

AGRADECIMENTOS

Este projeto foi desenvolvido com auxílio da CIRM/PROANTAR, subprojeto no. 9618.

REFERÊNCIAS

- Ackley S.F., A review of sea-ice weather relationships in the Southern Hemisphere, Sea Level, Ice and Climatic Change, *Proceedings of the Canberra Symposium*, December 1979. IAHS Publ.no. 131, 1979.
- Hastenrath S., L. Heller, Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil, *Quart. Met. Soc.*, 103, 435, 77-92, 1977.
- Lettau, H., Antarctic atmosphere as a test tube for meteorological theories, *Research in the Antarctic*, AAAS, Washington, DC., 443-475, 1971.
- Ley W., Os pólos, Life-José Olympio, 9-16, 1982.
- Mitchell J.F.B., and T.S. Hills, Sea-ice and the Antarctic winter circulation: A numerical experiment, *Quart. J.R. Met. Soc.*, 112, 953-969, 1986.
- Peng G., and M. Domros, Connections of the west Pacific Subtropical High and some Hydroclimatic Regimes in China with Antarctic Ice-Snow Indices, *Meteorol. Atmos. Phys.*, 37, 61-71, 1987.
- Simmonds I., The effect of sea ice on a general circulation model of the Southern Hemisphere, Sea Level, Ice, and Climatic Change, *Proceedings of the Canberra Symposium*, December 1979, IAHS publ. no. 131, 1979.
- The Polar Group (edited by Baker D.J., Polar Atmosphere-Ice-Ocean Processes: A review of Polar Problems in Climate Research, *Reviews of Geophysics and Space Physics* vol. 18, no. 2, 525-543, 1980.
- Weller G., Spatial and Temporal Variations in the South Polar Surface Energy Balance, *Mon. Wea. Rev.*, 106, 2006-2014, 1980.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS DE CHUVA NA ESTAÇÃO COMANDANTE FERRAZ - ANTÁRTICA

LYCIA M.M.-NORDEMANN, MARIA C. FORTI e ALBERTO W. SETZER
 Instituto de Pesquisas Espaciais
 C.P. 515, 12201 São José dos Campos, SP, Brasil

ABSTRACT

Rain water samples were collected at Com. Ferraz Station, King George Island, Antarctic Peninsula during 1985, 1986 and 1977 summers. Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} and NO_3^- contents were determined in these samples, and pH values were also measured. The results showed a large range variation of ion contents, and the strong marine influence in the chemical composition of the rain. Meteorological conditions found during event precipitations also interfered in that composition. NO concentrations exhibit an anomalous behavior and were not correlated with SO variations. It was observed that rain water in Antarctic Peninsula was slightly acid.

RESUMO

Coletas de amostras de águas de chuva foram efetuadas em 3 verões consecutivos na Ilha de Rei George (Estação Comandante Ferraz) no norte da Península Antártica. Na, Mg, Cl, SO e NO foram analisados nestas amostras, sendo também determinados os valores de pH. As concentrações iônicas sofrem grande variação, e refletem uma predominante influência marinha. Apenas o NO apresenta comportamento anômalo, e não síncrono com o SO. As condições meteorológicas vigentes no período do evento têm também influência decisiva na composição química da precipitação. Observou-se também que as chuvas da Península Antártica estão ligeiramente ácidas.

INTRODUÇÃO

A crescente injeção de poluentes na atmosfera devido às atividades de caráter antropogênico e a decorrente mudança na composição química da mesma tem estimulado estudos científicos sobre gases, material em suspensão no ar (aerossóis) e águas de chuva, principalmente em regiões remotas do globo (Galloway et al., 1982; Galloway e Gaudry, 1984; Keene et al., 1986). A Antártica, um continente de 14×10^6 km² coberto de gelo e neve, é uma região remota que pode, em princípio, fornecer dados sobre a composição química da atmosfera isentos de efeitos antropogênicos, sobretudo devido à sua distância de fontes poluidoras, e porque apenas algumas bases existem em seu território, não chegando a comprometer o meio ambiente natural. Estas condições conduziram à produção de vários estudos sobre aerossóis e química das neves (Nugyen et al., 1974; Hogan e Barnard, 1978; Maenhaut e Zoller, 1979; Ono et al., 1981; Boutron e Lorius, 1979; Boutron, 1980; Delmas et al., 1982 entre outros).

