

MEDIDAS DE O₃ NA ANTÁRTICA¹

V.W.J.H. KIRCHHOFF e E.B. PEREIRA

*Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
C.P. 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil*

A special campaign was performed during the summer of 1984/85 to measure surface ozone at the Brazilian Antarctic station (62° S, 58° W). The instrument used for the measurements was an absorption cell UV photometer. The results show very small variations, of the order only 5 ppbv, which are very different from our results at S. José dos Campos where large diurnal variations are observed.

INTRODUÇÃO

O aumento contínuo de processamentos industriais tem contribuído cada vez mais para adicionar gases produzidos artificialmente à atmosfera, e que já começam a se manifestar mesmo em regiões distantes dos grandes centros industriais. Com relação à qualidade de vida do homem, a observação e o monitoramento de alguns gases da atmosfera é de interesse direto. Alguns gases da atmosfera, ainda que em proporções muito pequenas, têm capacidade de influir no clima. São os chamados gases do efeito estufa, isto é, gases que absorvem a radiação terrestre no espectro infravermelho, podendo assim contribuir para um aumento da temperatura. Entre estes gases destacam-se os de vida longa na troposfera, como O₃, CH₄, N₂O, H₂O e CO₂. Medidas recentes destes gases revelaram que CO₂, N₂O e CH₄ têm concentrações crescentes de ano a ano, isto é, há uma tendência de crescimento, provavelmente por causa do aumento contínuo de processamentos industriais e suas exigências em relação ao meio ambiente. É possível até visualizar situações extremas em que o aumento de temperatura seria suficiente para derreter parte do gelo polar, o que tenderia a causar uma elevação do nível do mar com conseqüentes inundações de cidades costeiras e prejuízos incalculáveis. Além da influência destes gases minoritários em variáveis climáticas, eles também podem afetar diretamente outros gases da atmosfera através de reações

químicas. O metano, por exemplo, assim como o CO, está diretamente relacionado à química do ozônio, gás de importância fundamental para proteger a superfície terrestre da radiação solar ultravioleta.

A região Antártica oferece condições excelentes para medir gases da atmosfera natural por estar muito afastada dos grandes centros industriais. A probabilidade de interferência direta de poluentes nas medições feitas na Antártica é muito pequena e, com isto, os resultados têm grande interesse para efeito de comparação com outros locais. Durante o verão 1984/85 pesquisadores do INPE participaram da expedição brasileira à Antártica, onde vários parâmetros atmosféricos foram medidos. As medidas foram realizadas na Estação Antártica Comandante Ferraz, localizada na Ilha do Rei George (62°20'S, 58°23'W) na Península Antártica. A instrumentação foi montada no interior de um pequeno laboratório, a cerca de 200 metros da estação principal. Na região prevalece uma superfície predominantemente composta de rochas ígneas bastante fragmentadas e com pouca cobertura de neve durante o verão. Não há vegetação exposta. Neste trabalho são descritas as observações de ozônio.

RESULTADOS

A Fig. 1 mostra a reprodução de um trecho típico do registro de dados obtido na Antártica. O intervalo de tempo é de 00 a 07 horas, tempo local oficial (GMT-04), do dia 12 de março de 1985. O traço superior registra a

¹ Convênio CIRM/INPE, subprojeto nº 9586

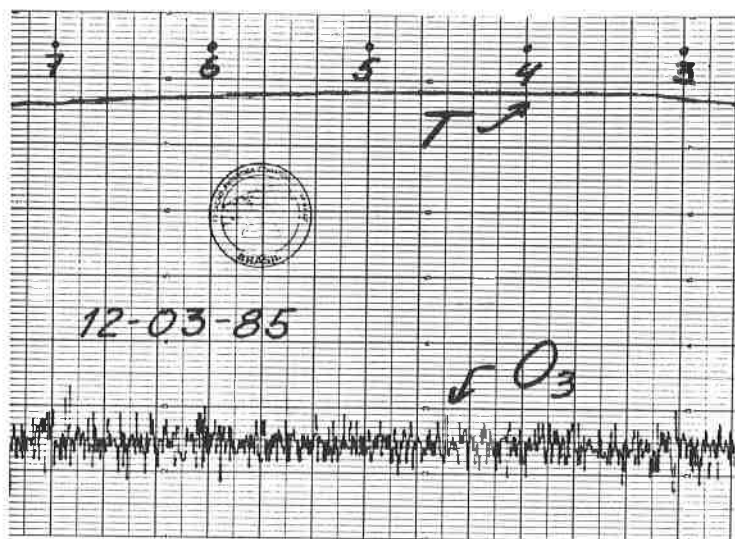


Figura 1 - Trecho do registro feito na Antártica, que mostra a variação de temperatura no sensor, T, e o ozônio, O_3 .

variação de temperatura da célula de absorção do sensor de ozônio, indicado pela letra T. O traço inferior representa a concentração do ozônio (O_3). A variabilidade de ozônio neste trecho é da ordem de 2 ppbv (partes por bilhão por volume). Em outros trechos esta variabilidade pode ser um pouco maior ou menor. Cada divisão menor nas ordenadas corresponde a 1 ppbv, e o nível zero está em 12 ppbv.

