



## Investigação Climatológica na Península Antártica e no Arquipélago das Shetland do Sul Investigation Climatological in Antarctic Peninsula and South Shetland Islands

Alcimoni Nelci Comin<sup>1</sup> & Flávio Justino<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola,  
Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, 36570-900, Campus Universitário, Viçosa, MG, Brasil.  
E-mails: [alcimoni.comin@gmail.com](mailto:alcimoni.comin@gmail.com); [fjustino@ufv.br](mailto:fjustino@ufv.br)  
Recebido em: 18/04/2017    Aprovado em: 13/06/2017  
DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2017\\_2\\_74\\_81](http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_74_81)

### Abstract

Based on 17 automatic weather stations distributed at different sub regions in South Shetland islands, and over the eastern and western Antarctic Peninsula (AP), this study aims to investigate potential changes of climatological features. Observed monthly data computed on three-month running means are applied to time series of temperature, and zonal and meridional wind components. It has been found that South Shetland islands, Bellingshausen and Jubany weather stations experienced a temperature increase by up to 0.8 °C and 1 °C over the period, but no significant change in wind speed. However, the other 15 weather stations present changes in temperature and winds. At the eastern part of the AP, positive temperatures are evident: 1.7 °C warming was observed at the Esperanza weather station over 56 years, with variations of zonal and meridional wind speed. At the western side of the AP, there is an increase in temperature in all stations, in particular at the Faraday station, where the mean temperature increased 3.2 °C in 63 years. Previous researches show the influence that Antarctica Oscillation exerts on temperature in Antarctica. Zonal and meridional wind components present variations of a few m/s at these stations.

**Keywords:** Investigation climatological; Antarctic Peninsula; South Shetland islands

### Resumo

Com base em 17 estações meteorológicas automáticas distribuídas em diferentes sub-regiões nas ilhas Shetland do Sul, e na Península Antártica Oriental e Ocidental (PA), este estudo tem por objetivo investigar possíveis alterações das características climatológicas. Os dados mensais observados computados em médias de três meses são aplicados a séries temporais de temperatura e componentes de vento zonal e meridional. Verificou-se que as ilhas Shetland do Sul, as estações meteorológicas de Bellingshausen e Jubany tiveram um aumento de temperatura de 0,8 °C e 1 °C durante o período, mas nenhuma alteração significativa na velocidade do vento. No entanto, as outras 15 estações meteorológicas apresentam mudanças na temperatura e ventos. Na parte oriental da PA, as temperaturas positivas são evidentes: o aquecimento de 1,7 °C foi observado na estação meteorológica Esperanza ao longo de 56 anos, com variações de velocidade de vento zonal e meridional. No lado oeste da AP, há um aumento de temperatura em todas as estações, em particular na estação de Faraday, onde a temperatura média aumentou 3.2 °C em 63 anos. Pesquisas prévias mostram a influência que a Oscilação Antártica exerce sobre temperatura na Antártica. As componentes de vento de zona e meridional apresentam variações de alguns m/s nessas estações.

**Palavras-chave:** Investigação climatológica; Península Antártica; arquipélagos das Shetland do Sul

## 1 Introdução

A circulação atmosférica na Antártica, é muito influenciada pelo gelo no mar, com altitudes superiores à 3 km na maioria das áreas (Monaghan *et al.*, 2005). Nesta região, os ventos catabáticos são influenciados pelo balanço da gravidade, estabilidade térmica e pelos forçantes sinóticos (Parish & Bromwich, 2007). No extremo norte da península há uma barreira montanhosa que influencia as circulações oceânicas e atmosféricas. A Antártica possui baixas quantidades de aerossóis e alto albedo (Laine, 2008) e pouca precipitação se acumula formando uma pequena camada de gelo.

As plataformas de gelo representam 11% da área total da Antártica (Convey *et al.*, 2009) sendo estas mantidas pela precipitação em forma de neve, que pode transformar-se em gelo compactado. Em função da Antártica possuir grandes altitudes podendo chegar a 4000 m no platô Antártico. Nesta região o ar superior converge havendo subsidência na superfície. Com isso, formam-se anticiclones divergente no platô que favorecem a formação de escoamentos em baixos níveis para o litoral. Devido a grande declividade, entre o platô e o litoral, ventos catabáticos exercem papel importante na climatologia Antártica (Turner *et al.*, 1993).

As diferenças entre as massas de ar do interior do Continente e a do oceano, são o principal fator que contribui para o desenvolvimento de sistemas de meso escala que podem evoluir para grandes sistemas (Carrasco & Bromwich, 1996). Carrasco & Bromwich (1994) fazem um estudo climatológico dos ciclones de mesoescala, no mar de Ross e concluem que no verão, formam-se dois ciclones localizados próximos a baía de Terra Nova; e durante o inverno há formação de um por semana, na região da geleira Byrd. A predominância de sistemas ciclônicos é maior no mar de Ross e nas planícies congeladas, pois há em média semanalmente, seis vórtices de meso escala no verão e três no inverno. Carrasco & Bromwich (1997) também realizam estudos para a região da PA, e concluem que existe grande diferença de forçantes topográficos, pois os mares de Ross e de Weddell são regiões côncavas, a PA é convexa, isto é, avança para dentro do oceano com altitude chegando a 2000 m.

