



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

Departamento de Ciências Atmosféricas – IAG-USP

Grupo de Micrometeorologia
Laboratório de interação ar-mar

Relatório de Atividades

Abril - Setembro 2014

Projeto de Pesquisa de Mestrado

**Caracterização numérica do balanço de energia na superfície
durante condições de verão na região da estação Antártica
Brasileira**

Caio Jorge Ruman

Orientadora: Profa Dra Jacyra Soares



Conteúdo

1. Resumo do plano inicial.....	3
1.1 Objetivos	3
2. Atividades de pesquisa	4
2.1 Modelo Weather Research and Forecasting (WRF)	4
2.2 Atividades Anteriores.....	5
2.3 Resultados preliminares	5
2.3.1 Estimativa do balanço de energia	5
2.3.2 Experimentos numéricos realizados com o WRF	6
2.3.3 Discussão.....	13
2.4 Referências Bibliográficas	14
3. Outras atividades desenvolvidas no período	15
3.1 Estágio PAE e atividades de monitoria	15
3.2 Exame de qualificação	15
3.3 Cronograma de atividades	15



1. Resumo do plano inicial

O conhecimento do balanço de radiação e dos fluxos verticais turbulentos de calor, massa e momento, sobre diferentes superfícies, são importantes para estudos diagnósticos e prognósticos de mudanças climáticas e monitoramento ambiental. O objetivo primeiro deste projeto é investigar numericamente o balanço de energia na superfície e, dessa forma, o desenvolvimento da camada limite planetária em condições médias de verão na região da estação Antártica Brasileira, na Ilha Rei George (62°05'S, 58°23'W). Para tanto será usado o modelo Weather Research and Forecasting Model (WRF) adequado às condições da Antártica. Pretende-se utilizar os dados observacionais obtidos na Estação Brasileira pelo "Projeto ETA" e pelo projeto "Meteorologia na EACF". Devido ao caráter multidisciplinar das atividades de pesquisa relacionadas ao balanço de energia na superfície, acredita-se que esse estudo trará benefícios não só ao projeto de mestrado, mas também aos demais projetos de pesquisa em execução dentro do âmbito do "Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Antártico de Pesquisas Ambientais".

1.1 Objetivos

O objetivo primeiro deste projeto é a caracterização numérica do balanço de energia da superfície durante condições médias de verão na região da estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz.

Diferentes experimentos numéricos serão realizados para melhor entender os processos físicos mais relevantes às condições médias de verão na região. Pretende-se, por exemplo, investigar o papel da topografia e da cobertura do solo no desenvolvimento do balanço de energia e, dessa forma, no desenvolvimento da camada limite planetária local.

Os resultados numéricos, sempre que possível, serão comparados aos dados obtidos in situ na EACF, durante 2011, pelo "Projeto ETA" e, entre 2000-2010, pelo projeto "Meteorologia na EACF".



2. Atividades de pesquisa

A seguir serão descritas as principais atividades de pesquisa desenvolvidas no período.

2.1 Modelo Weather Research and Forecasting (WRF)

O WRF é um modelo de domínio público e está disponível gratuitamente para uso da comunidade. Ele é projetado para ser o estado da arte da simulação numérica atmosférica e é portátil e eficiente nas plataformas de computação paralela. O WRF é adequado para utilização numa vasta gama de aplicações em escalas espaciais que vão de metros a milhares de quilômetros (<http://wrf-model.org/index.php>).

Basicamente, as equações do WRF são formuladas usando coordenada vertical de pressão hidrostática seguindo o terreno (η) e utiliza as equações de Euler em forma de fluxo. O modelo resolve a forma perturbada dessas equações, onde as forçantes incluem os termos de Coriolis, termos de mistura e parametrizações físicas. O topo do modelo é uma superfície de pressão constante e ele utiliza como grade horizontal a grade “C” de Arakawa deslocada.

As equações sem adição de umidade e sem estar no estado perturbado são:

$$\partial_t U + (\nabla \cdot \mathbf{V}u) - \partial_x(p\varphi_\eta) + \partial_\eta(p\varphi_x) = F_U \quad (1)$$

$$\partial_t V + (\nabla \cdot \mathbf{V}v) - \partial_y(p\varphi_\eta) + \partial_\eta(p\varphi_y) = F_V \quad (2)$$

$$\partial_t W + (\nabla \cdot \mathbf{V}w) - g(\partial_\eta p - \mu) = F_W \quad (3)$$

$$\partial_t \theta + (\nabla \cdot \mathbf{V}\theta) = F_\theta \quad (4)$$

$$\partial_t \mu + (\nabla \cdot \mathbf{V}) = 0 \quad (5)$$

$$\partial_t \varphi + \mu^{-1}[(\nabla \cdot \mathbf{V}\varphi) - gW] = 0 \quad (6)$$

E a relação diagnóstica do inverso da densidade e a equação de estado:

$$\partial_\eta \varphi = -\alpha \mu \quad (7)$$

$$p = p_0 \left(R_a \theta / p_0 \alpha \right)^\gamma \quad (8)$$

Sendo $\mu = p_{hs} - p_{ht}$, onde p_{hs} e p_{ht} são as componentes hidrostáticas da pressão na superfície e no topo da atmosfera, respectivamente. ∂_k representa a derivada parcial em relação a k , $\mathbf{V} = \mathbf{v}\mu = (U, V, W)$, com $\mathbf{v} = (u, v, w)$ sendo a covariância da velocidade nas duas direções horizontais e na vertical, θ a temperatura potencial, $\theta = \mu\theta$, φ o geopotencial, p a pressão e $\alpha = 1/\rho$. Mais detalhes podem ser encontrados em Skamarock *et al.* (2008).

Neste trabalho foram utilizadas duas variações do modelo WRF: a polar (PWRF) e não polar (WRF), ambas na versão 3.5.1. A principal diferença é que a versão polar utiliza novo ponto de congelamento para a água do mar, rugosidade da superfície de 0.001 m sobre gelo marinho e gelo permanente sobre terra, emissividade da neve igual a 0.98, densidade da



neve sobre gelo marinho de 300 Kg^{-3} e uso de um perfil vertical de densidade sobre gelo permanente sobre terra (Bromwich *et al.*, 2013).