Estudos efetuados em testemunhos de sondagem de gelo correlacionam a composição de neve com as condições atmosféricas no momento da precipitação (Lorius et al., 1985; Legrand e Delmas, 1984). Estes trabalhos demonstram que havia excesso de Cl⁻

na neve, e que valores máximos de SO₄²⁻ e NO₃⁻ foram observados durante o verão, embora o comportamento destes íons não seja síncrono. Excessos de SO₄²⁻ e NO₃⁻ (Delmas et al., 1982) nas neves da Antártica foram atribuídos a fontes marinhas e também a erupções vulcânicas. Porém, segundo Boutron e Leclerc, (1984) a concentração de 22 elementos e compostos determinadas em um bloco de gelo antigo de 1200 anos são similares às concentrações obtidas em precipitações recentes, sugerindo que o Pólo Sul não tem sofrido maiores consequências devido à moderna poluição observada em outras regiões do globo.

É importante observar que o primeiro passo para que se alcance o conhecimento da química da neve continental é o estudo da precipitação na costa marítima (Delmas et al., 1982). Por outro lado, o conhecimento exato da contribuição marinha, não só a nível de continente como também a nível de atmosfera global, concorre para que melhor se possa diagnosticar a composição química da atmosfera de modo preciso. É necessário também salientar que dados de precipitação pluvial da Antártica são extremamente escassos.

Neste trabalho são apresentados os resultados da composição química de 45 amostras de chuva coletadas na Estação Antártica Comandante Ferraz, situada na Ilha Rei George, um ambiente, portanto,

essencialmente marinho. As coletas foram efetuadas em três campanhas sucessivas, durante três verões consecutivos. Os resultados apresentados são discutidos em função das condições atmosféricas locais, e comparados com outros obtidos por diversos autores em outras regiões marinhas do globo.

MÉTODOS

O Continente Antártico cobre latitudes de 90°S a 60°S , em todas as longitudes, e apresenta características meteorológicas variadas. No caso da precipitação, encontra-se desde feições típicas de desertos, como no planalto central, até regiões com médias da ordem de 500 mm/ano como é registrado ao norte da Península Antártica (Schwedtfeger, 1984). O estudo da precipitação líquida é, pois, possível na Península, o que é o caso da Estação Comandante Ferraz - ECF ($62^{\circ}05'\text{S}$, $58^{\circ}23'\text{W}$). A temperatura média anual é $-2,5^{\circ}\text{C}$, mas, de dezembro a março são registradas temperaturas superiores a 0°C , alcançando $+1,5^{\circ}\text{C}$ em fevereiro (Schwerdtgefer, 1984). Deste modo, durante pelo menos 4 meses por ano as temperaturas vigentes favorecem a precipitação líquida, as quais estão geralmente associadas a massas de ar úmidas e mais quentes.

Durante o período em que foram realizadas as coletas de amostras cujos resultados são apresentados neste trabalho, meses de janeiro e fevereiro de 1985, 1986 e 1987, as pluviometrias totais obtidas foram 33 mm, 81 mm e 69 mm, respectivamente. Porém, é necessário considerar que as chuvas na ECF geralmente são originadas de sistemas frontais frios associados a centros de baixa pressão, com ventos fortes, freqüentemente superiores a 40 nós, o que introduz erros nas medidas de pluviometria. Tempestades são freqüentes e observa-se grande variação tanto na velocidade quanto na direção dos ventos, em intervalos de tempo extremamente curtos. Uma estação meteorológica situada no local de coleta forneceu dados sobre precipitação, ventos e temperatura.

O coletor de chuva utilizado foi uma semi-esfera de acrílico de $0,23\text{ m}^2$ de superfície e protegida por uma tela de nylon. Um cabo de polietileno ligava a cuba a uma garrafa também de polietileno, que era trocada após cada evento. A cuba estava colocada num tripé e a uma altura de 1,20 m do solo. O sistema colocado a aproximadamente 40 m acima do nível do mar e a 80 m da praia. Antes de cada coleta todo o sistema era lavado com água destilada. "Branços" da tela e garrafa coletoras foram efetuados em laboratório, mas não foram

obtidas amostras em duplicata. Não foram encontrados indícios de contaminação nas análises dos "brancos".

