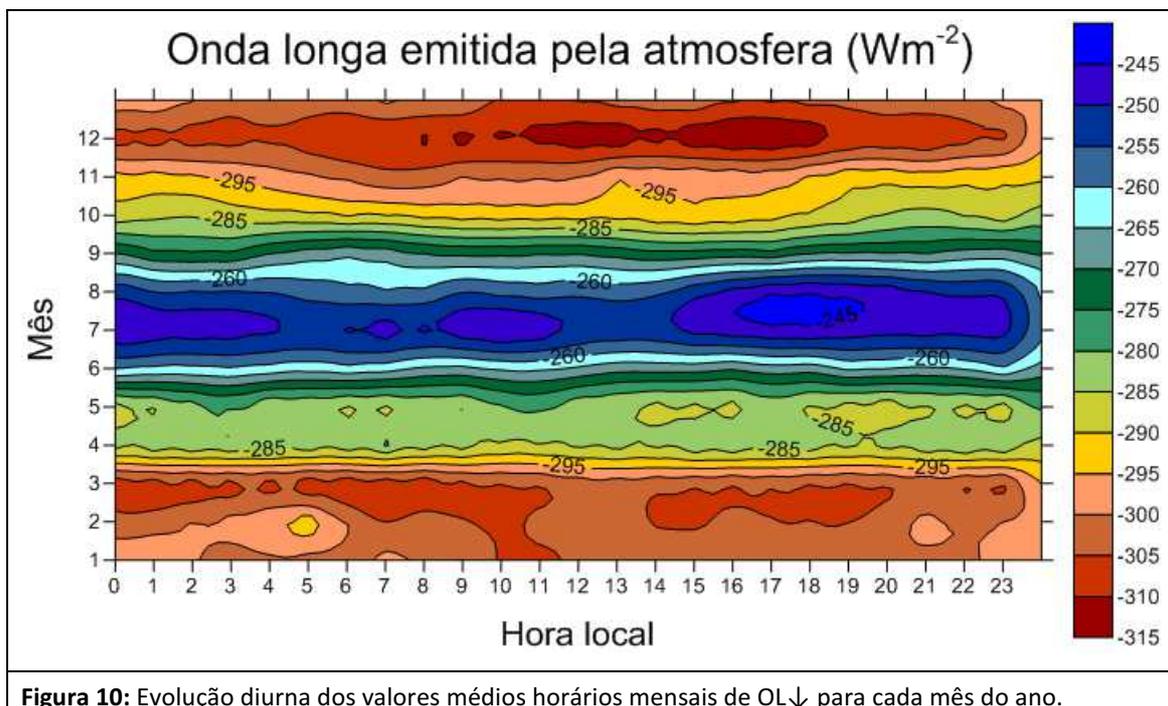


Figura 10: Evolução diurna dos valores médios horários mensais de $OL\downarrow$ para cada mês do ano.

Os valores de onda longa emitida pela atmosfera dependem principalmente da temperatura, do vapor d'água, dióxido de carbono, ozônio e outros constituintes menores como o monóxido de carbono, óxido nítrico, metano e óxido nítrico (Coulson, 1975) e da cobertura de nuvens.

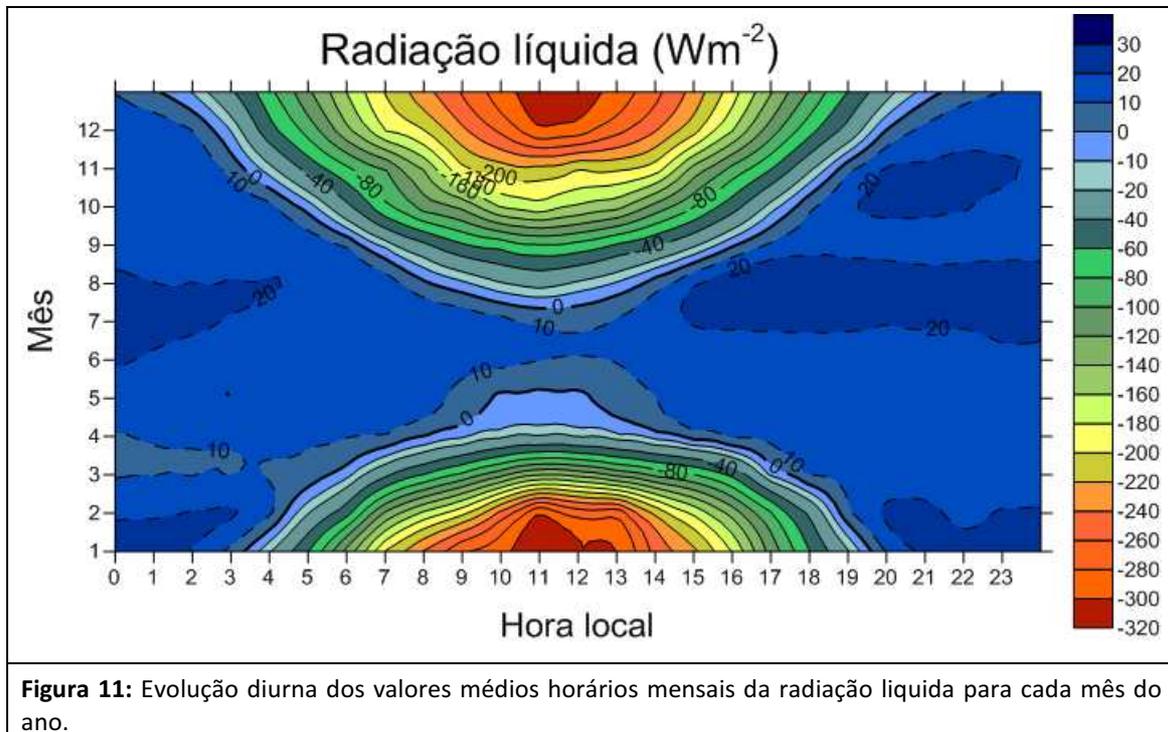
A radiação de onda longa emitida pela atmosfera (Figura 10) não apresenta uma variação diurna distinta, apresentando apenas uma variação sazonal.