Ambas versões do WRF foram compiladas e rodadas pelo autor, primeiro em um computador particular e depois em uma servidora do Grupo de Micrometeorologia do IAG-USP.

2.2 Atividades Anteriores

No período anterior, foi feito um estudo que determinou um conjunto de parametrizações do modelo WRF que melhor representam a região da EACF, além de definir a configuração a ser utilizada pelo modelo e uma metodologia a ser seguida nos estudos posteriores.

2.3 Resultados preliminares

2.3.1 Estimativa do balanço de energia

Neste trabalho foi adotada a convenção que os fluxos do balanço de energia, ou seja, os fluxos de calor sensível (H), calor latente (LE), calor no solo (G) e de radiação líquida (Rn) são positivos quando orientados no sentido positivo da coordenada vertical z (Stull, 1989). A equação do balanço de energia em uma superfície ideal pode ser escrita como:

$$Rn = G - (H + LE) \quad (9)$$

Os fluxos de H e LE foram estimados através das seguintes expressões:

$$H = -\rho c_p u_* \theta_* \quad (10)$$

$$LE = -\rho L u_* q_* \quad (11)$$

Sendo ρ a densidade do ar, c_p o calor específico a pressão constante, L o calor latente de vaporização. A escala característica da velocidade do vento (u_*), a escala característica da temperatura (θ_*) e a escala característica da umidade (q_*) foram calculados seguindo a teoria de similaridade de Monin-Obukhov descrita em Wyngaard (2010). Os valores de H e LE foram estimados numericamente a cada 5 min e em seguida realizou-se uma média móvel de 1h.

A radiação líquida é a principal fonte de energia e como o verão possui dias longos devido à alta latitude, a energia disponível na superfície é alta. Nos dias nublados, a perda de energia radiativa pelo solo durante a noite é por volta de 50 Wm^{-2} , enquanto que nos dias de céu claro ela chega a 75 Wm^{-2} (Fig. 1).

O fluxo de calor no solo apresenta um fluxo negativo em torno de $25\text{-}50 \text{ Wm}^{-2}$ durante o dia e um fluxo de menos de 25 Wm^{-2} durante a noite.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

Os fluxos de H e LE durante o período diurno mostram que boa parte da energia disponível (Rn) é usada para o aquecimento da atmosfera (H) e evaporação da água no solo (LE).

Devido a problemas de fechamento, temos um termo de resíduo (I), que leva em consideração os fluxos de energia não associados a fontes locais, erros sistemáticos causados por observações e limitações na metodologia (Foken, 2008), mudança de fase do gelo na superfície, solo congelado (Oliveira et al, 2012) e a heterogeneidade horizontal da região estudada. O resíduo apresenta um valor alto, especialmente no período noturno. Os melhores resultados obtidos foram nos dias 21 e 22 de fevereiro e no final do dia 24 de fevereiro, dias que não houveram nuvens significativas.

Realizando uma comparação com o trabalho de Choi *et al.*, (2008), que realizou um estudo similar em uma região não glaciada no lado oeste da ilha do Rei George utilizando o método direto, temos que para um dia com grande quantidade de energia disponível, como o período estudado neste trabalho, o valor médio de H teve amplitude de -23 à 240 Wm^{-2} e LE teve amplitude de 5 a 83 Wm^{-2} , valores menores que os estimados neste trabalho.

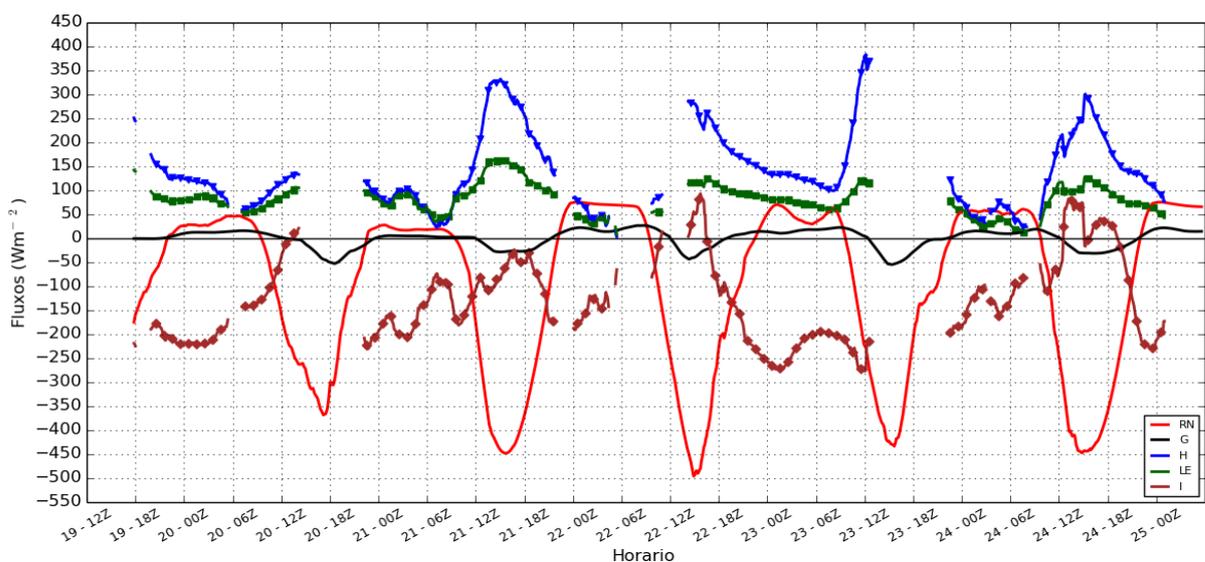


Figura 1: Componentes do balanço de energia (Wm^{-2}) para o período estudado. Os fluxos turbulentos de calor sensível e latente foram obtidos pela TSMO e os demais fluxos foram medidos diretamente.