A Fig. 2 mostra as médias horárias da concentração de ozônio medida na Antártica entre 27 de fevereiro e 15 de março de 1985. Para clareza, os valores numéricos estão registrados na Tabela 1. Infelizmente o registro não foi contínuo. Houve interrupção na tomada de dados durante a calibração e testes no sensor, indicado na Fig. 2 pela letra C; os dados foram obtidos, mas a média horária não foi determinada por motivo de má qualidade dos dados; indicado na Fig. 2 pela letra I, para designar estes casos de interferência; e os dados não foram registrados devido a problemas com o registrador, por exemplo, papel emperrado, falta de tinta etc., indicado na Fig. 2 pela letra P.

As variações diurnas mostradas na Fig. 2 através das médias horárias da concentração de ozônio são pequenas. Pode-se mesmo afirmar que não há uma variação diurna, cíclica e recorrente, nos dados de ozônio observado o que é normal para a região Antártica. De acordo com Oltmans & Komhyr (1976) as variações diurnas

da concentração do ozônio na Antártica são pequenas. O motivo para isto são a ausência de materiais capazes de destruir o ozônio da atmosfera, como vegetação, solo exposto, e rochas. A quase sempre presente estabilidade do ar para deslocamentos verticais próximos à superfície impede a mistura das camadas de ar e o maior contato do ar com a superfície. As pequenas variações observadas são da ordem de 5 ppbv, e parecem não estar relacionadas a nenhum dos parâmetros meteorológicos observados (ver Tabela 2). As variações podem estar relacionadas com as descontinuidades horizontais naturais da atmosfera, tendo, por isto, caráter aleatório para um observador fixo que observa diferentes massas de ar trazidas ao ponto de observação pelos ventos.

As variações diurnas que normalmente são observadas em outras latitudes estão representadas na Fig. 3, onde são mostradas as medidas feitas em São José dos Campos com o mesmo instrumento sensor de O_3 . Pode-se ver uma variação diurna consistente na sequência de três dias de outubro de 1984. A amplitude da variação pode variar, mas há sempre um máximo na concentração do O_3 um pouco após as 12 horas locais, e um mínimo um pouco antes do nascer do sol. Para São José dos Campos a diferença entre máximo e mínimo pode ser de 30 ppbv, como foi o caso do dia 9 de outubro de 1984, onde a média horária máxima chegou perto de 40 ppbv, com um mínimo de 10 ppbv.