As temperaturas mais elevadas são encontradas no lado ocidental da PA, com predominância de ventos de noroeste, e temperaturas acima de 0 °C durante o verão em algumas regiões. Segundo Marshall *et al.* (2006) esse aquecimento é devido ao fortalecimento local de ventos de oeste circumpolar no verão, a advecção de massas de ar marítimas mais quentes sobre as montanhas na PA, e consequente aquecimento do clima continental como ventos Fohen. No interior da Antártica só há duas estações com séries de mais longas de dados. Apesar disso, têm sido feitas tentativas para estimar as tendências para o continente.

Chapman & Walsh (2007) encontram uma maior taxa de aquecimento sobre a península, aproximadamente 0,1°C/década no setor Ocidental, mas também encontram arrefecimento no polo Sul. Steig *et al.* (2009) estimam que a taxa de aquecimento nos últimos 50 anos, é maior que 0,1°C/década, na maior parte da Antártica ocidental. O'Donnell *et al.* (2011) sugerem que o aumento da temperatura para a Antártica oriental e ocidental, são a metade ou menos do que os encontrados por Steig *et al.* (2009).

Joughin *et al.* (2011) mostram que a maior causa da perda de massa na geleira da ilha Pine, localizada no mar de Amundsen, é devido à exposição com as correntes subsuperficial mais quentes. No inverno, o aquecimento é associado com aumento dos ventos onshore (advecção quente) em direção a estação de Byrd, causados por mudanças na altura geopotencial na região ocidental da Antártica. Outros estudos reportam um resfriamento durante o verão, atribuído as mudanças na circulação atmosférica na Antártica ocidental (Bromwich *et al.*, 2013), tais como; menor altura geopotencial e maior intensificação na corrente circumpolar. Segundo Blackmon *et al.* (1986) quando ocorre uma anomalia na altura geopotencial nos níveis superiores, também ocorre uma anomalia de temperatura nos níveis inferiores da troposfera.

Objetivo deste estudo é investigar a taxa de aquecimento e as possíveis mudanças da velocidade zonal e meridional do vento na península Antártica e no arquipélago das Shetland do Sul. Importante destacar que uma avaliação em detalhes que contrastem o setor leste e oeste da Antártica é importante pois ambas regiões tem sofrido diferentes taxas de degelo, influenciando diferentemente o nível do mar.

## 2 Material e Métodos

Os dados utilizados nas figuras abaixo são de 17 estações climatológicas de superfície e automáticas, cujas frequências são de médias mensais e estão disponíveis gratuitamente no READER (*Reference Antarctic Data for Environmental Research*) no seguinte sítio (<http://www.antarctica.ac.uk/met/READER/>). Esses dados foram utilizados no passado em muitos trabalhos para investigar as mudanças climáticas na Antártica e Oceano Austral (Jacka & Budd, 1998; Tuner, 2004, 2005). Nessas séries temporais, são feitas médias móveis a cada 3 meses utilizando a função *smooth*, com avanço no tempo a cada mês e tendência linear a fim de analisar as variações de temperatura, velocidade zonal e meridional do vento em superfície. A média móvel suaviza as flutuações aleatórias e com isso obtém uma estimativa melhor em comparação com a média. A média móvel é utilizada em diversos estudos climáticos como por exemplo nos relatórios do IPCC. Através deste número é possível verificar se a média aumenta ou diminui em relação a série climática de dados. Optou-se neste estudo por utilizar a média móvel, pois esta representa adequadamente as tendências climáticas ao longo da série. O filtro de média móvel (*smooth*) suaviza os dados, pois substitui cada ponto de dado pela média dos pontos dos dados vizinhos. A média móvel é dada pela seguinte equação de diferença.

$$Ds(i) = \frac{1}{2N+1} (D(i+N) + D(i+N-1) + \dots + (i-N))$$

Onde  $Ds(i)$  é o valor suavizado para o  $i$  ponto de dados,  $N$  é o número de pontos de dados vizinhos. A equação segue as seguintes regras: O número de pontos dos dados tem que ser ímpar; o ponto de dados a ser suavizado deve estar no centro da extensão; e a extensão é ajustada para ponto de dados. Os pontos finais não são suavizados porque o intervalo não pode ser definido. O ponto  $xx = \text{smooth}(x)$  é calculado dessa forma:  $xx(1)=x(1)$ ;  $xx(2)=(x(1)+x(2)+x(3))/3$  e assim sucessivamente. A falta de registros confiáveis dos dados de longo prazo; de velocidade e direção do vento, em algumas estações tornam-se difíceis as análises do vento zonal e meridional. Por isso, optou-se por analisar aquelas com maior número de dados. No entanto, a maioria das estações têm experimentado aumento da velocidade do vento sobre os períodos de operação.