2.3.2 Experimentos numéricos realizados com o WRF

Foram usadas três grades aninhadas, centradas em ($62^{\circ}05'S$, $58^{\circ}23'W$), conforme Figura 2a. O domínio d01 engloba o Norte da península Antártica, as ilhas Shetlands do Sul e uma parte do estreito de Drake. O domínio d02 contém a ilha do rei George junto com uma larga faixa do oceano, enquanto que o domínio d03 foi escolhido de modo que ele tenha predominantemente terra firme, no caso a ilha do rei George. A tabela 1 descreve a resolução espacial e temporal usadas.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

Tabela 1: Número de pontos de grade, resolução espacial, tamanho do domínio e resolução temporal para os experimentos numéricos realizados.

	Pontos de grade	Resolução espacial	Tamanho do domínio	Resolução temporal
Grade d01	74 x 61	9 km	666 x 549 km	60 s
Grade d02	64 x 64	3 km	192 x 192 km	30 s
Grade d03	79 x 67	1 km	79 x 67 km	10 s

Foram definidos 60 níveis de altura vertical, sendo 10 deles abaixo de 800 m (Figura 2b) e topo da atmosfera a 10 hPa, com amortecimento de velocidade vertical a partir de 7.5 km de altura para aumentar a robustez do modelo nas rodadas longas.

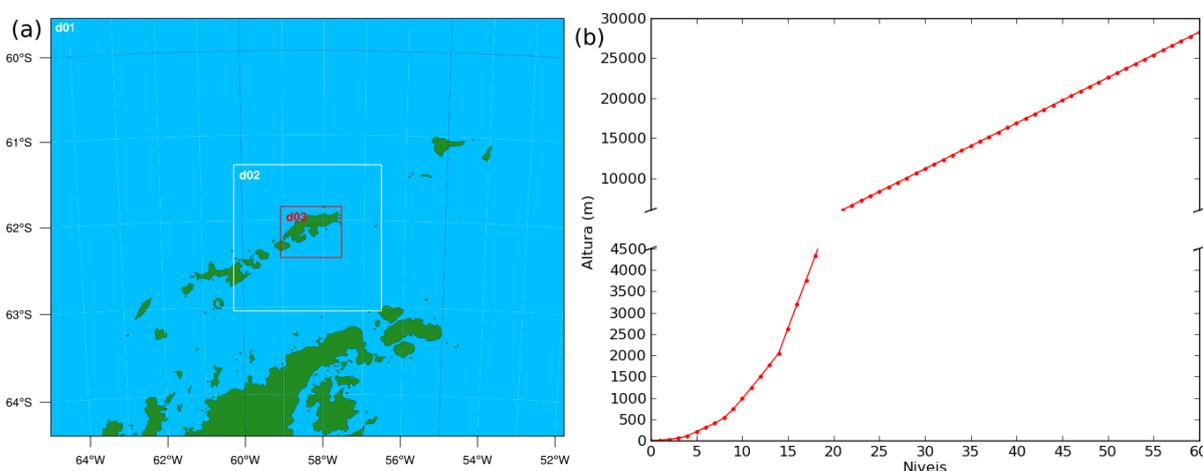


Figura 2: Configuração (a) do domínio utilizado no WRF, centrado em (62°05'S, 58°23'W), com três grades aninhadas, d01, d02 e d03 e (b) dos níveis de altura utilizados no modelo.

Inicialmente foi usado o arquivo com os dados geográficos de http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/download/get_sources_wps_geog.html, com resolução de 30 arc sec, aproximadamente 1 km. Para as últimas 4 rodadas iniciais e as posteriores, foi utilizada para a topografia a base de dados Radarsat Antarctic Mapping Project Digital Elevation Model Version 2 – RAMP DEM v2 (Liu *et al.*, 2001), com resolução de 200 m. Como o arquivo geográfico usado no modelo não contém as áreas que não há gelo, essas áreas foram incluídas manualmente no arquivo geográfico do domínio 3. Esta importante alteração só foi incluída nas rodadas que utilizaram o RAMP DEM v2.

Foram utilizadas como condições iniciais e de fronteira a reanálise do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), o produto ERA-Interim (Dee *et al.*, 2011), com resolução de 0.75°. A reanálise possui dados para 00, 06, 12 e 18 UTC.

Os resultados obtidos com o modelo foram validados comparando-os com os dados meteorológicos do projeto ETA. A validação foi feita utilizando métodos estatísticos, o *root mean square error* (RMSE) e *mean-bias error* (MBE) e o coeficiente de correlação de Pearson (Onwuegbuzie *et al.*, 2007), que são definidos como:

$$RMSE = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i^2 \right)^{1/2} \quad (12)$$



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad (13)$$

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (14)$$

Onde N é o número total de valores, d_i a diferença entre o valor observado e o valor estimado pelo modelo e \bar{x} e \bar{y} são as médias dos valores a serem correlacionados, x e y . O MBE provê informação do desempenho de longo prazo do modelo. Um valor positivo no MBE nos mostra o quanto o valor calculado foi superestimado e vice-versa. O teste RMSE provê informação do desempenho de curto prazo do modelo, pois ele permite uma comparação termo a termo do desvio real entre o valor medido *in situ* e o valor calculado pelo modelo (Halouani *et al.*, 1993). Cada teste separadamente pode não ser um indicador do desempenho do modelo porque é possível ter um valor alto do RMSE e ao mesmo tempo, um valor baixo de MBE ou vice-versa (Targino *et al.*, 2002).

Com as duas parametrizações escolhidas baseadas no estudo anterior (Ruman, 2014), definidas como Configuração 1 e Configuração 2, conforme a tabela 2, foram efetuadas 4 rodadas finais com 9 dias de duração, de 16 de fevereiro as 00Z à 25 de fevereiro as 00Z, duas rodadas com o WRF e duas rodadas com o PWRf. Em todas as rodadas foi utilizado o ERA-Interim como condição inicial e de fronteira, o arquivo topográfico do RAMP DEM v2 e foi feita a modificação no arquivo geográfico, para adicionar as regiões sem cobertura de gelo. Os dois primeiros dias foram eliminados da comparação para suprimir erros relativos a instabilidade inicial.

