

TENDÊNCIAS NA TEMPERATURA DO AR AO NORTE DA PENÍNSULA ANTÁRTICA NO PERÍODO DE 1949-2008

Mary T. Kayano¹, Clóvis Sansígolo² e Alberto Setzer³

^{1,2,3} Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Avenida dos Astronautas 1758 – São José dos Campos, SP - Brasil
¹mary.kayano@cptec.inpe.br, ²clovis.sansigolo@cptec.inpe.br, ³alberto.setzer@cptec.inpe.br

RESUMO: Variações de longo prazo de séries de temperatura do ar e de pressão à superfície no norte da Península Antártica (62° 05' S; 058° 23' W) para o período de 1949-2008 foram investigadas quanto à significância estatística de suas tendências temporais. As análises foram feitas em base sazonal (DJF, MAM, JJA e SON) e anual. A hipótese nula do teste de seqüências, que avalia a aleatoriedade das amostras, foi válida para todas as séries de temperatura, exceto em MAM. A tendência linear significativa desta série foi retirada, e a série residual ainda não satisfaz o teste de seqüências, o que implica que ela contém autocorrelação serial. Exceto para SON, a hipótese nula do teste de Mann-Kendall, usado para evidenciar tendências, não foi válida para todas as séries de temperatura, o que indicou a existência de tendências positivas significativas. Estas foram obtidas através de um ajuste linear e também tiveram suas significâncias testadas por meio de um teste t de Student do coeficiente angular da reta. As séries mostraram tendências significativas de aquecimentos por década de: 0,23°C para DJF; 0,34°C para MAM; 0,39°C para JJA e de 0,26°C para a série anual. Estas taxas de aquecimento foram menores do que as registradas para Faraday (0,67°C), aproximadamente 3° de latitude mais ao sul. As séries de pressão de superfície não mostraram tendências significativas.

ABSTRACT: TRENDS IN THE AIR TEMPERATURE IN THE NORTHERN ANTARCTIC PENINSULA DURING THE 1949-2008 PERIOD

Long term variations of air temperature and surface pressure series in the northern Antarctic Peninsula (62° 05' S; 058° 23' W) during 1949-2008 period were investigated for the statistical significance of their temporal tendencies. Analyses were done in seasonal (DJF, MAM, JJA, and SON) and annual basis. The null hypothesis of the run test, used to evaluate the sample randomness, was valid for all temperature series, except in MAM. The significant linear trend was removed from this series, and the residual series did not satisfy the run test, what means that this series contains a serial auto-correlation. Except for the SON series, the null hypothesis of the Mann-Kendall test, used to make evident trends, was valid for all temperature series, what indicated the existence of significant positive trends. These trends were obtained from a linear fit and their significances were also checked using the Student t test of the angular coefficient of the straight line. The series showed significant warming trends per decade of: 0.23°C for DJF; 0.34°C for MAM; 0.39°C for JJA and of 0.26°C for the annual series. These warming trends were lower than those registered at Faraday (0,67°C), approximately 3° latitude further south. The surface pressure series did not show significant trends.

Palavras-Chave: temperatura, tendência, Antártica.

1. INTRODUÇÃO

Apesar do recente interesse em tendências nas séries históricas de dados hidrometeorológicos, poucos estudos foram feitos para a América do Sul e em particular para a Antártica (Comiso, 2000; Ferron et al., 2004; Vaughan et al., 2001; Doran et al., 2002; Turner et al., 2002; Kejna, 2003). Comiso (2001) verificou que as temperaturas observadas em 21 estações da Península Antártica apresentaram tendências de até 0,5°C por década; gradientes específicos de 0,12±0,08°C ocorreram entre 1954 e 1998 e de -0,08±0,3°C entre 1979 e 1998, compatíveis com as estimadas por satélite no mesmo período, de -0,4±0,07°C. Ferron et al. (2004), analisando as temperaturas médias anuais da Ilha Rei George, obtiveram uma tendência linear de aquecimento de 0,22°C por década no período de 1947-95. Kejna (2003) analisou as tendências nas temperaturas médias de 21 estações na Antártica no período de 1958 a 2000. Ele constatou tendência de aumento nas estações da costa oeste da Península, especialmente no outono e inverno, de até 0,67°C por década em Faraday; na costa leste observou no período 1981-2000 uma tendência de resfriamento de até -0,82°C em Casey, no interior do continente, e em Byrd (80°S; 120°E) tendência de aquecimento de 0,37°C.