As coletas foram realizadas por eventos, isto é, coletando-se o total precipitado a cada chuva. Uma alíquota de amostra era separada para medida de pH, efetuada imediatamente após a coleta, e uma outra alíquota de 1 litro era estocada a 2°C em refrigerador, ao abrigo da luz, até serem transportadas ao laboratório para serem analisadas. É necessário salientar que o número de coleta utilizado era o único disponível, não havendo possibilidade financeira para compra de um coletor automático para coletar unicamente a precipitação úmida. Neste caso, as amostras coletadas representam a deposição total, isto é, a deposição seca e úmida de cada evento correspondente a um tempo inferior ou igual a 24 horas, pois o coletor era lavado imediatamente após cada evento e também diariamente, mesmo na ausência de precipitação. Foram coletadas no total 65 amostras, no entanto, 20 foram desconsideradas sempre que o coletor ficou exposto mais de 24 horas, ou quando havia presença de neve na precipitação líquida, ou quando não havia registro de dados meteorológicos.

O Na e o Mg foram medidos por espectrometria de absorção atômica (Varian, modelo AA 1475). O SO_4^{2-} ,

NO_3^- e Cl^- foram medidos por cromatografia dos íons (Dionex modelo 2010i). Os dados apresentam precisão de $\pm 10\%$.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Concentrações Iônicas: Neste trabalho apenas são consideradas médias ponderadas, onde o teor de cada íon obtido na amostra é ponderado com o respectivo volume da precipitação, pois é este valor que, quando multiplicado pela precipitação total anual conduz a uma estimativa correta da real quantidade do elemento que está sendo precipitado. Os desvios médios também são ponderados e pode-se observar que eles são bastante elevados, o que pode ser explicado pelo altíssimo intervalo entre os valores extremos (máximos e mínimos). A média ponderada contribui inclusive para atenuar este efeito causado por estes extremos que são inerentes à própria chuva.

As 45 amostras obtidas foram selecionadas e analisadas em função das condições vigentes de velocidade e direção de ventos, registradas durante as 24 horas que precederam cada evento de chuva, permitindo, assim, a obtenção de 4 conjuntos de resultados, todos apresentados na Tabela 1.

TABELA 1

TEORES MÉDIO PONDERADOS (EM mg/l) DOS ÍONS NAS
ÁGUAS DE CHUVA DA ESTAÇÃO COMANDANTE FERAZ -
ANTÁRTICA

		NÚMERO DE AMOSTRAS	Na ⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	pH
Conjunto 1	Média Ponderada	45	62,23 (196)	9,38 (25)	137,17 (450)	15,75 (45)	6,71 (2)	5,06 (0,53)
	0 ≤ V ≤ 89 nós		314	39,00	708	66,56	15,50	6,02
	todas as direções	Mínimo		0,22	0,08	0,53	0,14	0
Conjunto 2	Média Ponderada	30	12,08 (11)	1,63 (1,7)	24,85 (24)	3,33 (3)	3,71 (3)	5,33 (0,06)
	0 ≤ V ≤ 25 nós		75,50	10,00	169	23,13	23,4	5,99
	todas as direções	Mínimo		0,22	0,08	0,53	0,14	0
Conjunto 3	Média Ponderada	11	8,11 (7,7)	1,07 (0,93)	16,08 (14,6)	2,4 (2,55)	0,67 (0,71)	5,00 (0,3)
	0 ≤ V ≤ 25 nós		31,2	4,40	62	6,96	2,50	5,40
	direção N-NW excluída	Mínimo		0,22	0,19	0,53	0,14	0,01
Conjunto 4	Média Ponderada	19	14,57 (13)	2,00 (1,8)	30,46 (29)	4,40 (4)	6,17 (7)	5,92 (0,06)
	0 ≤ V ≤ 25 nós		64	10,00	169	23,13	23,4	5,92
	apenas N-NW	Mínimo		1,70	0,25	3,90	0,62	0

O 1º conjunto representa os teores médios ponderados de todas as 45 amostras obtidas, considerando-se todas as direções e velocidades de vento (entre 0 e 89 nós). Os outros 3 conjuntos foram obtidos considerando-se apenas amostras coletadas em que não foram registradas velocidades de vento superiores a 25 nós nas 24 horas que precederam o evento, mas foram separadas em função da direção dos ventos. Infelizmente, 25 nós é ainda uma velocidade de vento elevada, porém, nas condições da Antártica, a obtenção de um número de amostras representativo, com velocidade de ventos mais baixas, necessitaria de um período muito longo de coleta, o que obviamente torna-se impraticável.