## 3 Resultados e Discussão

### 3.1 Arquipélago das Shetland do Sul

Nas últimas décadas, a PA têm apresentado maior taxa de aquecimento em comparação com outras regiões do Hemisfério Sul. Este aquecimento estende-se verticalmente por alguns km na atmosfera sendo acompanhado pelo resfriamento da estratosfera inferior e redução de cobertura de nuvens (Lagun *et al.*, 2010). A Figura 1 mostra 6 estações localizadas no Arquipélago das Shetland do Sul, as estações de Arturo Prat e de Great Wall, apresentam um resfriamento de 0,1 °C e 0,9 °C, respectivamente, mas não há uma caracterização precisa nas médias, pois as mesmas apresentam muitas falhas nos dados. Enquanto que outras estações como Deception, Bellingshausen e Jubany apresentam um aumento considerável na temperatura. Deception em apenas 9 anos de dados há um aumento de 0,8 °C. Já Bellingshausen e Jubany apresentam um aumento de 0,8 °C e 1 °C, respectivamente. E em Marsh o aumento é de 0,1 °C. A temperatura média nestas estações consideradas para as ilhas Shetland do Sul é de -2,4 °C.

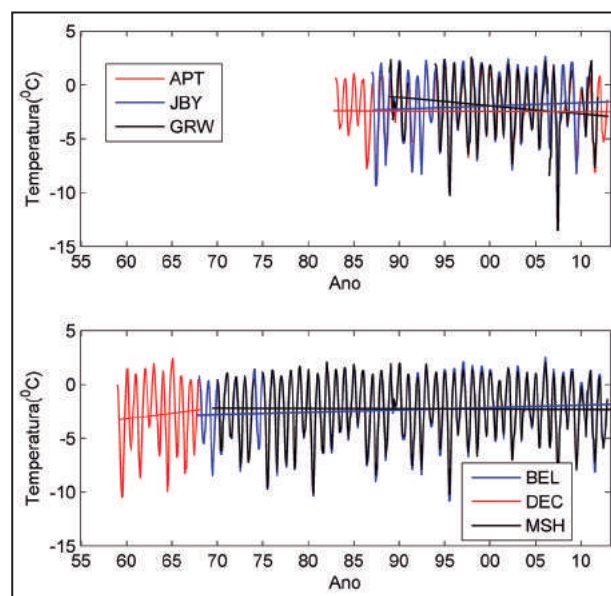


Figura 1 Média móvel e tendência linear de temperatura (°C) nas estações Bellingshausen (BEL), Arturo Prat (APT), Jubany (JBY), Great Wall (GRW), Deception (DEC) e Marsh (MSH).

Na análise da Tabela 1, observa-se que o desvio padrão é maior que a temperatura média em módulo, ou seja, a temperatura poderá ser positiva. Já o vento é bastante variável para as componentes zonal e meridional.

	Tm	Tdes	Vzm	Vzdes	Vmm	Vmdes
Arturo P.	-2,3	2,6	2,2	6,2	-4,9	4,1
Deception	-2,8	3,2	-10,1	3,0	5,5	4,5
Great W.	-1,9	2,7	-	-	-	-
Jubany	-1,9	2,9	10,4	7,4	-9,4	5,3
Bel.	-2,4	2,8	2,4	6,5	-8,2	4,6

Tabela 1 Variáveis estatísticas para o Arquipélago Shetland do Sul: Temperatura média (Tm), desvio padrão da temperatura (Tdes), velocidade do vento zonal médio (Vzm), desvio padrão da velocidade do vento zonal (Vzdes), velocidade do vento meridional médio (Vmm) e desvio padrão da velocidade do vento meridional (Vmdes).

A mudança de circulação forçada, segundo Ding *et al.* (2013) é devido ao escoamento na costa sobre o mar de Bellingshausen, que favorece o deslocamento do gelo em direção a costa e provoca o derretimento do gelo devido a advecção de ar quente. As Figuras 2 e 3 mostram o vento zonal (Vz) e meridional (Vm) em Shetland do Sul. Na estação de Deception há uma diminuição do Vz em 3 m/s e aumento do Vm em 4,5 m/s. Em Marsh o Vz aumenta 5 m/s e o Vm apresenta uma queda de 1 m/s. Já na estação de Bellingshausen, não há mudanças significativas na direção do escoamento. Em Great-Wall e Arturo Prad, o Vz apresenta uma diminuição de 1 m/s e um aumento de 1 m/s, respectivamente, enquanto o Vm diminui 0,5 m/s e 2,5 m/s respectivamente. Já Jubany apresenta o maior aumento no Vz de 5,5 m/s e diminuição no Vm de 2 m/s. A Tabela 1 mostra os valores médios e os desvios padrões para as ilhas Shetland do Sul.