Na Antártica, as alterações na temperatura à superfície na Península e no restante do continente parecem resultar de processos distintos que conduziram desde 1957 a um aquecimento na Península e a um resfriamento ou nenhuma alteração no restante (Hansen, 2009; Steig et al., 2009; Steig, 2009). Na Península, registrou-se um aquecimento variável de 0,1°C a 0,25°C por década ao se combinar dados de estações locais com observações de satélites (Hansen, 2009; Steig et al., 2009; Steig, 2009). Doran et al. (2002) com base nos dados de 1966 a 2000 afirmaram que o continente em sua totalidade teve um saldo de resfriamento em particular no verão e outono. Este resultado foi contestado por Turner et al. (2002) pelo fato de Doran et al. (2002) não terem obtido um aquecimento no lado oeste da Península Antártica notado por Vaughan et al. (2001). Estes últimos autores encontraram aquecimentos no período de 1951-2000 nas proximidades da estação Faraday, de 1,09°C por década durante o inverno, e de 0,56°C por década para a série anual. A base dos argumentos de Turner et al. (2002) é que o uso da média de pontos geográficos muito distantes mascara as tendências reais.

O objetivo deste trabalho é uma análise detalhada das séries sazonais de temperatura do ar e pressão na Ilha Rei George para avaliar suas tendências temporais no período de 1949 a 2008, usando os testes de seqüências e de Mann-Kendall. Também, os resultados são comparados com os de trabalhos anteriores para outras estações da Antártica, como em Faraday (65° 15'S; 64° 16'W – atualmente Vernadsky), cerca de três graus de latitude mais ao sul, e que para um período de 60 anos de dados, é a mais próxima da série analisada.

2. DADOS E METODOLOGIA

As séries de temperatura e de pressão à superfície foram formadas por dados mensais de 45 anos da Baía do Almirantado (62° 05' S; 058° 23'W), Ilha Rei George, no norte da Península Antártica, onde fica a Estação Antártica Brasileira Com. Ferraz, atual estação OMM 89252, e acrescidos de 15 anos de dados transpostos de estações relativamente próximas e corrigidos empiricamente também em base mensal (CPTEC, 2009). Séries sazonais (dezembro a fevereiro – DJF; março a maio – MAM; junho a agosto – JJA; setembro a novembro – SON) e anuais, foram derivadas dos valores mensais. Os índices foram primeiro submetidos ao teste de seqüências (Sneyers, 1975), e em seguida ao teste de Mann-Kendall. A tendência linear foi obtida pela análise de regressão linear. A hipótese de que a inclinação da linha reta é diferente de zero foi testada usando o teste t de Student no nível de significância de 5%.

Quando a hipótese nula do teste de seqüências é rejeitada, significa que a série não é aleatória simples, ou seja, a mesma pode ter tendência e/ou auto-correlação serial. Como a tendência linear é a mais simples, inicialmente procura-se testar neste caso, se a tendência linear está presente na série e se a mesma é significativa usando uma análise de regressão linear. Se a série contiver uma tendência linear significativa, a mesma é removida e a série residual é novamente sujeita ao teste de seqüências. Se a hipótese nula for rejeitada a série contém auto-correlação significativa. Uma outra possibilidade é a série não conter tendência linear. Neste caso, não é obtida a série residual, e a conclusão é que o teste de seqüências falhou pelo fato de haver auto-correlação serial.