Segundo os resultados fornecidos na Tabela 1, observa-se que as concentrações iônicas médias ponderadas obtidas em regime de ventos de altas velocidades, de até 89 nós (~45 m/s), são bastante elevadas, devido sem dúvida à contribuição do sal marinho e mais especificamente do aumento de partículas grossas na componente marinha. Está demonstrado que ventos superiores a 5 m/s são responsáveis pelo incremento de sais marinhos na atmosfera (Woodcock, 1953) e que mesmo que partículas grossas representem apenas uma pequena fração da massa de sal marinho sobre os oceanos, elas dominam a taxa de deposição do aerossol marinho (McDonald et

al., 1982). Também Iwai et al., (1981) demonstraram que concentrações de partículas grossas e gigantes aumentam consideravelmente durante tempestades na Antártica, e que estas partículas são essencialmente sal marinho. Wilkniss e Bressan (1972) estudaram a composição do aerosol marinho em amostras coletadas sobre vários oceanos, com velocidades de vento variando entre 5 e 20 nós, demonstrando que a quantidade de sais é superior à quantidade de partículas de um fator que varia de 3 a 770 vezes, nas amostras obtidas. Por outro lado sabe-se que o material particulado na atmosfera da Antártica (Hogan e Barnard, 1978; Artaxo et al., 1987) apresenta teores muito baixos, podendo-se, portanto, admitir que o efeito da deposição seca não é responsável pelos altos teores iônicos obtidos nas águas de chuva.

O 2º conjunto de resultados apresentados na Tabela 1 foi obtido selecionando-se 30 amostras coletadas com ventos provenientes de todas as direções, mas com velocidades de até 25 nós (12,5 m/s). Observa-se que os teores médios ponderados obtidos são 5 vezes inferiores aos determinados anteriormente (1º conjunto) para o Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- e SO_4^{2-} , sendo que no caso de NO_3^- esta redução é de apenas metade. Embora a presença de partículas grandes de sal marinho deva ser ainda elevada, houve certa-

mente um decréscimo significativo, sobretudo no que se refere aos íons abundantemente encontrados em solução na água do mar (Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} e SO_4^{2-}). O comportamento anômalo do NO_3^- , cujo teor sofreu um decréscimo inferior ao constatado para os outros íons, fica ainda mais evidenciado quando se analisa o 3º conjunto de resultados apresentados e que será discutido posteriormente.

Os teores médios de Na^+ e SO_4^{2-} obtidos para o 2º conjunto de resultados apresentados na Tabela 1, concordam absolutamente com os valores detectados anteriormente em chuvas coletadas sobre o Oceano Atlântico, assim como em outros oceanos, por diversos autores (veja Varhely e Gravenhost, 1983. Também Parungo et al., 1986) determinaram teores de Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} e NO_3^- em chuvas coletadas sobre o Oceano Atlântico, que são equivalentes aos teores médios obtidos neste 2º conjunto de resultados. Altas concentrações iônicas, de um modo geral, são típicas de ambientes marinhos, devido à contribuição oceânica, e têm sido observadas nestes ambientes em várias partes do globo por diferentes autores.

O 2º conjunto de resultados apresentados na Tabela 1 pode ser considerado como representativo da composição química das águas de chuva da Península Antártica, admitindo-se que precipitações

oriundas de todas as direções, assim como velocidades de vento características da região ali estão representadas.

O 3º conjunto de resultados da Tabela 1 foi obtido selecionando-se 11 amostras ($v \leq 25$ nós) obtidas sob regime de ventos provenientes de todas as direções excluindo-se apenas a direção N-NW. Já no 4º conjunto foram consideradas apenas as 19 amostras cujos ventos provinham da direção N-NW. A razão determinante para tal procedimento é que observou-se que dentre as 45 amostras totais aqui apresentadas, 15 foram coletadas sob tempestade, sendo que 13 destas eram provenientes de N-NW. Constatou-se também que chuvas coletadas com regime de ventos provenientes de N-NW apresentavam sempre concentrações mais elevadas, sobretudo em NO_3^- .