### 3.2 Setor Leste da Península

O aquecimento durante o verão, no lado leste da península, é devido a perda do ozônio estratosférico provocado pela atividade antrópica (Marshall *et al.*, 2006). A Figura 4 mostra a variabilidade de temperatura ao longo dos anos, no setor leste da península. Na estação de Marambio, há um aumento na temperatura de 1,1 °C em 41 anos, em Esperanza o aumento é de 1,7 °C em 56 anos. Já nas estações de Larsen Ice-Shelt e O'Higgins o aumento das temperaturas são de: 1 °C em 27 anos e de 0,5 °C em 30 anos respectivamente. Ao contrário na estação de Butler Island parece haver uma pequena redução de temperatura.

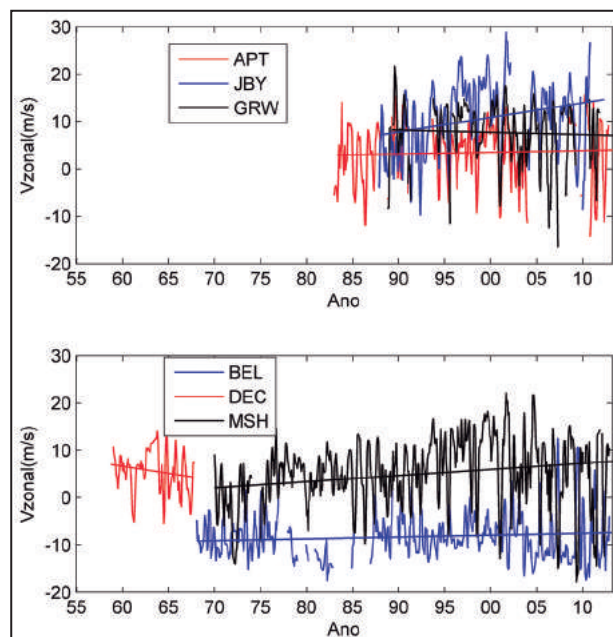


Figura 2 Média móvel e tendência linear do vento zonal (m/s) nas estações Bellingshausen (BEL), Arturo Prat (APT), Jubany (JBY), Great Wall (GRW), Deception (DEC) e Marsh (MSH).

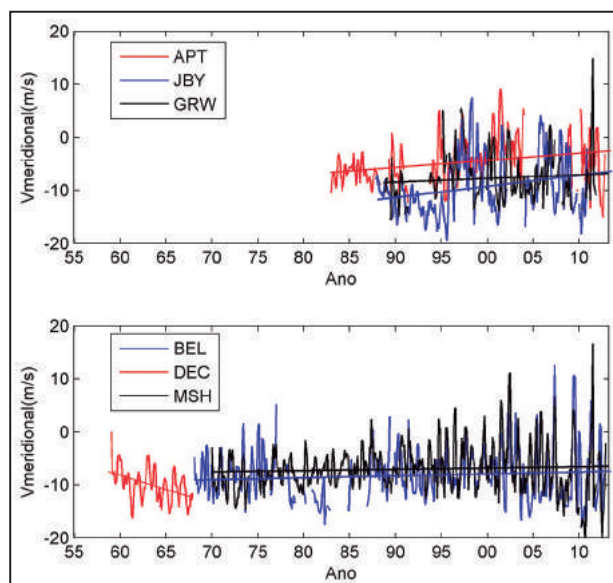


Figura 3 Média móvel e tendência linear do vento meridional (m/s) nas estações Bellingshausen (BEL), Arturo Prat (APT), Jubany (JBY), Great Wall (GRW), Deception (DEC) e Marsh (MSH).

Na PA e no estreito de Drake, ocorrem fenômenos meteorológicos intensos, devido a formação de vários mesociclones (Carrasco, 1997). O vento catabático de leste, do interior do continente, desvia-se para oeste na extremidade da PA (Schwerdtfeger & Amaruto, 1979). As Figuras 5 e 6 mostram o vento zonal e meridional

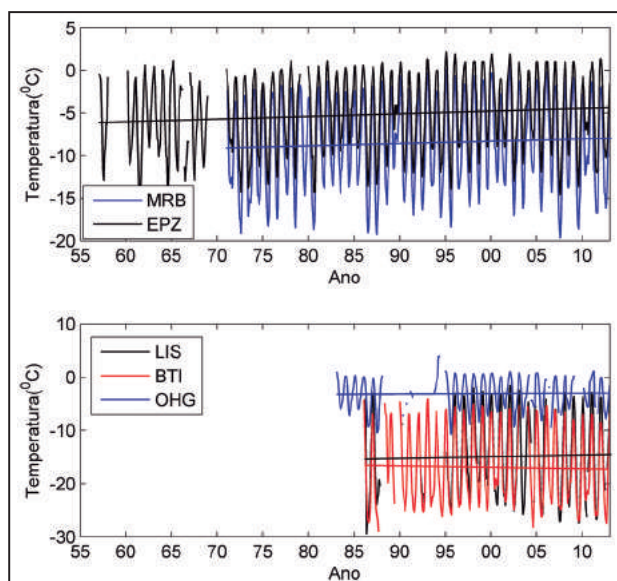


Figura 4 Média móvel e tendência linear de temperatura (°C) nas estações Marambio (MRB), Esperanza (EPZ), Larsen Ice-Shelt (LIS), Butler Island (BTI) e O'Higgins (OHG).

