

# CONEXÕES CLIMÁTICAS ENTRE O RIO GRANDE DO SUL E O MAR DE WEDDELL

*Francisco Eliseu Aquino<sup>1,2</sup>, Alberto Setzer<sup>2</sup>, Jefferson Cardia Simões<sup>1</sup>*

**RESUMO.** Foi monitorada a advecção de massas de ar frio na baixa troposfera provenientes do mar de Weddell, a leste da Península Antártica, que atingiram o sul do Brasil nos anos de 2004 e 2005. Eventos com totalizando pelo menos sete dias em um mês, implicaram em anomalias de até -2,0°C na temperatura média mensal no Rio Grande do Sul (RS); por outro lado, a diminuição desta circulação resultou em anomalias positivas mensais de até +3,5°C. A precipitação no RS não apresentou uma relação direta com esta advecção. Uma climatologia para 1970-2005 com dados do NCEP/NCAR e do ECMWF/ERA-40 permitiu identificar o mesmo tipo de fluxo meridional neste período de 35 anos, caracterizando-se um importante “corredor” climático entre a Antártica e o sudeste da América do Sul; esta advecção, apesar de aparentemente não estar ainda descrita na literatura, tem impacto significativo nas anomalias mensais de temperatura no sul do Brasil. Nota-se também que eventuais aquecimentos regionais no sul do Brasil podem resultar de mudanças no padrão de circulação troposférica, e não por simples aquecimento da atmosfera.

**ABSTRACT.** This paper studied the advection of cold air masses in the lower troposphere that originated in the Weddell Sea, east of the Antarctic Peninsula, and which reached south Brazil in the years of 2004 and 2005. Events with adding up to at least seven days in one month resulted in anomalies of up to -2.0°C in the average monthly air temperature in the state of Rio Grande do Sul (RS); the reduction of this circulation pattern caused positive monthly anomalies of up to +3.5°C. Precipitation in RS presented no direct relation with the advection of cold air. A climatology built for 1970-2005 using the NCEP/NCAR and ECMWF/ERA-40 databases allowed the identification of the same type of meridional flow during this 35-year period, establishing a climatic “corridor” between Antarctica and southeast South America; this advection, apparently not yet described in the literature, has a significant impact in the monthly anomalies of south Brazil. We also note that incidental regional warming in south Brazil can result from changes in the pattern of the tropospheric circulation, and not from a supposed atmospheric warming.

**Palavras-Chave:** Antártica, Massas de ar, Rio Grande do Sul.

## INTRODUÇÃO

As regiões polares possuem papel importante no sistema climático da Terra, e a Antártica, com seus 14 milhões de km<sup>2</sup>, tem um papel destacado no Hemisfério Sul. A região continental da Antártica possui uma variabilidade climática anual e inter-anual maior do que as regiões de baixa e média latitude. Esta variabilidade se deve não só à alta latitude e ao balanço de radiação com contrastes sazonais extremos, entre outros, mas principalmente às complexas interações entre a

---

<sup>1</sup> Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas – NUPAC ([www.ufrgs.br/antartica](http://www.ufrgs.br/antartica)), Departamento de Geografia, e Programa de Pós-Graduação em Geociências – PPGGEO, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500 – Cep 91501-970 – Porto Alegre – RS, Brasil. Fone: 55 51 3316-6351, E-mail: [francisco.aquino@ufrgs.br](mailto:francisco.aquino@ufrgs.br); [jefferson.simoese@ufrgs.br](mailto:jefferson.simoese@ufrgs.br)

<sup>2</sup> Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE ([www.cptec.inpe.br/antartica](http://www.cptec.inpe.br/antartica)). Caixa Postal 515 – Cep 12.245-970 – São José dos Campos – SP, Brasil. Fone: 55 12 3945-6652, E-mail: [asetzer@cptec.inpe.br](mailto:asetzer@cptec.inpe.br); [feaquino@cptec.inpe.br](mailto:feaquino@cptec.inpe.br)

Atmosfera, Oceano e Criosfera. A tendência de aquecimento da temperatura média global possui destaque principalmente quando se observa o registro de até +3,0°C nos últimos 50 anos na costa oeste da Península Antártica (PA), tornando esta região uma das que possui tendência de aquecimento mais acentuada até o momento no Planeta (WMO, 2005).