Tabela 2: Valores de RMSE, MBE e do coeficiente de correlação para T, OL↓, OC_{NET}, Pressão, T_{SOLO}, $|\vec{V}|$, q e H e LE.

Rodada	Microfísica	Onda Longa	Onda Curta	Camada limite superficial	Superfície terrestre	Camada limite planetária
Configuração 1	MYD7	RRTMG	RRTMG	Similaridade ETA	RUC	MYJ
Configuração 2	WSM6	RRTMG	RRTMG	Similaridade ETA	RUC	MYJ

O período estudado representa condições de final de verão, com a temperatura oscilando 0° e -4°C. Acontecimentos de nota durante o período destacam-se a precipitação em forma de neve no dia 18/02 e dois períodos de céu claro, do dia 21/02 até metade do dia 22/02 e o dia 24/02.

Os valores de RMSE, MBE e os coeficientes de correlação são mostrados na Tabela 3. O modelo representou bem a pressão atmosférica (Fig. 3), temperatura do ar (Fig. 4) e intensidade do vento (Fig. 5) para os dois conjuntos de parametrizações usados, com um MBE pequeno, positivo para a pressão e negativo para a T e $|\vec{V}|$, ou seja, o modelo superestima a pressão e subestima T e $|\vec{V}|$. O RMSE para essas três variáveis foi baixo e o coeficiente de correlação foi alto para pressão e $|\vec{V}|$ e um valor bom para T. Essas três



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

variáveis foram melhor representadas nos períodos sem precipitação e com poucas nuvens, uma tendência que será vista em todas as variáveis analisadas.

Tabela 3: Valores de RMSE, MBE e do coeficiente de correlação para T, $OL\downarrow$, OC_{NET} , Pressão, T_{SOLO} , $|\vec{V}|$, q e H e LE.

	RMSE				MBE				Corr			
	WRF conf. 1	WRF conf. 2	PWRF conf. 1	PWRF conf. 2	WRF conf. 1	WRF conf. 2	PWRF conf. 1	PWRF conf. 2	WRF conf. 1	WRF conf. 2	PWRF conf. 1	PWRF conf. 2
T(°C)	1.57	2.03	1.60	1.97	-0.80	-1.40	-0.76	-1.30	0.68	0.64	0.67	0.64
$OL\downarrow$ (Wm^{-2})	43.2	44.4	43.3	44.5	-29.6	-37.0	-30.1	-35.7	0.53	0.68	0.53	0.63
OC_{NET} (Wm^{-2})	100.0	164.5	104.4	148.9	-12.8	68.7	-13.5	50.3	0.87	0.67	0.86	0.71
Pressão (hPa)	0.95	0.99	0.95	1.01	0.46	0.43	0.44	0.43	0.9950	0.9945	0.9949	0.9942
T_{SOLO} (°C)	3.81	5.07	3.96	4.78	-2.78	-4.42	-2.72	-4.13	0.75	0.52	0.74	0.56
$ \vec{V} $ (ms^{-1})	2.75	2.68	2.85	2.68	-0.88	-0.94	-0.79	-1.00	0.78	0.79	0.75	0.80
q ($g\ kg^{-1}$)	0.43	0.37	0.45	0.39	0.07	0.04	0.08	0.01	0.67	0.74	0.60	0.71
H (Wm^{-2})	112.0	146.3	108.0	150.9	-77.3	-131.3	-78.8	-135.6	0.69	0.60	0.71	0.58
LE (Wm^{-2})	83.3	66.1	81.4	69.1	-22.4	-55.3	-19.9	-59.2	0.62	0.59	0.68	0.56

As rodadas utilizando a parametrização de microfísica WSM6, configuração 2, não apresentou os mesmos bons resultados apresentados nas rodadas curtas, tanto no WRF quanto no PWRF, com índices estatísticos piores quando comparado com a configuração 1 para T, OC_{NET} , T_{SOLO} , H e LE, possivelmente devido não representação adequada do modelo na transição da cobertura do solo após o período de neve, visível na Fig. 7, em que na configuração 2 a temperatura do solo é sempre abaixo de zero.

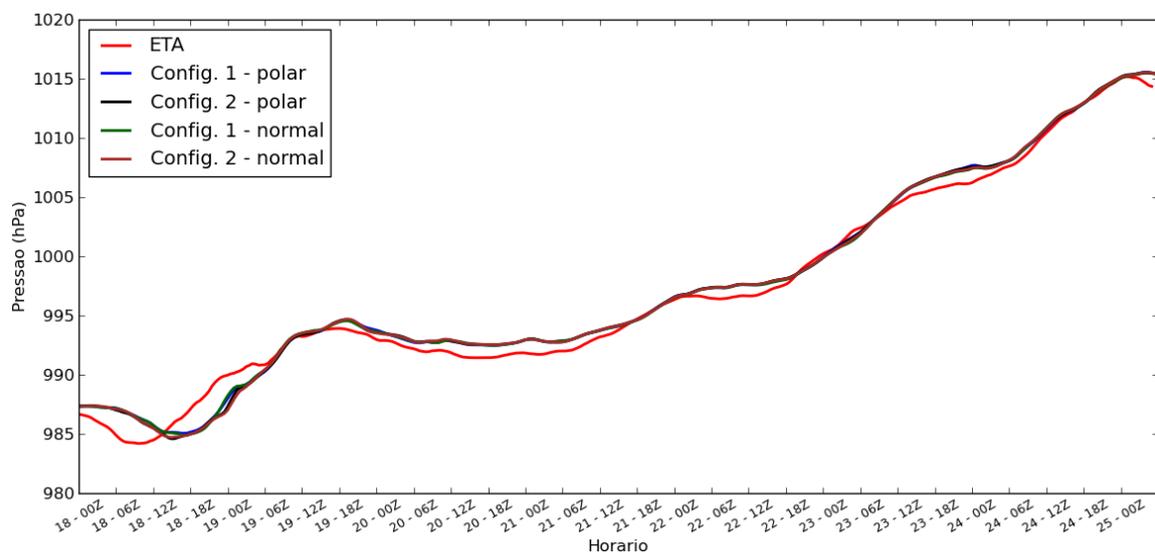


Figura 3: Pressão na superfície (hPa). Em vermelho, dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 4 rodadas que foram comparadas graficamente.