respectivamente. Na estação Marambio, o Vz e Vm diminuem em 0,5 e 3 m/s, respectivamente. Em Esperanza, o Vz diminui 1 m/s enquanto o Vm muda de direção e passa de -2 m/s para 2 m/s. Já na estação de Butler I., o Vz diminui 1 m/s e o Vm aumenta 1 m/s, esta estação apresenta falhas nos dados não há uma precisão destes resultados. Em O'Higgins, o Vz permanece quase que constante, enquanto o Vm tem um aumento de 1 m/s.

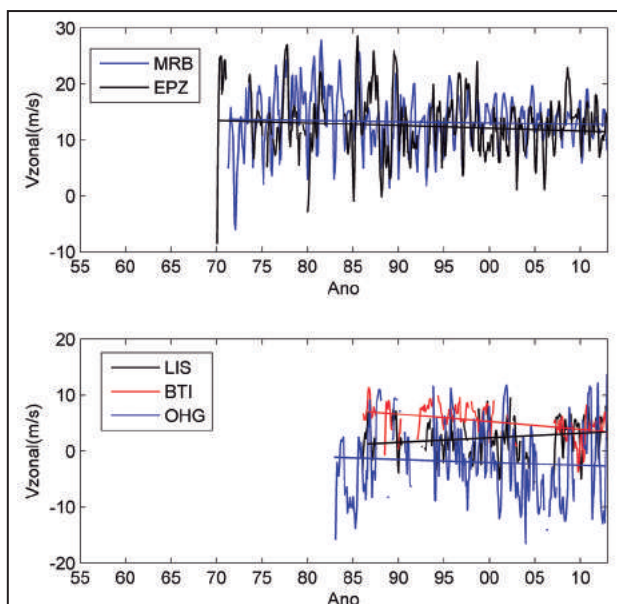


Figura 5 Média móvel e tendência linear do vento zonal (m/s) nas estações Marambio (MRB), Esperanza (EPZ), Larsen Ice-Shelt (LIS), Butler Island (BTI) e O'Higgins (OHG).

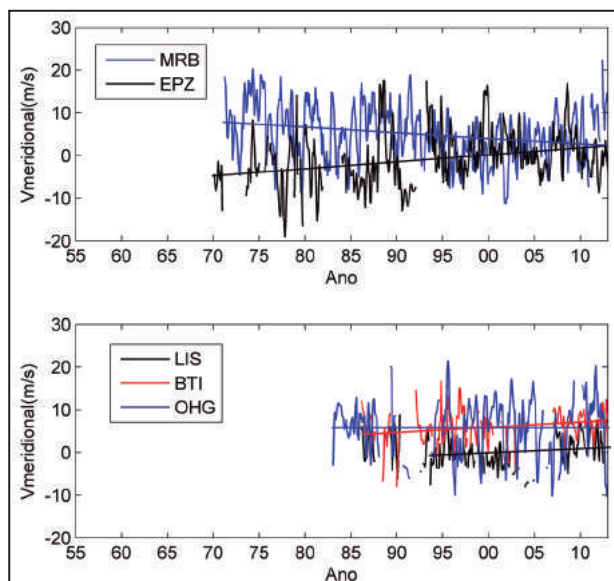


Figura 6 Média móvel e tendência linear do vento meridional (m/s) nas estações Marambio (MRB), Esperanza (EPZ), Larsen Ice-Shelt (LIS), Butler Island (BTI) e O'Higgins (OHG).

A Tabela 2 mostra os valores médios e os desvios padrões para o setor oeste da PA. Todas as estações apresentaram temperaturas médias negativas a estação de LIS apresentou as menores velocidades dos ventos. Nestas estações predomina o escoamento zonal.

Estações	Tm	Tdes	Vzm	Vzdes	Vmm	Vmdes
Marambio	-8,6	5,1	13,4	4,8	5,0	6,1
Butler	-17,0	6,8	-	-	-	-
O'Higgins	-3,5	3,0	-2,6	6,3	6,2	5,6
Esperanza	-5,2	4,3	12,6	4,9	-0,54	5,7
Larsen I.	-15,3	8,2	2,3	2,8	1,9	3,3

Tabela 2 Variáveis estatísticas para o setor leste da península: Temperatura média (Tm), desvio padrão da temperatura (Tdes), velocidade do vento zonal médio (Vzm), desvio padrão da velocidade do vento zonal (Vzdes), velocidade do vento meridional médio (Vmm) e desvio padrão da velocidade do vento meridional (Vmdes).