Comparando-se os teores obtidos para cada um dos íons nos últimos 3 conjuntos de resultados apresentados na Tabela 1, observa-se que a frequência de eventos N-NW predomina e, em consequência, determina de modo significativo, com seus altos teores iônicos, a composição química das águas de chuva na Península Antártica. Também é fácil verificar que a presença de NO_3^- nas águas de chuva desta região é devido essencialmente à contribuição de precipitações oriundas de N-NW, e que o comportamento do NO_3^- e do SO_4^{2-} não são síncronos, o

que é confirmado através das diferentes razões $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ determinadas para 4 conjuntos estudados, conforme será discutido posteriormente. A observação detalhada e individual do teor de NO_3^- para cada uma das amostras obtidas, evidenciou que sempre que foram obtidas altas concentrações de NO_3^- as condições meteorológicas correspondentes ao período dos eventos eram semelhantes: tropopausa relativamente baixa em torno de 7000 m, nível de congelamento mais frequentemente em torno de 500 m de altitude, situação atmosférica anômala caracterizada por ventos de altitude fracos, exceto até 7000 m aproximadamente, direção N-NW, sempre associados a frentes frias, ausência de corrente de jato e com entradas de ar em superfície vindas do continente sul-americano.

Por outro lado foram efetuados 5 perfis de NO_3^- nas águas do mar da Estação Comandante Ferraz (Brandini, 1989), com medidas a diferentes profundidades, variando desde a superfície até 50 m, em diferentes períodos (Dez/88 a Jan/89) e verificou-se que os teores de NO_3^- obtidos variavam entre 16 e 24 μMol (0,99-1,49 mg/l) para as diferentes datas, porém os valores encontrados para cada um dos perfis obtidos se mantinham praticamente constantes ao longo do perfil: as concentrações de NO_3^- nas águas oceânicas da região varia-

vam com o tempo, porém os valores determinados na superfície se mantiveram constantes até 50 m de profundidade em todos os 5 perfis realizados. Na Antártica (Holm-Hansen, 1985) a instabilidade da coluna de água tende a minimizar gradientes de concentração em relação à profundidade. Assim sendo, é pouco provável que as altas concentrações de NO_3^- determinadas nas águas de chuva da Península Antártica sejam provenientes apenas do oceano, mesmo de águas mais profundas, sobretudo se considerarmos que os teores de NO_3^- (0.99-1.49 mg/l) determinados nas águas oceânicas são muito inferiores aos obtidos nas águas de chuva. Teores igualmente baixos de NH_4^+ (Biggs et al., 1985) foram obtidos nas águas oceânicas da Antártica.

Deste modo, tendo em vista que os teores de NO_3^- nas águas oceânicas são muito inferiores aos obtidos nas águas pluviais, e considerando-se as condições meteorológicas anteriormente descritas, e que foram observadas quando precipitações com elevados teores de NO_3^- foram detectadas, pode-se admitir a hipótese de que o NO_3^- é trazido do continente através de massas de ar quente de lá oriundas, e que penetram na Antártica em condições bem definidas. Uma outra hipótese já assinalada anteriormente (Parker et al., 1982) é que a formação de NO_3^- poderia estar relacionada com a ativi-

dade solar, sendo produzida na alta troposfera ou estratosfera. Se assim for, é possível que as altas concentrações de NO_3^- observadas na Antártica sejam consequência de tal fenômeno. Qualquer uma destas hipóteses, se verificadas, explicariam inclusive o comportamento não síncrono de SO_4^{2-} e NO_3^- , que já foi constatado anteriormente na Antártica (Legrand e Delmas, 1984).

Razões Iônicas: A Tabela 2 apresenta as razões iônicas das médias ponderadas, a partir dos dados da Tabela 1. Também são apresentadas as razões iônicas encontradas naturalmente nas águas oceânicas, para comparação.

Observa-se que as razões Cl/Na são superiores às encontradas nas águas do mar, o que poderia ser interpretado como um excesso de Cl na atmosfera, proveniente de outra fonte que não o oceano. Este excesso de Cl já foi detectado anteriormente em neves e aerossóis da Antártica (Delmas et al., 1982; Wilkniss e Bressan, 1972), mas foi admitido que todo o Cl na atmosfera desta região é de origem natural (oceânica) e que o excesso encontrado é devido ao fracionamento deste elemento na interface oceano-atmosfera.