Esse trabalho teve por objetivo descrever o comportamento da temperatura média mensal do ar (TMM) e da precipitação no Estado do Rio Grande do Sul (RS) nos anos de 2004 e 2005, e sua relação com a circulação de massas de ar “polar” marítima proveniente da região Antártica e sub-Antártica, e em particular do mar de Weddell. Este fenômeno aparentemente não está descrito na literatura, e classicamente considera-se nas quedas de temperatura do RS apenas a influencia de massas de ar provenientes do mar de Bellingshausen, a oeste da Península Antártica, ou então as frentes que entram pelo sudeste do Pacífico Sul. Adicionalmente, investigou-se o padrão geral desta advecção de Weddell no período de 1970 a 2005.

## **DADOS E METODOLOGIA**

Para a comparação e análise do comportamento da TMM e da precipitação no RS, utilizou-se médias mensais de temperatura do ar de 1961 a 1990 de 30 estações de superfície e os totais mensais de precipitação entre 1976 e 2005 de 36 estações. Ambas as séries pertencem à FEPAGRO (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Estado do RS) e ao INMET – 8º DISME (Instituto Nacional de Meteorologia – 8º Distrito de Meteorologia), e estão regionalmente distribuídas no RS. Os campos diários e de anomalias mensais de vento e temperatura em 925 hPa entre o Mar de Weddell e o RS em 2004 e 2005 foram obtidos das “*Reanalysis*” disponíveis no NOAA-CIRES-CDC NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996).

Para a análise de 35 anos, de 1970 a 2005, definiu-se uma região para indicar o efeito da circulação meridional entre o mar de Weddell e o sul do Brasil na TMM, optando-se pelo setor sul da costa brasileira (CSB), de 30°S a 32,5°S, e de 50°W a 52°W (Figura 4a). As anomalias de TMM selecionadas foram aquelas nas quais a média mensal foi inferior a 18°C no verão e a 10°C no inverno. Estes limites de temperatura foram escolhidos por definirem meses com marcada queda na temperatura média. Para confirmação do efeito da advecção de massas de ar provenientes do mar de Weddell na temperatura do ar no CSB, compararam-se os valores das anomalias negativas da TMM com a anomalia média mensal do vento meridional entre 40°S e 65°S e de 30°W a 55°W.

Posteriormente, comparou-se os resultados da TMM e circulação meridional (NCEP/NACR) com a climatologia dos campos mensais de anomalia de vento e temperatura do ar em 925 hPa entre o Mar de Weddell e o RS, entre 1975 e 2002, com dados disponíveis no Centro Europeu de Previsão de Tempo de Médio Prazo (ECMWF) ERA-40.

No preparo dos gráficos, tabelas e nos cálculos, foi utilizado o aplicativo Microsoft Excel 2000, enquanto que com o aplicativo Surfer 7.0 elaboraram-se os mapas das estações, de precipitação total anual e dos desvios sazonal e anual, aplicando-se o método “Kriging” de interpolação. Os campos mensais de anomalia de vento e temperatura em 925 hPa foram elaborados com o aplicativo GrADS 1.9b4.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que no ano de 2004 foram registrados seis meses com desvios negativos de temperatura média, *e.g.*  $-1,6^{\circ}\text{C}$  em maio (Figuras 1a e 1b), que só não tornaram todo o ano frio na média, devido aos fortes desvios positivos de temperatura, *e.g.*  $+2,4^{\circ}\text{C}$  em abril (Figuras 2a e 2b), em outros seis meses deste ano (Aquino et al., 2006). O ano de 2005 destacou-se como quente, com  $+0,5^{\circ}\text{C}$  acima da climatologia, tendo tido sete meses de temperatura acima da média, *e.g.*  $+3,5^{\circ}\text{C}$  em junho, e cinco meses com temperatura abaixo da média, *e.g.*  $-2^{\circ}\text{C}$  em setembro (Viana et al., 2006).