A razão de mistura (Fig. 6) foi melhor representado pelo conjunto de parametrizações usando o WSM6 (configuração 2). A temperatura do solo (Fig. 7) foi melhor representado pelo conjunto de parametrizações usando o MYDM (configuração 1).



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

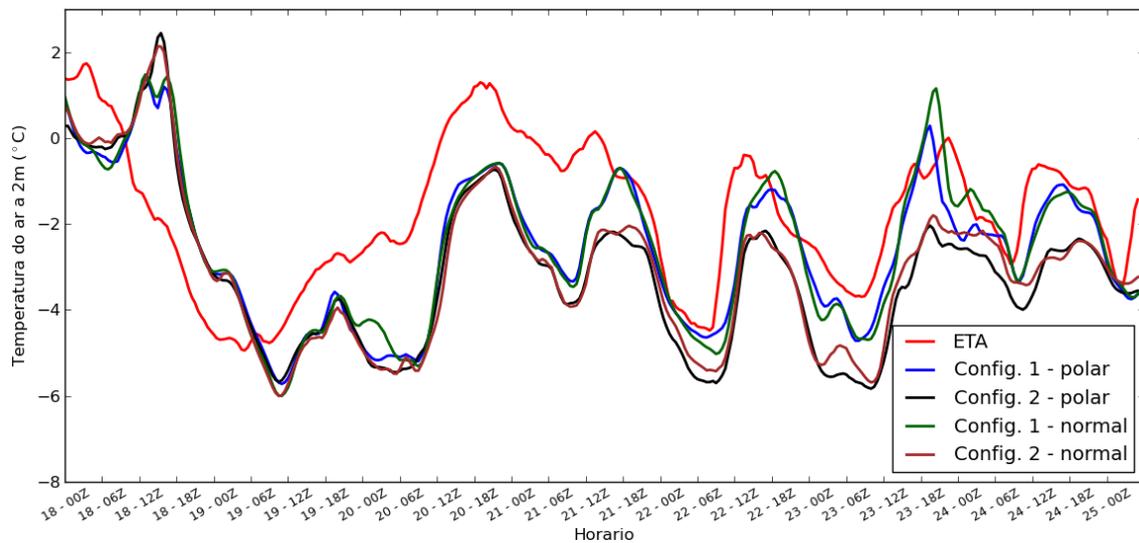


Figura 4: Temperatura do ar a 2m (°C). Em vermelho, dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 4 rodadas que foram comparadas graficamente.

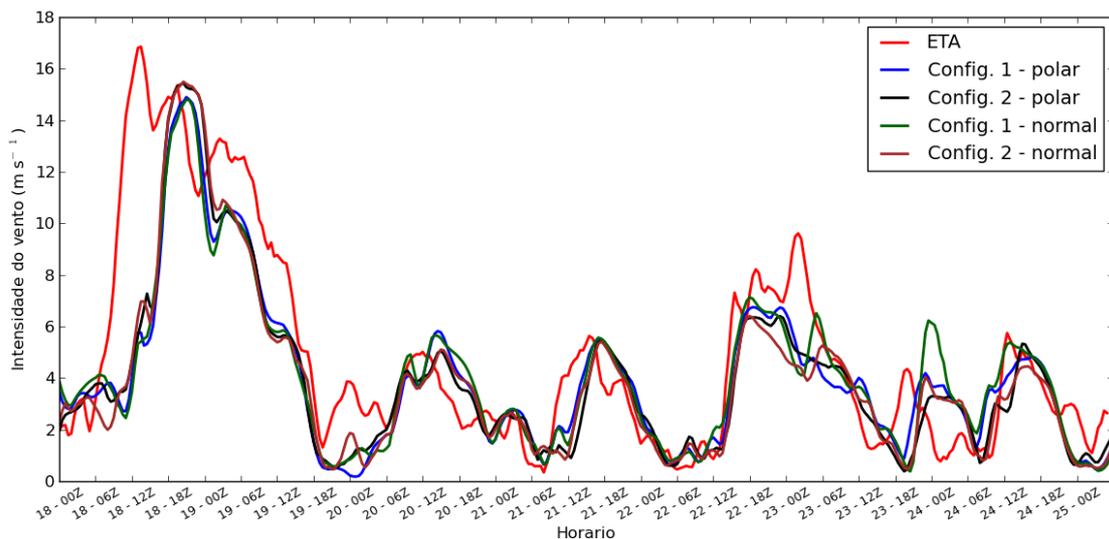


Figura 5: Intensidade do vento (ms^{-1}). Em vermelho, dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 4 rodadas que foram comparadas graficamente.

O saldo de onda curta (Fig. 8) foi bem estimado pela parametrização de microfísica MYDM, porém ele superestimou OC nos dias 22 e 23 de fevereiro, dias em que foram bem representados pela configuração 2.

Comparando visualmente, nota-se que nos períodos de céu claro o modelo consegue representar bem as condições meteorológicas encontradas (Fig. 8 e Fig. 9). O período em que ocorre precipitação em forma de neve, no dia 18, não é bem representado pelo modelo, apesar dele apresentar precipitação no mesmo período, porém com mais intensidade no dia anterior.