### 3.3 Setor Oeste da Península

O lado oeste (Bromwich *et al.*, 2013) é diferente do resto do continente, com influência dos trópicos e sua variabilidade e tendências climáticas não são bem refletidas no registro de temperaturas. O aquecimento significativo (Ding *et al.*, 2013), principalmente no inverno, é atribuído a redução do gelo no mar. A presença da água de degelo

contribuiu para aumentar o nível do mar (Barrand *et al.*, 2013). Sem dúvida a maior taxa de aquecimento ocorre no setor oeste da PA (Figura 7). A estação de Adelaide registra um aumento na temperatura de aproximadamente 0,3 °C em 13 anos, em Faraday o aumento da temperatura é de 3,2 °C em 63 anos. As tendências de temperatura, em Faraday, são substancialmente maiores do que a média global (0,13 ± 0,03 °C/década, Hansen *et al.*, 2010). Já em Rothera, o aumento é de 2,5 °C em 35 anos. Nas estações de San Martin o aumento é de 1,3 °C em 29 anos, em Uramus, o aumento é de 1 °C em 18 anos, nesta os dados apresentaram falhas. Este aquecimento nas estações de Faraday e Rothera pode ser devido a redução do gelo sobre o mar (Ding *et al.*, 2013).

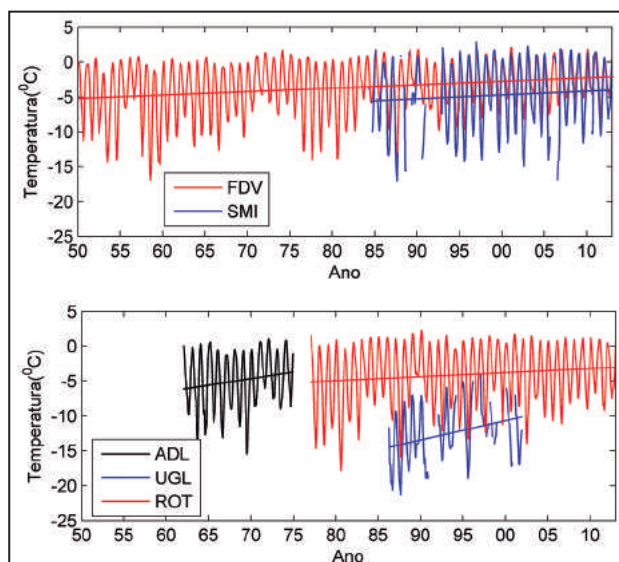


Figura 7 Média móvel e tendência linear de temperatura (°C) nas estações de Faraday/Vernadsky (FDV), San Martin (SMI), Adelaide (ADL), Uranus Glacier (UGL) e Rothera (ROT).

O Vz e Vm, no setor oeste da PA, são mostrados nas Figuras 8 e 9. Na estação de Faraday, há mudança na direção do vento entorno de 20° na direção sul, e aumento do Vz em 1 m/s e diminuição do Vm em 4,5 m/s. E em Rothera, o vento se desloca entorno de 10° em direção sul, com uma diminuição do Vz em 1,5 m/s e aumento do Vm em 0,7 m/s. Já em Adelaide, o Vz e Vm têm uma redução de 2,5 e 0,5 m/s, respectivamente. Nas estações de Uramus e San Martin, o Vz permanece quase que constante com aumento de 0,2 e 0,5 m/s, respectivamente; enquanto que Vm aumenta 0,5 m/s em Uramus e diminui 1 m/s em San Martin.

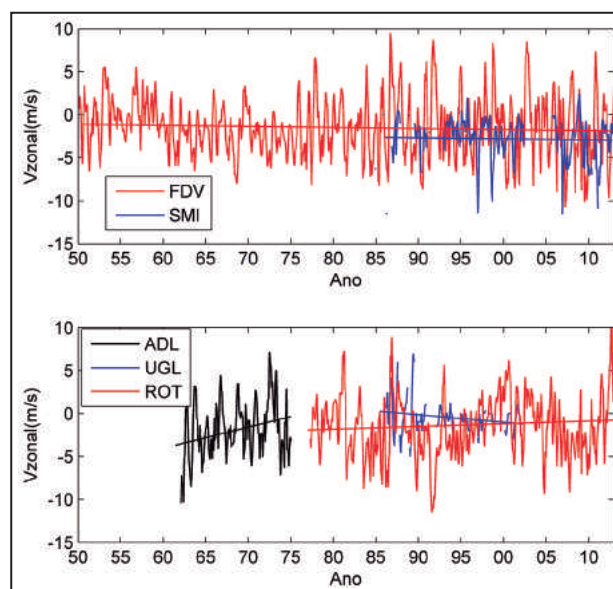


Figura 8 Média móvel e tendência do vento zonal (m/s) nas estações de Faraday/Vernadsky (FDV), San Martin (SMI), Adelaide (ADL), Uranus Glacier (UGL) e Rothera (ROT).