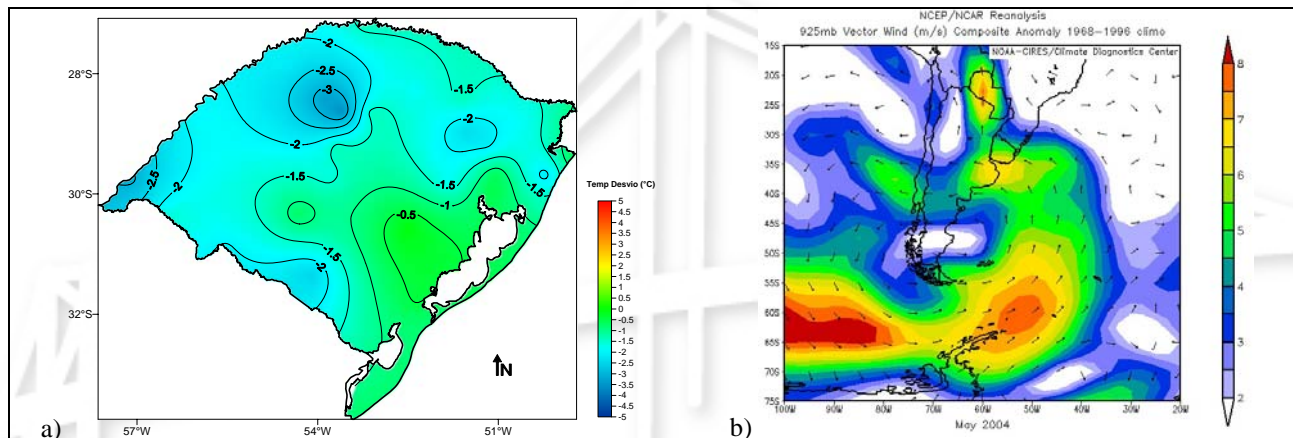


Figura 1: Desvios negativos da temperatura média do mês de Maio/2004 no RS (a); e o campo de anomalia do vetor vento (m/s) em 925 hPa, destacando a circulação meridional sul-norte a partir do mar de Weddell e PA até o RS (b).

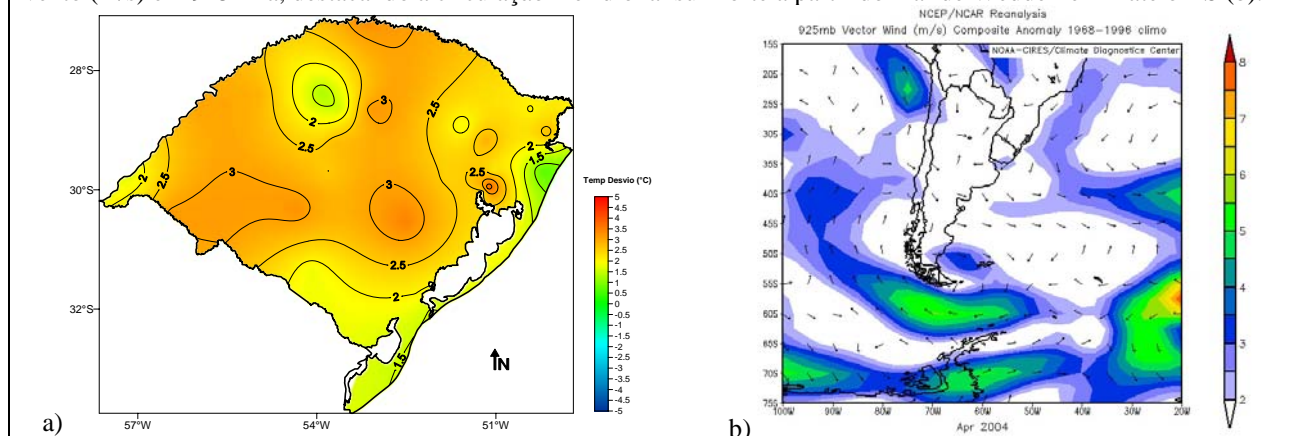


Figura 2: Desvios positivos da temperatura média do mês de Abril/2004 no RS (a); e o campo de anomalia do vetor vento (m/s) em 925 hPa, destacando a circulação meridional norte-sul a partir do anticiclone de Santa Helena e do centro da América do Sul até o RS (b).