3. RESULTADOS

A hipótese nula do teste de seqüências é válida para todos os índices de temperatura, exceto para o índice de MAM (Tabela 1). Assim, este último índice será mais analisado, como mostrado abaixo. Aplicando-se o teste de Mann-Kendall, todos os índices de temperatura mostram tendências de aquecimento ($u(t_N) > 0$), que são significativas ao nível de 5%, exceto a de SON (Tabela 1). As magnitudes das tendências significativas na temperatura são mostradas na Tabela 2. As tendências de aquecimento das séries de temperatura mostram magnitudes compatíveis por década, de 0,23°C para DJF, de 0,34°C para MAM, de 0,39°C para JJA e de 0,26°C para o índice anual (Tabela 2). As Figuras 1 a 3 ilustram as séries de temperatura anual e de DJF, e JJA, respectivamente. A tendência de aquecimento na série anual é compatível com a obtida por Ferron et al. (2004) no mesmo local para o período de 1947-1995 (de 0,22°C por década), mas bem menor do que a da série de Faraday, na costa oeste da Península Antártica, de 0,56°C por década para a série anual. A tendência de aquecimento da série de inverno também é inferior a da correspondente série de Faraday, de 1,09°C por década (Turner et al., 2005). Para um período mais recente, de 1981-2008, a tendência linear aqui apresentada de aquecimento das médias anuais é de 0,9°C por década.

As diferenças nas tendências entre as séries de Faraday e a usada aqui não se justificam pelos períodos, pois estes foram quase os mesmos nas duas análises. Por outro lado, a distância em latitude de aproximadamente 3° entre as duas estações não é tão grande para justificar as diferenças. Uma possível

explicação é que Faraday é uma estação mais continental e os dados da série analisada aqui são da Ilha de Rei George e, portanto podem ter respostas distintas aos diferentes processos que conduzem a um aquecimento. Vaughan et al. (2001) mencionam três mecanismos que podem explicar o aquecimento na Península Antártica: mudanças na circulação oceanográfica, mudanças na circulação atmosférica sobre a região e aquecimento devido ao processo de retro-alimentação mar-gelo-atmosfera.

No caso da série de temperatura de MAM, a hipótese nula do teste de seqüências não foi válida e a tendência linear obtida pelo ajuste linear é significativa (Tabelas 1 e 2), e assim, resta analisar a série residual. A Figura 4 ilustra as séries original e residual. A série residual não contém tendência linear, mas a auto-correlação serial é significativa.

Tabela 1. z calculado (RUN) e u_N calculado (MK) para índices de temperatura e pressão.
(Dois asteriscos indicam 5% de significância)

VARIÁVEIS	Temperatura		Pressão	
	RUN (z)	MK (u_N)	RUN (z)	MK (u_N)
ANUAL	-0,38	3,37**	-0,75	0,61
DJF	-1,87	3,85**	-0,38	-0,97
MAM	-4,12**	2,62**	-0,38	1,45
JJA	-0,38	2,13**	4,12**	-0,19
SON	0,37	0,94	1,50	0,29

Tabela 2. Tendências das séries de temperatura em °C por década.
(Dois asteriscos indicam 5% de significância)

VARIÁVEIS	Temperatura(original)
ANUAL	0,26**
DJF	0,23**
MAM	0,34**
JJA	0,39**
SON	0,08

A hipótese nula do teste de seqüências é válida para todos os índices de pressão, exceto para o índice de JJA (Tabela 1). Aplicando-se o teste de Mann-Kendall, todos os índices de pressão não contém tendências significativas (Tabela 1). Portanto, o fato do teste de seqüências ter falhado no caso da série de JJA, é a indicação que isso se deveu à existência de auto-correlação serial na mesma. Como esta série não contém tendência linear significativa, não é possível seguir com testes adicionais.

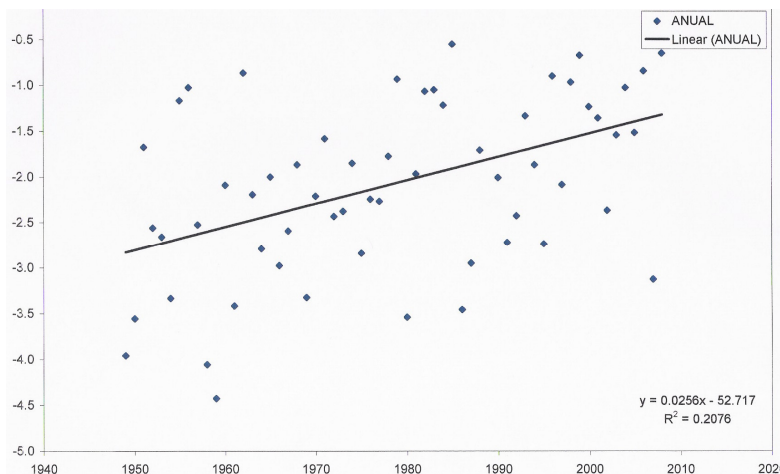


Figura 1 – Série anual de temperatura e tendência linear.