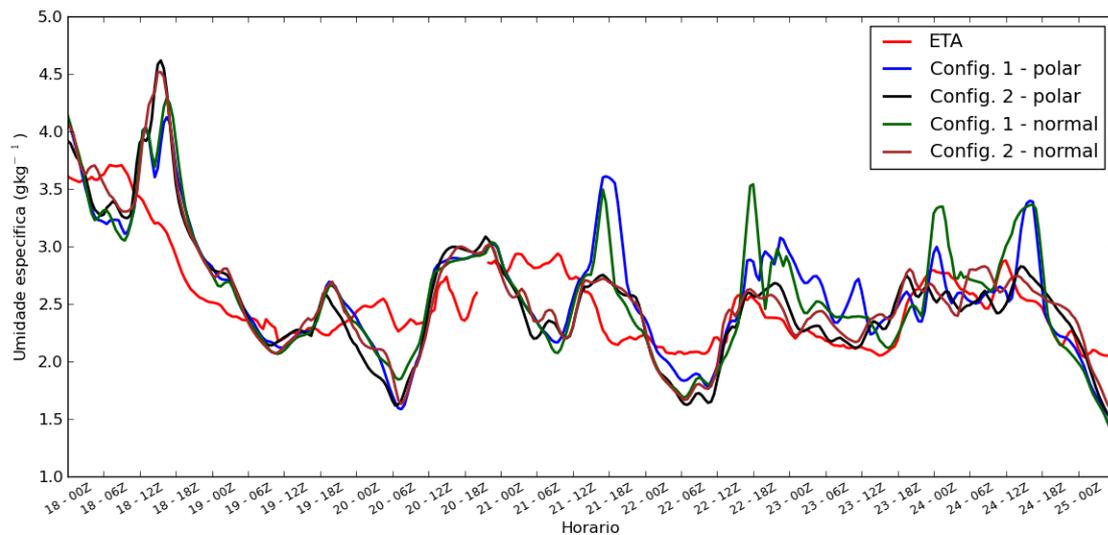


Figura 6: Razão de mistura (gkg^{-1}). Em vermelho, dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 4 rodadas que foram comparadas graficamente.

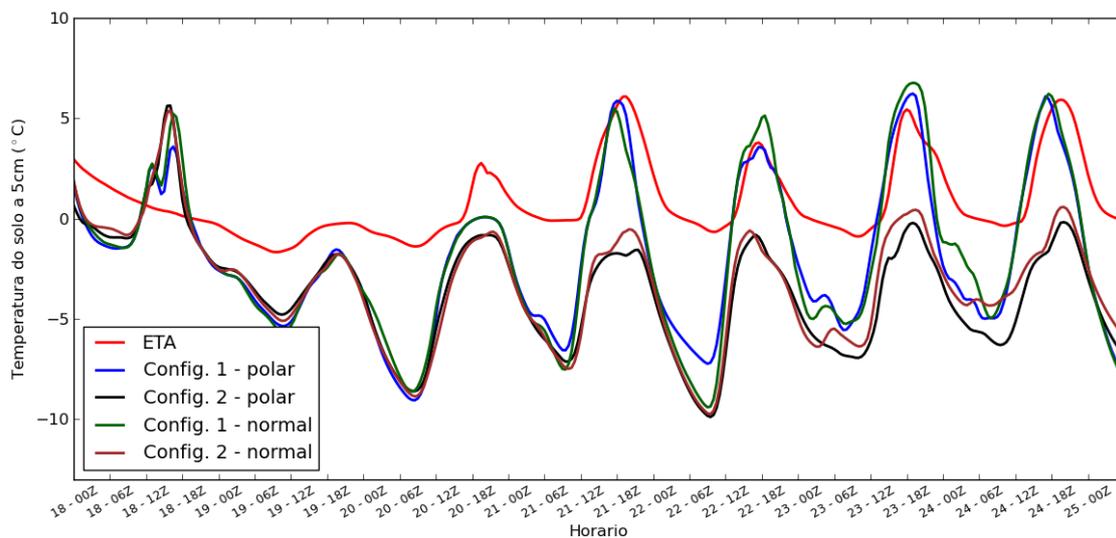


Figura 7: Temperatura do solo a 5cm ($^{\circ}\text{C}$) (projeto ETA), temperatura da camada superior do solo (WRF). Em vermelho, dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 4 rodadas que foram comparadas graficamente.

A radiação de onda longa emitida pela atmosfera em direção à superfície (Fig. 9) foi subestimada pelos dois conjuntos de parametrizações, devido ao WRF ter dificuldade de representar $\text{OL}\downarrow$ e a cobertura de nuvens e seus efeitos (Bromwich *et al.*, 2013). O déficit de $\text{OL}\downarrow$ pode ser o responsável pelo modelo considerar a região mais fria, resultado encontrado novamente por Bromwich *et al.* (2013) e visto também nesse estudo, apesar do trabalho consultado ser sobre todo o continente antártico.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

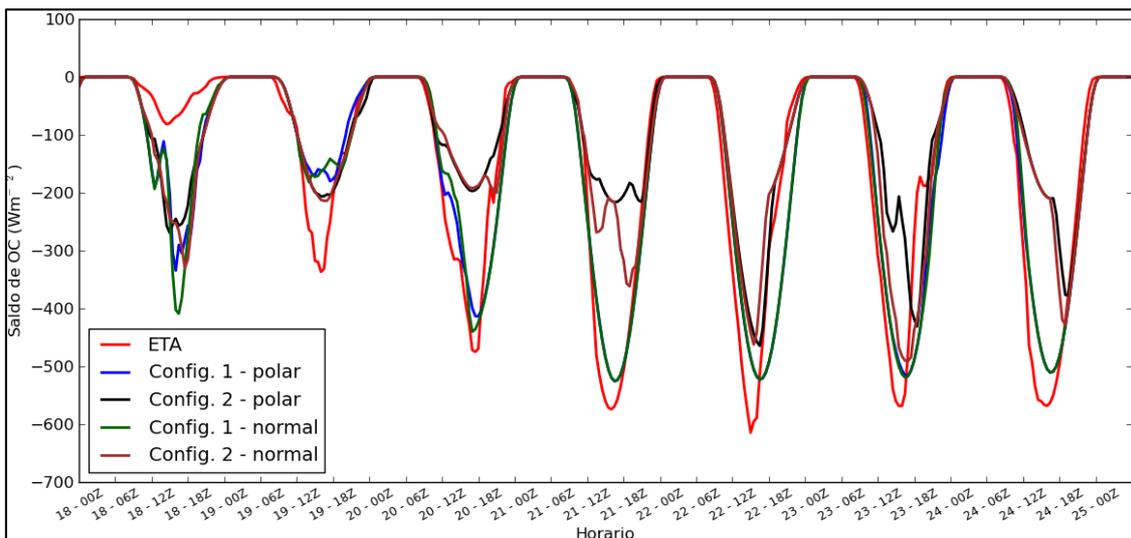


Figura 8: Saldo de onda curta (Wm^{-2}). Em vermelho, dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 4 rodadas que foram comparadas graficamente.