Analisando o comportamento médio do vento em 925 hPa entre  $30^{\circ}\text{W}$  e  $80^{\circ}\text{W}$  e  $20^{\circ}\text{S}$  e  $65^{\circ}\text{S}$ , constatou-se que os meses frios tiveram marcada influência da circulação meridional de sul para

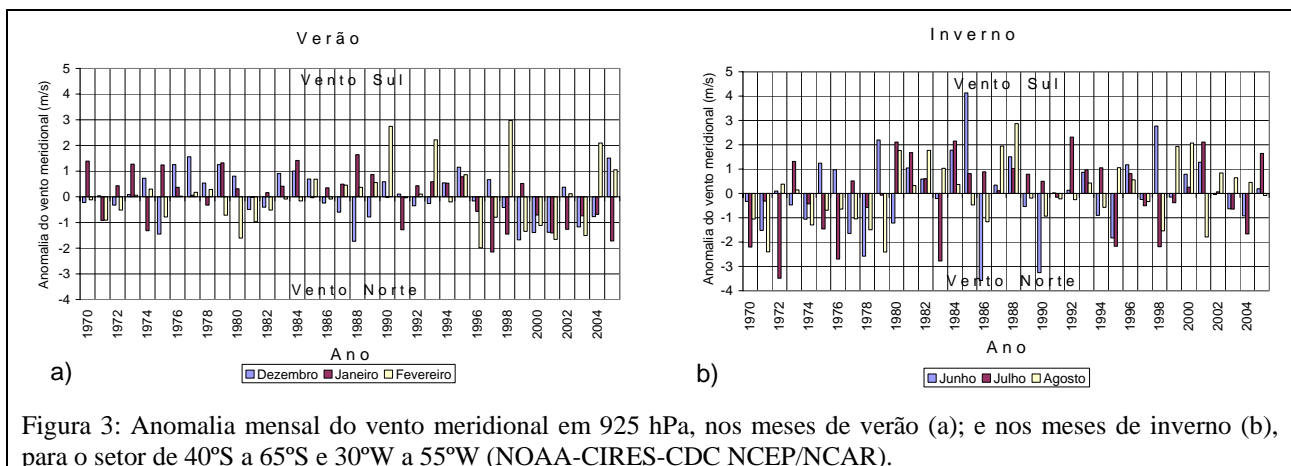
norte, principalmente entre o mar de Weddell e o RS. Nos meses de anomalias positivas de temperatura, esta circulação não ocorreu ou foi escassa. No que se refere à precipitação, em 2004 registrou-se a maior estiagem no RS desde 1978. Evidenciou-se em 2005 a fraca atuação da circulação meridional entre a região sub-Antártica e o RS, inclusive nos meses de inverno. A estiagem de 2004 prolongou-se até março de 2005, quando esta situação se reverteu, com as precipitações ficando pouco acima da média no outono, inverno e primavera.

Os resultados e evidências apresentados nas figuras 1a, 1b, 2a, e 2b, nos motivaram a elaborar uma climatologia das anomalias de TMM (Tabela 1) para um período maior e recente, de 1970 a 2005, e principalmente para os meses de verão (D,J,F) e inverno (J,J,A), já que estes meses foram os que apresentaram um marcado sinal de queda na temperatura quando analisados os valores de temperatura média mensal do ar para o setor da CSB.

Tabela 1: Anomalias de TMM selecionadas na região da CSB entre 1970 e 2005, quando a média mensal da temperatura do ar foi inferior a 18°C no verão (itálico) e 10°C no inverno (itálico).

Meses Verão	Anos com circulação predominante de S→N	Meses Inverno	Anos com circulação predominante de S→N
Dezembro	<i>1972, 1974, 1981, 1984, 1987, 1990, 1992, 1993, 1998, 1999, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005</i>	Junho	<i>1971, 1974, 1983, 1988, 1996</i>
Janeiro	<i>1979, 1982, 1994, 1999</i>	Julho	<i>1988, 1989, 1990, 1992, 1996, 2000</i>
Fevereiro	<i>1988, 1995, 1998, 2002, 2004, 2005</i>	Agosto	<i>1973, 1984</i>

Com os resultados obtidos na Tabela 1, explorou-se o comportamento do vento meridional entre o mar de Weddell e o setor oeste do Oceano Atlântico Sul, entre 40°S e 65°S, e entre 30°W e 55°W. Constatou-se que a região acima atua como um “corredor” preferencial para esta circulação entre a região sub-Antártica e a CSB. Nesta fase evidenciou-se que os meses de verão e inverno apresentaram variação significativa com a circulação meridional de sul para norte (Figuras 3a e 3b), implicando na queda na TMM na CSB, e quando esta circulação foi escassa registraram-se anomalias positivas de temperatura no sul do Brasil.