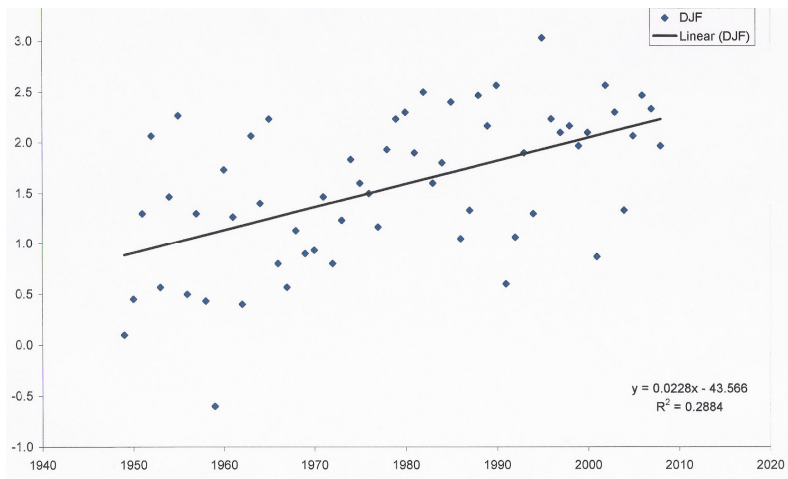


Figura 2 – Série de DJF de temperatura e tendência linear.

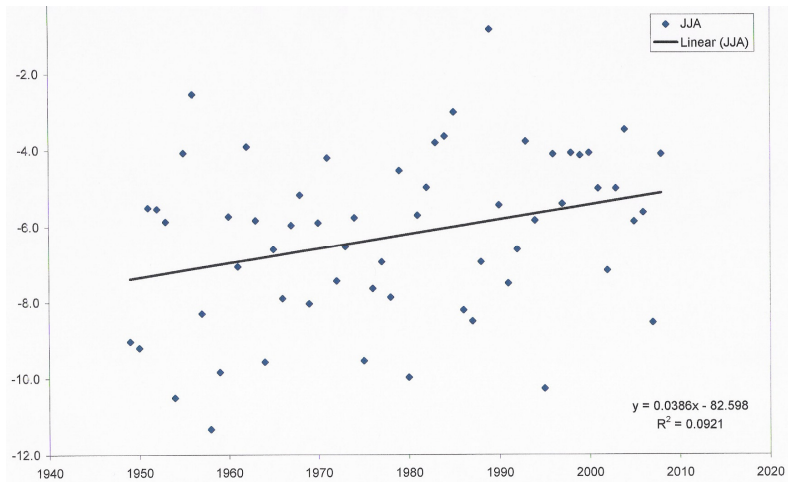


Figura 3 – Série de JJA de temperatura e tendência linear.

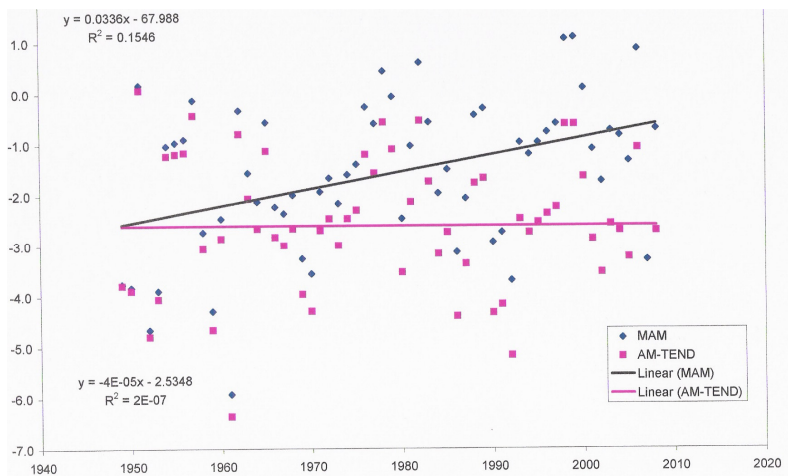


Figura 4 - Temperatura de MAM, tendência linear (azul e preto) e série residual e tendência (rosa).