O fluxo de calor sensível (Fig. 10) representado pela configuração 1 está equivalente ao calculado pelo modo indireto no período diurno. A configuração 2 apresenta H pequeno no período diurno, com uma diferença da ordem de 200 Wm^{-2} , quando comparado com os valores estimados e a configuração 1.

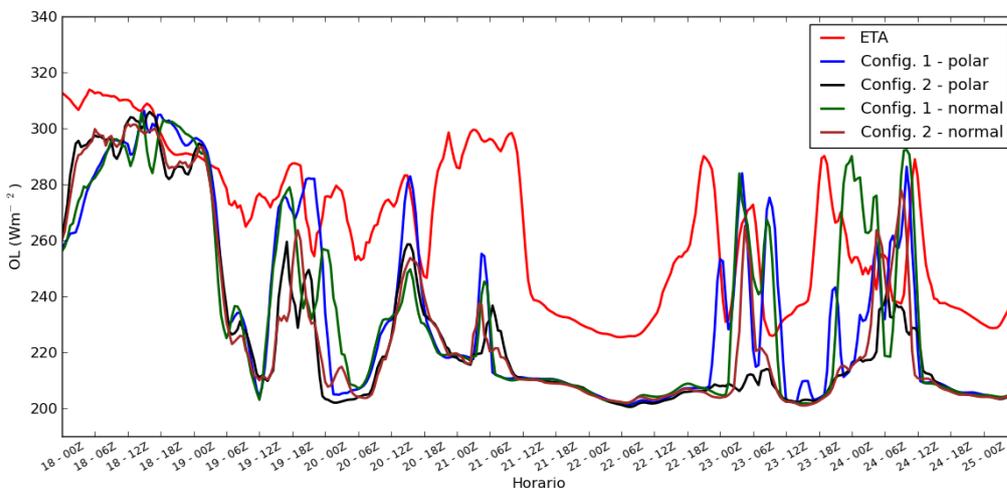


Figura 9: Radiação de onda longa incidente na superfície (Wm^{-2}). Em vermelho, dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 4 rodadas que foram comparadas graficamente.

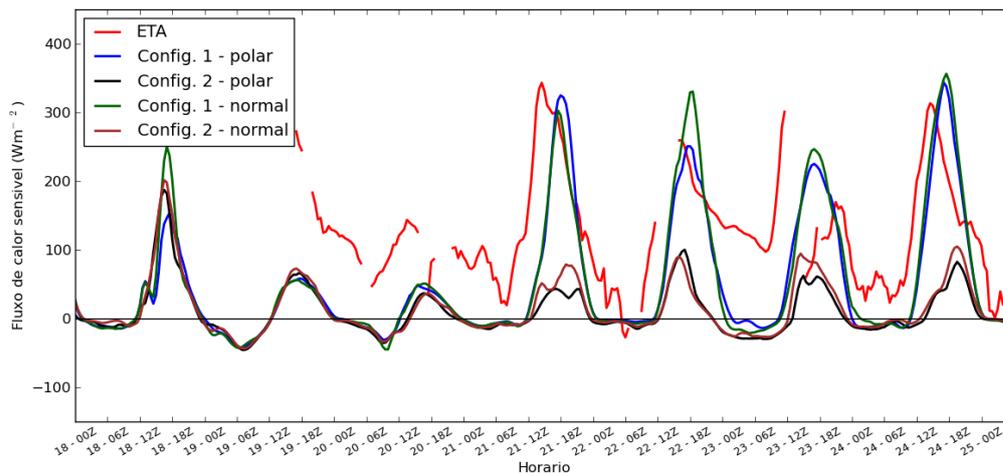


Figura 10: Fluxo de calor sensível (Wm^{-2}). Em vermelho, dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 4 rodadas que foram comparadas graficamente.

Para LE (Fig. 11), os valores estimados estão compatíveis com os valores encontrados na configuração 2, novamente somente para o período diurno, enquanto que a configuração 1 superestimou os valores.

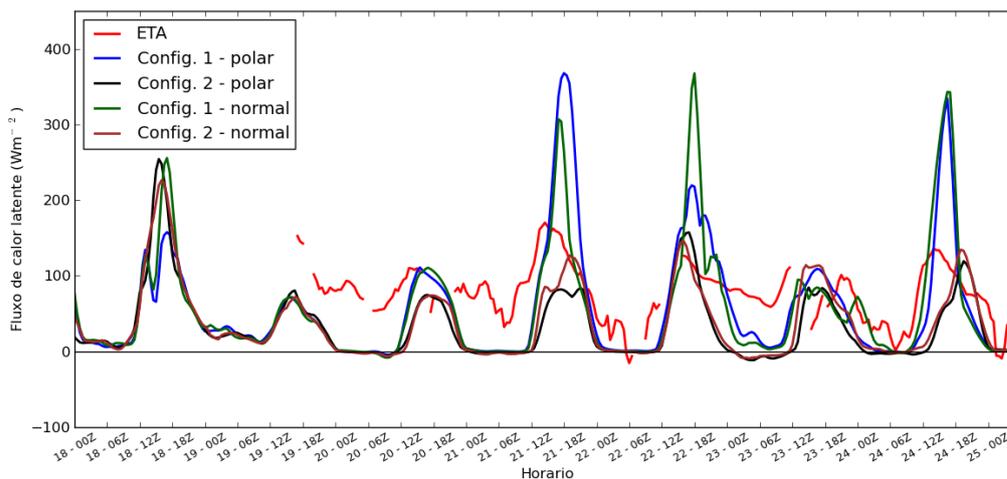


Figura 11: Fluxo de calor latente (Wm^{-2}). Em vermelho, dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 4 rodadas que foram comparadas graficamente.