Ao compararmos os mapas dos campos de anomalias mensais da circulação meridional provenientes do NCEP/NACR com os do ERA-40, observamos que os resultados são os mesmos. Desta maneira, destacam-se os meses de janeiro/1979 e julho/2000 como exemplos destes campos de anomalias (Figuras 4a, 4b, 5a e 5b), onde a TMM teve anomalias de até  $-3,0^{\circ}\text{C}$ . É importante mencionar que foram registrados sete dias com circulação meridional de sul para norte para ambos os meses. O número de dias com circulação sul-norte afetando a TMM varia entre cinco e dez dias ao mês, e não necessariamente em um único evento, enfatizando-se que o efeito de queda na temperatura também depende da intensidade da massa de ar advectada.

Cabe salientar que não é direta a relação entre a circulação meridional e a precipitação no RS, e ressalta-se que durante os meses de inverno predomina a precipitação do tipo frontal no RS e que, portanto esta contribui com 24% da precipitação anual. A relação entre a TMM e a circulação meridional sul-norte do mar de Weddell para o RS parece ser efetiva para o período analisado (1970-2005).

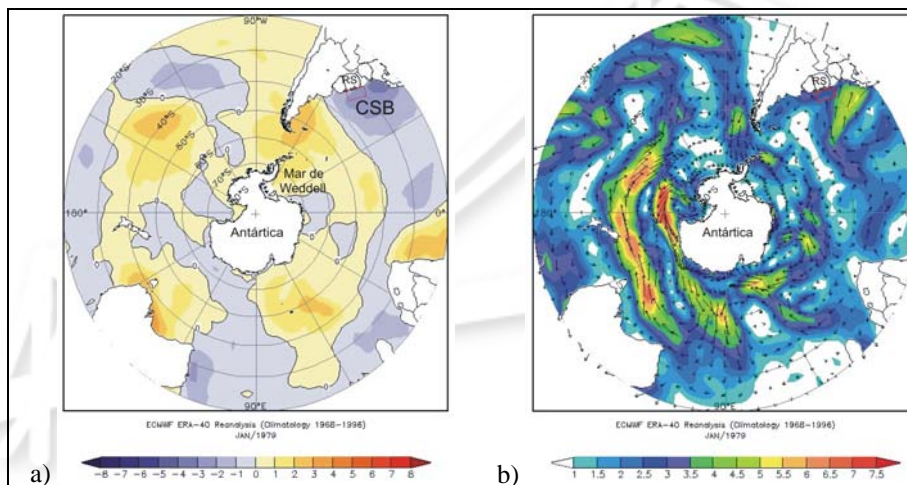


Figura 4: Desvios negativos da temperatura média do mês de janeiro/1979 na CSB (a); e o campo de anomalia do vetor vento (m/s) em 925 hPa neste mês, destacando-se a circulação meridional de sul para norte a partir do mar de Weddell e da PA até a CSB (b).