3.3 Balanço de radiação

A radiação líquida (R_n) foi obtida pela soma das componentes de radiação de onda curta e onda longa:

$$R_n = OC \downarrow + OC \uparrow + OL \downarrow + OL \uparrow \quad (9)$$

Na Figura 11 temos a evolução diurna dos valores médios horários mensais da radiação líquida para cada mês do ano.



Analisando a Figura 11, observa-se que de maio até julho, o balanço de radiação é positivo durante todo o dia, ou seja, a superfície está sempre perdendo energia para a atmosfera. Durante os outros meses do ano, o balanço de energia é negativo no período diurno.

4. Conclusão

Neste relatório foi apresentado o estudo do balanço de radiação e suas componentes com os dados do projeto ETA. Também foi discutido a transmissividade atmosférica.

Foi elaborado um programa em Fortran para leitura e tratamento dos dados, assim como para obter os valores de I_0 e da transmissividade atmosférica.

Os dados do projeto ETA, das quatro componentes do balanço de radiação, foram obtidos *in situ* na EACF, no período de março de 2011 até fevereiro de 2012.

A radiação de onda curta incidente possui uma variação grande, pois a região da EACF se situa numa região de alta latitude e por consequência baixa incidência de luz solar no inverno.

A radiação de onda curta refletida tem grande relação com a cobertura de neve na região, sendo maior nos períodos em que há um aumento de incidência de luz solar e ainda há cobertura de neve.

Já a componente de radiação de onda longa emitida pela superfície apresenta um ciclo diurno bem definido nos meses mais quentes, em que há grande incidência de luz solar.

A componente radiação de onda longa emitida pela atmosfera não apresenta um ciclo diurno definido, apresentando somente variação sazonal.

No estudo do balanço de radiação, verificou-se que a região de estudo perde energia durante o mês de maio, todo o mês de junho e parte do mês de julho, enquanto que nos outros meses do ano a perda de energia só ocorre no período noturno. A região possui maior ganho de energia no mês de dezembro e maior perda no mês de junho.

Agradecimentos: A Bolsa CNPq, PIBIC nº 146301/2011-0 e ao INCT-APA.

5. Referências

- Broeke, M.; Reijmer, C.; Wal, R., 2004: Surface radiation balance in Antarctic as measured with automatic weather stations.
- Ruman C.J. 2011: Estudo das propriedades radiométricas na região Antártica. Relatório final de Iniciação Científica. Fevereiro 2011
- Coulson, K.L., 1975: Solar and Terrestrial Radiation – Methods and Measurements. Academic Press, London.

6. Outras atividades acadêmicas desenvolvidas no período

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

6.1 Disciplinas cursadas no período

- Meteorologia por Satélite – 7,7
- Agrometeorologia – 7,9
- Meteorologia Dinâmica – 6,9
- Fundamentos de Astronomia – 7,3

6.2 Participação em eventos

- Participação no XVIII Simpósio Brasileiro sobre Pesquisa Antártica, com apresentação de trabalho em painel e recebendo a menção honrosa de melhor painel (ANEXO I).

Ruman C.J., Soares J., Oliveira A.P., Targino A.C.L., Codato G., 2011: Observational investigation of the radiation balance at the Brazilian Antarctic Station – preliminary results. XVIII Simpósio Brasileiro sobre pesquisas Antárticas. 21 a 23 setembro 2011. IG-USP. São Paulo.

- Participação no XVI Simpósio de Iniciação Científica do IAG, com apresentação de trabalho em painel (ANEXO II).

Ruman C.J. e Soares J., 2011: Resultados preliminares do balanço observacional de radiação na estação Antártica brasileira. XVI Simpósio de Iniciação Científica do IAG/USP, Outubro de 2011.

- Participação no 19º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP (ANEXO III).

Ruman C.J. e Soares J., 2011: Estudo do balanço de radiação e evolução sazonal de suas componentes na superfície da região Antártica. 19º SIICUSP, Novembro de 2011.

ANEXO I

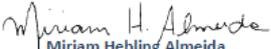
Simposio Brasileiro de Pesquisa Antártica
SBPA, 21 a 23/09/2011



MENÇÃO HONROSA

A Associação de Pesquisadores Polares em Início de Carreira (APECS-Brasil) certifica que **CAIO JORGE RUMAN** recebeu menção honrosa de melhor pôster apresentado durante o SBPA 2011 com o resumo *Observational investigation of the radiation balance at the Brazilian Antarctic Station - Preliminary results* de autoria de Caio Jorge Ruman, Jacyra Soares, Amauri P. de Oliveira, Admir Créso de Lima Targino e Georgia Codato.

São Paulo, 23 de setembro de 2011.

 Miriam Hebling Almeida Coordenadora de Educação e Participação Conselho APECS Brasil	 Alexandre Alencar Coordenador de Conselho APECS Brasil	 Rodrigo Kerr Coordenador de Conselho APECS Brasil
---	---	--

ANEXO II

CERTIFICADO



Z Abraham
PROFA. DRA. ZULEMA ABRAHAM
PRESIDENTE COMISSÃO DE PESQUISA

T Ambrizzi
PROF. DR. TÉRCIO AMBRIZZI
DIRETOR DO IAG



ANEXO III