2.3.3 Discussão

Neste trabalho foi examinado o balanço de energia na região da EACF, junto com um estudo do melhor modo de representar a região no modelo WRF. O balanço de energia será melhor analisado depois da instalação do anemômetro sônico, quando será possível comparar os valores estimados para H e LE pelo método indireto com o método direto.

O balanço de energia em superfície foi estimado usando a TSMO. Na próxima etapa do projeto o objetivo é realizar uma comparação dos valores estimados usando o método do perfil e o método da correlação (direto).

No estudo da região com o modelo, verificou-se que a diferença entre o PWRf e o WRF é mínima, mesmo resultado obtido por Kilpeläinen *et al.* (2012) para uma região no Ártico.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

O modelo simulou bem a pressão em superfície, a temperatura do ar e a intensidade do vento em todo o período analisado, enquanto que as outras variáveis foram melhor estimadas durante os períodos de pouca nebulosidade, devido principalmente ao modelo não representar bem a cobertura de nuvens.

Desse modo, após o estudo realizado, chegou-se a uma configuração de parametrização para ser usado nas rodadas futuras que abrangerão um período maior do verão.

2.4 Referências Bibliográficas

- Bromwich, D. H., F. O. Otieno, K. M. Hines, K. W. Manning, and E. Shilo, 2013: Comprehensive evaluation of polar weather research and forecasting model performance in the Antarctic, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 274–292, doi:10.1029/2012JD018139.
- Choi, T., B. Y. Lee, S. Kim, Y. J. Yoon, H. Lee, 2008: Net radiation and turbulent energy exchanges over a non-glaciated coastal area on King George Island during four summer seasons, *Antarctic Science* 20 (1), 99-111.
- Dee, D. P. et al, 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system, *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, Vol. 137: 553-597, DOI: 10.1002/qj.828
- Foken, T., 2008: The energy balance closure problem: An overview. *Ecol. Appl.*, 18(6), 1351-1367.
- Halouani, N., C. T. Nguyen and D. Vo-Ngoc, 1993: Calculation of monthly average global solar radiation on horizontal surfaces using daily hours of bright sunshine. *Solar Energy* 50 (3), 247–258.
- Liu, H., K. Jezek, B. Li, and Z. Zhao., 2001: Radarsat Antarctic Mapping Project Digital Elevation Model Version 2. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center.
- Kilpeläinen, T., T. Vihma, M. Manninen, A. Sjöblom, E. Jakobson, T. Palo and M. Maturilli, 2012: Modelling the vertical structure of the atmospheric boundary layer over Arctic fjords in Svalbard. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 138
- Oliveira, A. P., J. Soares, G. Codato, A. C. L. Targino, C. J. Ruman, 2012: Energy balance at the surface in the King George Island - Preliminary results of ETA project, *Annual Activity Report 2011*, doi:10.4322/apa.2014.059
- Stull, R. B., 1989: An Introduction to Boundary Layer Meteorology. *Kluwer Academic Publishers*. 666pp
- Skamarock, W.C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. Gill, D. Barker, M. Duda, X. Y. Huang, W. Wang, J. G. Powers, 2008: A description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Tech. Note, NCAR/TN-475+STR, 113 pp.
- Targino, A. C., J. Soares, 2002: Modeling surface energy fluxes for Ipero ,SP, Brazil: an approach using numerical inversion, *Atmospheric Research* 63 (2002) 101–121
- Onwuegbuzie, A., L. Daniel, N. Leech, 2007: Pearson product-moment correlation coefficient. In N. Salkind (Ed.), *Encyclopedia of measurement and statistics*. (pp. 751-756). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc. doi: <http://dx.doi.org/10.4135/9781412952644>
- Ruman, C. J., J. Soares, 2012: Estudo das propriedades radiométricas na região Antártica, *Relatório final de atividades de pesquisa de iniciação científica*.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

Wang, W., C. Bruyère, M. Duda, J. Dudhia, D. Gill, M. Kavulich, K. Keene, H. Lin, J. Michalakes, S. Rizvi, And X. Zhang, 2013: *ARW Version 3 Modeling System User's Guide*

Wyngaard, J. C., 2010: *Turbulence in the Atmosphere*. Cambridge University Press. Cambridge, 393 pp.

3. Outras atividades desenvolvidas no período

3.1 Estágio PAE e atividades de monitoria

No primeiro semestre de 2014 foi realizado um estágio PAE na disciplina ACA-0539 Meteorologia Dinâmica III.

No segundo semestre de 2014 está sendo realizado a monitoria da disciplina ACA-0321 Micrometeorologia.

3.2 Exame de qualificação

Em 12 de setembro de 2014 houve a obtenção da aprovação no exame de qualificação.

3.3 Cronograma de atividades

Atividades	Período
Realização de disciplinas, pesquisa bibliográfica e familiarização com o modelo WRF e testes preliminares.	Março de 2013 a Dezembro de 2013
Ida a estação Antártica Comandante Ferraz para reinstalação dos instrumentos meteorológicos.	Novembro de 2013
Realização das simulações, análise dos resultados e redação da dissertação.	Fevereiro de 2014 a Março de 2015
Ida a estação Antártica Comandante Ferraz para manutenção dos instrumentos meteorológicos	Março de 2014
Exame de Qualificação.	Setembro de 2014
Ida a estação Antártica Comandante Ferraz para instalação de instrumentos meteorológicos.	Novembro de 2014
Defesa da dissertação	1º Semestre de 2015