Por outro lado, a razão Mg/Na mantém-se bastante próxima da determinada nas águas do mar, considerando-se a incerteza das medidas, e permanece

TABELA 2

RAZÕES IÔNICAS DAS MÉDIAS PONDERADAS SEGUNDO DADOS DA TABELA 1. RAZÕES IÔNICAS ENCONTRADAS NAS ÁGUAS DO MAR (WILSON, 1975) DADAS PARA COMPARAÇÃO

	$\frac{\text{Cl}}{\text{Na}}$	$\frac{\text{Mg}}{\text{Na}}$	$\frac{\text{SO}_4^{2-}}{\text{Na}}$	$\frac{\text{SO}_4^{2-}}{\text{NO}_3^-}$
$0 \leq V \leq 89$ nós todas as direções	2.10	0.13	0.24	2.35
$0 \leq V \leq 25$ nós todas as direções	2.06	0.14	0.32	1.03
$0 \leq V \leq 25$ nós direção N-NW excluída	1.98	0.14	0.35	4.24
$0 \leq V \leq 25$ nós só direção N-NW	2.09	0.14	0.30	0.71
Água do mar	1.77	0.12	0.25	-

inalterada em todos os casos, o que era esperado, visto que este elemento não sofre fracionamento nem pode ser volatilizado como é o caso do Cl. De um

modo geral, pode-se admitir que a única fonte de Cl, Na e Mg na atmosfera da Antártica é o oceano.

A relação $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}$ reflete essencialmente a influência do sal marinho no 1º conjunto de resultados, e um excesso fica evidenciado nos 3 outros conjuntos. Este excesso já foi detectado anteriormente (Delmas e Boutron, 1978) em neves da Antártica e foi interpretado como de origem biogênica e/ou também proveniente de erupções vulcânicas, logo sendo também de origem natural.

Já a relação $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ varia muito nos 4 conjuntos de resultados, sem dúvida devido à variação dos diferentes teores de NO_3^- determinados em cada caso, como foi visto anteriormente. Esta variação evidencia ainda mais claramente o comportamento não síncrono de SO_4^{2-} e do NO_3^- .

A Tabela 1 apresenta também os valores de pH para os 4 conjuntos de resultados obtidos. São dadas as médias aritméticas, os desvios e os valores máximos e mínimos obtidos. Observa-se que o pH nas águas de chuva da Antártica se mantêm em torno de 5 em todos os casos, e geralmente mesmo superior a 5, e que o mínimo valor encontrado foi 4,04. Verifica-se também que chuvas mais ricas em NO_3^- (4º conjunto) não são necessariamente as mais ácidas.

Por outro lado é necessário admitir que as chuvas da Antártica estão ligeiramente ácidas, porém segundo os resultados iônicos obtidos, e discutidos anteriormente, pode-se admitir que esta acidez deve ser considerada como um processo natural e não devido a influências antropogênicas.

CONCLUSÕES

As águas de chuva da Península Antártica apresentam concentrações iônicas elevadas, e refletem essencialmente a composição das águas oceânicas para Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- e SO_4^{2-} , podendo-se admitir portanto, a origem essencialmente marinha destes íons na atmosfera da região.

O NO_3^- tem também como fonte o oceano, além de outra fonte, cuja origem foi discutida e algumas hipóteses apresentadas.

Os comportamentos do SO_4^{2-} e NO_3^- na precipitação são completamente distintos, não apresentando correlação nos teores obtidos para os conjuntos de resultados analisados.

Os teores iônicos obtidos nas águas de chuva são influenciados diretamente pelas condições meteorológicas vigentes no período do evento, sobretudo direção e velocidade dos ventos, que têm maior influência que a própria quantidade da precipita-

ção. Em particular, precipitações oriundas de N-NW com os seus elevados teores determinam a composição química das águas de chuva na região.

As chuvas da Península Antártica estão naturalmente ácidas.