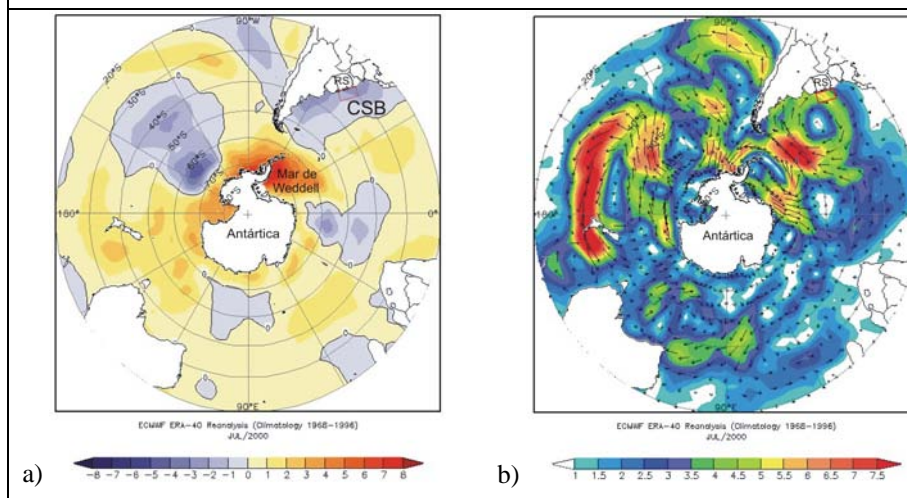


Figura 5: Desvios negativos da temperatura média do mês de Julho/2000 na CSB (a); e o campo de anomalia do vetor vento (m/s) em 925 hPa neste mês, destacando-se a circulação meridional de norte para sul a partir do mar de Weddell e da PA até a CSB (b).

## CONCLUSÕES

A análise do comportamento do vento meridional em 925 hPa nos anos de 2004 e 2005 e entre 1970 e 2005 com a climatologia da temperatura do RS e do setor sul da costa brasileira

permitiu explicar as destacadas anomalias positivas e negativas na temperatura média mensal do ar. Observou-se claramente que quando havia circulação de sul para norte, do mar de Weddell para o sul do Brasil, registrou-se anomalia negativa na temperatura média mensal de até  $-3,0^{\circ}\text{C}$ . Quando houve redução nesta circulação e/ou inversão no sentido, ocorreram anomalias positivas de até  $3,5^{\circ}\text{C}$ . O número de dias com circulação de sul para norte capaz de impor queda na temperatura média mensal esteve entre sete e dez dias.

Aparentemente, não houve relação direta entre a circulação meridional de sul para norte a partir das latitudes sub-antárticas com as anomalias de precipitação, mesmo durante o inverno, quando há freqüente passagem de sistemas frontais no RS.

Com este trabalho também foi possível observar que mudanças e tendências nas séries temporais de temperatura média mensal e anual podem ser o resultado de variações na advecção e circulação de massas de ar originadas a milhares de quilômetros distantes e não necessariamente de um aquecimento regional. A invasão de massas de ar da região sub-Antártica pode causar em poucos dias queda significativa na temperatura média mensal na costa sul do Brasil.

### **AGRADECIMENTOS**

Ao CNPq (300788/2005-3 GL/SWP), REDE I/CNPq (Processo Institucional 55.0363/02-5), INPE/CPTEC, NUPAC/UFRGS, PPGGEO/UFRGS FEPAGRO, 8° DISME – INMET, ao acadêmico Denílson Ribeiro Viana e ao colega Marcelo Romão (Projeto de Meteorologia Antártica – CPTEC/INPE).

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AQUINO, F.E.; SETZER, A.; VIANA, D.R.; ROMÃO, M. 2006. O quadro climático no Rio Grande do Sul em 2004 e 2005 e sua possível relação com a Antártica. **A Pesquisa Sul-Riograndense na Antártica**. Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Escritório Regional da Academia Brasileira de Ciências/ABC, 23/maio/2006. Disponível em <<http://www.ufrgs.br/antartica>>. Acesso em 15 de setembro de 2006.

KALNAY, E. e Co-autores. 1996. The NCEP/NCAR Reanalysis 40-Years Project. **Bulletin of American Meteorological Society**, 77, p.437-431.

VIANA, D. R.; MATZENAUER, R.; AQUINO, F. E. 2006: Desvios de Temperatura Média no Estado do Rio Grande do Sul em 2005. In: Encontro Sul-Brasileiro de Meteorologia, 1; Jornada de Palestras dos Estudantes de Meteorologia – UFPEL, 3, 2006. **Anais**. Pelotas, RS: Universidade Federal de Pelotas – UFPEL. CD-ROM.

WMO, 2005: World Meteorological Organization. Statement on the status of the global climate in 2005. WMO-No. 743, 15 de dezembro de 2005. Disponível em <[http://www.wmo.ch/news/news\\_dec2005.html](http://www.wmo.ch/news/news_dec2005.html)>. Acesso em 15/setembro/2006.