4. CONCLUSÕES

As tendências de longo prazo na Baía do Almirantado, na Ilha Rei George, foram testadas quanto à sua validade estatística e comparadas com as obtidas anteriormente em Faraday, estação da Península que está em latitude 3° mais ao sul e, portanto relativamente próxima. A análise da série de Faraday foi feita anteriormente por Vaughan et al. (2001) e mostra pronunciado aquecimento, que é bem superior ao encontrado aqui para a Baía do Almirantado. Como os períodos de dados das duas análises têm sobreposições e diferem pela inclusão de alguns anos no início e final da série no caso da série Baía do Almirantado, possivelmente as diferenças se devem à localização e não ao período de análise. Outros fatores podem ainda ter contribuído para estas discrepâncias. Assim, no caso da Antártica e proximidades as análises de tendências devem ser tomadas com bastante cautela principalmente as que consideram dados médios de estações distantes.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro e ao PROANTAR (CNPq e SECIRM) pelo apoio na coleta dos dados na Estação Antártica Com.Ferraz.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COMISO, J. C. Variability and trends in Antarctica surface temperatures from in situ and satellite infrared measurements. *J. Climate*, 13 (10), 1674-1696, 2000.
- CPTEC site <http://antartica.cptec.inpe.br/~rantar/data/resumos/climatolbaia.xls> acesso em 14/julho/2009
- DORAN, P.T.; PRISCU J. C.; LYONS W. B.; WALSH J. E.; FOUNTAIN A. G.; MCKNIGHT D. M.; MOORHEAD D. L.; VIRGINIA R. A.; WALL D. H.; CLOW G. D.; FRITSEN C. H.; MCKAY C. P.; PARSONS A. N. Antarctic climate cooling and terrestrial ecosystem response. *Nature*, 415, 517-520, 2002.
- FERRON, F.A.; SIMÕES, J.C; AQUINO, F.E.; SETZER, A.W. Air temperature time series for King George Island, Antarctica. *Pesquisa Antártica Brasileira*, 4, 155-169, 2004.
- HANSEN, K. (2009, January 22). Satellites confirm half-century of West Antarctic warming. NASA. Accessed January 22, 2009.
- KEJNA, M. Trends in air temperature of the Antarctic during the period 1958-2000. *Polish Polar Research*, 24(2), 99-128, 2003.
- SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des series d'observations. Geneve: Organisation Météorologique Mondiale, 192pp (OMM Note Technique, 143), 1975.
- STEIG, E.; SCHNEIDER, D.; RUTHERFORD, S.; MANN, M.; COMISO, J.; SHINDELL, D. Warming of the Antarctic ice-sheet surface since the 1957 International Geophysical Year. *Nature*, 457, 459-463. doi:10.1038/nature07669, 2009.
- STEIG, E. (2009, January 21). State of Antarctica: red or blue? RealClimate. Accessed January 22, 2009.
- TURNER, J.; KING, J. C.; LACHLAN-COPE, T. A.; JONES, P. D. Recent temperature trends in the Antarctic, *Nature*, 418, 291-292, 2002.
- TURNER, J.; COLWELL S. R.; MARSHALL G. J.; LACHLAN-COPE, T. A.; CARLETON A. M.; JONES, P. D.; LAGUN V.; REID P.A.; IAGOVKINA S. Antarctic climate change during the last 50 years. *Int. J. Climatol.*, 25, 279-294, 2005.
- VAUGHAN, D. G.; MARSHALL, G. J.; CONNOLLEY, W. M.; KING, J. C.; MULVANEY, R. Climate change - devil in the detail. *Science*, 293, 1777-1779, 2001.