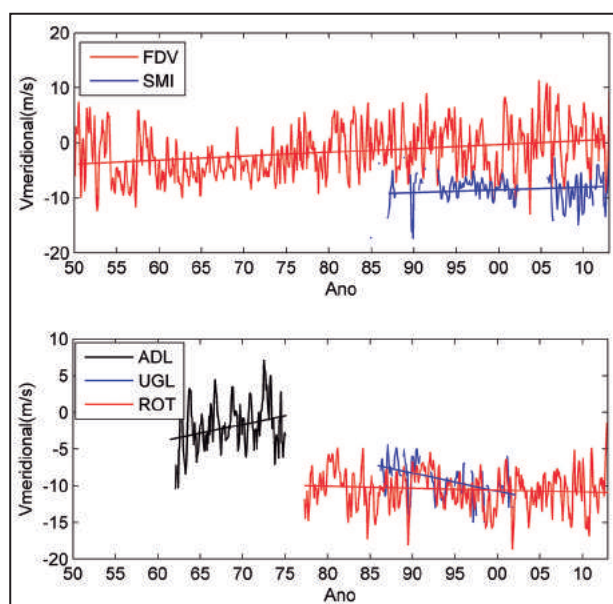


Figura 9 Média móvel e tendência do vento meridional (m/s) nas estações de Faraday/Vernadsky (FDV), San Martin (SMI), Adelaide (ADL), Uranus Glacier (UGL) e Rothera (ROT).

A Tabela 3 mostra a média e o desvio padrão das variáveis para o setor oeste da PA. As temperaturas medias são negativas, mas a maioria das estação a temperatura media e bastante proxima do desvio padrão, ou seja, a temperatura poderá ser positiva. Além disso a componente meridional do vento apresenta maiores velocidades que o vento zonal o que poderá favorecer um escoamento de norte.

Estações	Tm	Tdes	Vzm	Vzdes	Vmm	Vmdes
Rothera	-4,3	4,2	-1,7	3,4	-10,5	2,5
Faraday	-3,7	3,7	-1,5	3,5	-1,8	4,4
Adelaide	-5,0	4,0	-1,9	3,2	-11,4	3,4
Uramus	-11,8	4,5	-	-	-	-
San Martin	-4,5	3,9	-2,2	3,2	-9,2	2,2

Tabela 3 Variáveis estatísticas para o o setor oeste da península: Temperatura média (Tm), desvio padrão da temperatura (Tdes), velocidade do vento zonal médio (Vzm), desvio padrão da velocidade do vento zonal (Vzdes), velocidade do vento meridional médio (Vmm) e desvio padrão da velocidade do vento meridional (Vmdes).

#### 4 Considerações Finais

As mudanças de temperatura na superfície mostram forte sazonalidade e complexidade com aumento de temperatura média anual na península Antártica, principalmente no setor oeste e pequenas mudanças no setor leste. Em alguns locais no setor oeste, o aquecimento médio anual é de 0,5 °C/década, que é maior que a média global, em conformidade com Ding *et al.* (2013). Os resultados mostraram que a média móvel é adequada nas investigações climáticas.

De uma forma geral, também há variações na velocidade zonal e meridional do vento verificados ao longo da serie de dados das estações analisadas. Para estudos futuros poderia ser utilizado modelos numéricos de mesoescala como o WRF, pois este apresentou um bom desempenho para os parâmetros atmosféricos nesta região segundo Comin *et al.* (2016a) e Comin *et al.* (2016b). Este modelo poderia ser utilizado acoplado com um modelo oceânico para uma representação mais detalhada desse ecossistema.

#### 5 Agradecimentos

Os autores agradecem ao PNP/DCAPES pelo apoio financeiro na realização deste trabalho.

#### 6 Referências

Blackmon, M.L.; Mullen, S.L. & Bates, G.T. 1986. The climatology of blocking events in a perpetual January simulation of a spectral general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 43: 1379-1405.