REFERÊNCIAS

- Artaxo, P., A.W. Setzer, R.V. Grieken, and W. Maenhaut, Antarctic aerosol characterization using receptor modelling, *6th Int. Conf. on Chemistry for Protection of the Environment*, Torino, Sept. 1987.
- Biggs, D.C., A.F. Amos and O. Holm-Hansen, oceanographic Studies of Epi-Pelagic Ammonium Distributions: The Ross-Sea NH_4^+ Flux Experiment in: *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs.*, ed. by Liegfried and Condy, Springer-Verlag, Berlin, 1985.
- Boutron, C. and E. Lorius, Metals in Antarctic snows since 1914, *Nature*, 277, 551-554, 1979.
- Boutron, E., Respective influence of global pollution and volcanic eruption on the past variations of the trace metals content of Antarctic snow since 1880 s., *J. Geophys. Res.*, 85, 7426-7432, 1980.
- Brandini, F.P., Comunicação Pessoal.
- Delmas, R., M. Briat, and M. Legrand, Chemistry of south polar snow, *J. Geophys. Res.*, 87, 4314-4318, 1982.
- Delmas, R. and C. Boutron, Sulphate in Antarctic snow: spatio-temporal distribution, *Atm. Environ.*, 12, 723-728, 1978.
- Galloway, J.N., G.E. Likens, W.C. Keene, and J.M. Miller, The composition of precipitation in remote areas of the world, *J. Geophys. Res.*, 87, 8771-8786, 1982.

- Galloway, J.N. and A. Gaudry, The composition of precipitation on Amsterdam Island Ocean., *Atm. Environ.*, 18, 12, 2649-2656, 1984.
- Hogan, A.W. and S. Barnard, Seasonal and frontal variation in Antarctic aerosol concentration, *J. Appl. Meteor.*, 17, 1458-1465, 1978.
- Holm-Hansen, O., Nutrient cycles in Antarctic Marine Ecosystems, In: *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs.*, ed. by Siegfried e Condy, Springer-Verlag, Berlin, 6-10, 1985.
- Iwai, K., A. Ono, and T. Ito, On the composition and origin of large and giant particles observed at Syowa Station, Antarctica, *Proceed. 3rd Symp. on Polar Meteorology and Glaciology*, Tokyo, Oct. 1981.
- Keene, W.C., A.A.P. Pszenny, J.N. Galloway, and M.E. Hawley, Sea-salt corrections and interpretation of constituents ratios in marine precipitation, *J. Geophys. Res.*, 91, D6, 6647-6658, 1986.
- Legrand, M.R. and R.J. Delmas, The ionic balance of Antarctic snow, A 10-year detailed record, *Atm. Environ.*, 18, 1867-1874.
- Maenhaut, W. and W.H. Zoller, Determination of the chemical composition of the South Pole aerosol by instrumental neutron activation analysis, *J. Radioanal. Chem.*, 37, 637-650, 1977.
- McDonald, R.L., C.K. Unni, and R.A. Duce, Estimation of Atmospheric Sea Salt Dry Deposition: Wind Speed and Particle Size Dependence, *J. Geophys. Res.*, 87, C2, 1246-1250, Feb. 1982.
- Nguyen, B., B. Bonsang, and G. Lambert, The atmospheric concentration of surface dioxide and sulphate aerosols over Antarctic, subantarctic areas and oceans, *Tellus*, XXVI, 241-248, 1974.
- Ono, A., T. Ito, and K. Iwai, A note on the origin and nature of the Antarctic aerosol, *Mem. of Nat. Institute of Polar Research*, Special Issue nº 19, Tokyo, 141-151, 1981.
- Parker, B.C., E.D. Zeler, and A.J. Gow, Nitrate fluctuations in antarctic snow and firm: potential sources and mechanisms of formation, *Ann. Glaciol.*, 3, 243-248, 1982.
- Parungo, F.P., C.T. Nagamoto, and J.M. Harris, Temporal and Spatial Variations of Marine Aerosols over the Atlantic Ocean, *Atm. Res.*, 20, 23-37, 1986.
- Schwerdtfeger, W., *Weather and Climate of the Antarctic* 261 pp., Elsevier, Amsterdam, 1984.
- Varhely, G. and G. Gravenhorst, Production rate of airborne sea-salt sulphur deduced from chemical analysis of marine aerosols and precipitation, *J. Geophys. Res.*, 88, C11, 6737-6751, Aug. 1983.
- Wilkniss, P.E. and D.J. Bressan, Fractionation of Elements F, Cl, Na and K at Sea-Air Interface, *J. Geophys. Res.*, 77(27), Sept. 1972.
- Woodcock, A.H., Salt nuclei in marine air as a function of altitude and wind force, *J. Meteorol.*, 10, 362-372, 1953.