- Barrand, N.E.; Vaughan, D.G.; Steiner N.; Tedesco, M.; Munneke, P.K.; van den Broeke, M.R. & Hosking, J.S. 2013. Trends in Antarctic Peninsula surface melting conditions from observations and regional climate modeling. *Journal of Geophysical Research*, 118: 1-16.
- Bromwich, D.H.; Nicolas, J.P.; Monaghan, A.J.; Lazzara, M.A.; Keller, L.M.; Weidner, G.A. & Wilson, A.B. 2013. Central West Antarctica among the most rapidly warming regions on Earth. *Nature Geoscience*, 6: 139-145.
- Chapman, W.L. & Walsh, J.E. 2007. A synthesis of Antarctic Temperatures. *Journal of Climate*, 20: 4096-4117.
- Carrasco, J.F. & Bromwich, D.H. 1994. Climatological aspects of mesoscale cyclogenesis over the Ross Sea and Ross Ice Shelf regions of Antarctica. *Monthly Weather Review*, 122: 2405-2425.
- Carrasco, J.F. & Bromwich, D.H. 1996. A study of mesoscale cyclone activity near the Antarctic peninsula (Un estudio de la actividad de ciclones a mesoescala en las cercanías de la península Antártica). *Serie Científica, INACH*, 46: 83-101.
- Carrasco, J.F.; Bromwich, D.H. & Liu, Z. 1997. Mesoscale cyclone activity over Antarctica during 1991, Part 1: Marie Byrd land. *Journal of Geophysical Research*, 102: 923-937.
- Comin, A. C.; Souza, R.B.; Acevedo, O.C. & Anabor, V. 2016a. Análise do Desempenho do Modelo Weather Research and Forecasting (WRF) com Diferentes Esquemas de Microfísica e Camada Limite Planetária na Ilha Deception, Antártica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(4): 1-13.
- Comin, A. C.; Acevedo, O.C & Souza, R.B. 2016b. Simulação Numérica em Alta Resolução nas Ilhas Shetland do Sul, Antártica, Usando WRF. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 39(3): 105-110.
- Convey, P.; Bindschadler, R.; Di Prisco, J.; Fahrbach, E.; Gutt, J.; Hodgson, D.A.; Mayewski, P.A.; Summerhayes, C.P.; Turner, J. & Consortium, A. 2009. Antarctic climate change and the environment. *Antarctic Science*, 21: 541-563.
- Ding, Q. & Steig, E. J. 2013. Temperature change on the Antarctic Peninsula linked to the tropical Pacific. *Journal of Climate*, 26: 7570-7585.
- Hansen, J.; Ruedy, R.; Sato, M. & Lo, K. 2010. Global surface temperature change. *Reviews of Geophysics*, 48: RG4004.
- Jacka, T.H. & Budd, W.F. 1998. Detection of temperature and sea-ice-extent changes in the Antarctic and Southern Ocean, 1949–96. *Annals of Glaciology*, 27: 553-559.
- Joughin, I. & Alley, R. B. 2011. Stability of the West Antarctic ice sheet in a warming world. *Nature Geosciences*, 4: 506-513.
- Laine, V. 2008. Antarctic ice sheet and sea ice regional albedo and temperature change, 1981-2000, from AVHRR Polar Pathfinder data. *Remote Sensing of Environment*, 112: 646-653.
- Lagun, V.; Klepikov, A.V.; Danilov, A.I. & Korotkov, A.I. 2010. On the warming over the Antarctic Peninsula (in Russian). *Problems of Arctic and Antarctic*, 85(2): 90-101.
- Lidemann, D.S. & Justino, F.B. 2015. A influência dos modos de variabilidade climática na temperatura em superfície na Antártica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 30(2): 214-222.
- Marshall, G.; Orr, A.; Lipzig, N.V & King, J. 2006. The impact of a changing Southern Hemisphere Annular Mode on Antarctic Peninsula summer temperatures. *Journal of*

- Climate*, 19: 5388-5404.
- Mc Clintock, J.B.; Ducklow, H. & Fraser, W. 2008. Ecological responses to climate change on the Antarctic Peninsula: the peninsula is an icy world that's warming faster than any-where else on Earth, threatening a rich but delicate biological community. *American Scientist*, 96: 303-310.
- Monaghan, A.J.; Bromwich, D. H. & Powers, J.G. 2005. The climate of the McMurdo, Antarctica, region as represented by one year of forecasts from the Antarctic Mesoscale Prediction System. *Journal of Climate*, 18: 1174-1189.
- O'Donnell, R.; Lewis, N.; McIntyre, S. & Condon, J. 2011. Improved methods for PCA-based reconstruction: Case study using the Steig et al. (2009) Antarctic temperature reconstructions. *Journal of Climate*, 24: 2099-2115.
- Parish, T.R. & Bromwich, D.H. 2007. Re-examination of the near-surface air flow over the Antarctic continent and implications on atmospheric circulations at high southern latitudes. *Monthly Weather Review*, 135: 1961-1973.
- Schwerdtfeger, W. & Amaruto, L.R. 1979. Wind and weather around the Antarctic peninsula. Madison: *Department of Meteorology, University of Wisconsin*, 86p. (Technical Report 79.00.S1).
- Steig, E.; Schneider, D.; Rutherford, S.; Mann, M.; Comiso, J. & Shindell, D. 2009. Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 Thompson, D. W. J. & Solomon, S. Interpretation of recent Southern Hemisphere climate change. *Science*, 296: 895-899.
- Turner, J.; Thomas, A.L. & Thomas, J.P. 1993. A comparison of Arctic and Antarctic mesoscale vortices. *Journal of Geophysical Research*, 98(D7):19-34.
- Turner, J.; Colwell, S.R.; Marshall, G.S.; Lachlan-Cope, T.A.; Carleton, A.M.; Jones, P.D.; Lagun, V.; Reid, P.A. & Iagovkina, S. 2004. The SCAR READER Project: Toward a High-Quality Database of Mean Antarctic Meteorological Observations. *American Meteorological Society*, 17: 2890-2898.
- Turner, J.; Colwell, S.; Marshall, G.; Lachlan-Cope, T.; Carleton, A.; Jones, P.; Lagun, V.; Reid, P. & Iagovkina, S. 2005. Antarctic climate change during the last 50 years, *Int. Journal of Climate*, 25: 279-294.