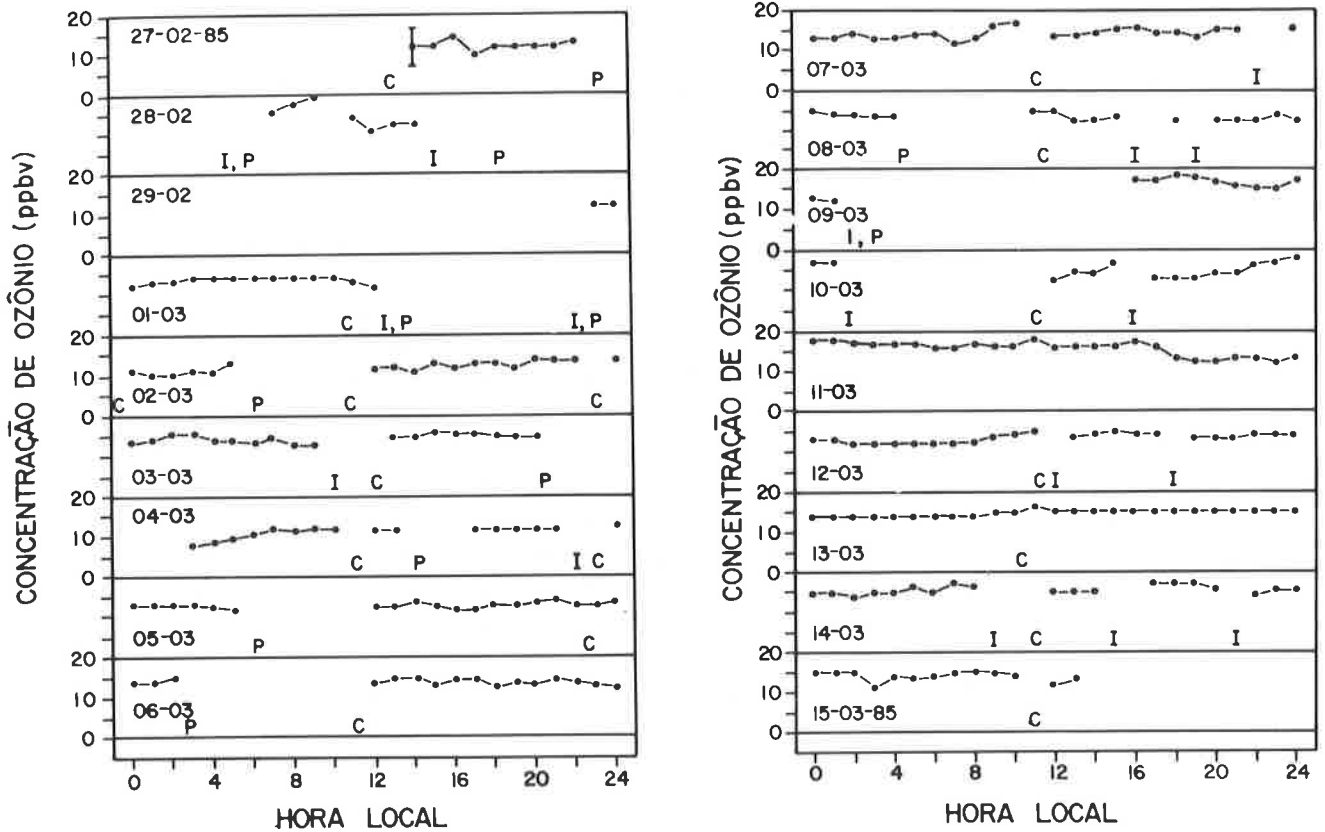


Figura 2 - a) Médias horárias de ozônio medidas na Antártica, entre 27 de fevereiro e 6 de março. b) Médias horárias de ozônio medidas na Antártica, entre 7 de março e 15 de março.

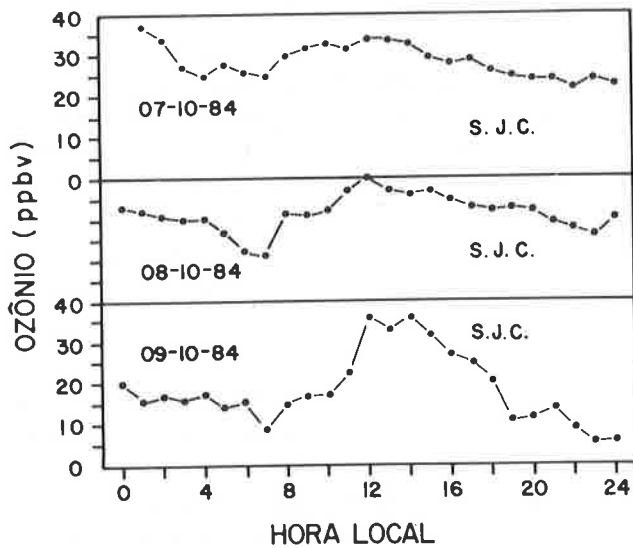


Figura 3 - Sequência de três dias de dados tomadas em São José dos Campos em outubro de 1984, mostrado para efeito de comparação.

pos torna-se evidente na comparação direta de suas médias, mostradas na Fig. 4, onde também está indicada a média obtida para Manaus, em recente expedição científica (Kirchhoff et al. 1985). A variação da média para as observações da Antártica é menor que 2 ppbv, portanto, praticamente constante durante todo o período de 24 horas.

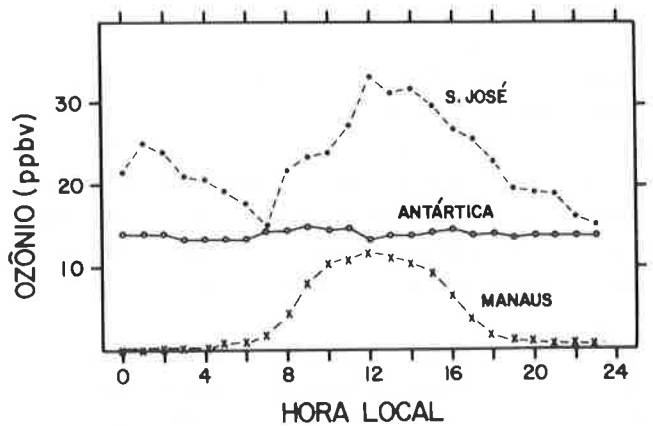


Figura 4 - Comparação das médias de São José dos Campos, da Antártica, e de recente campanha de medidas em Manaus.

A diferença de comportamento do ozônio entre as medidas feitas na Antártica e em São José dos Cam-

HORA DIA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
27															12	12	14	10	12	12	12	12	13	
28								16	18	19		14	11	13	13									12
01	12	13	13	14	14	14	14	14	14	14	14	13	12					12						
02	11	10	10	11	11	13							12	12	11	13	12	13	13	12	14	14	14	
03	13	14	15	15	14	14	13	14	13	13		13		15	15	16	16	16	15	15	15			
04				08	09	10	11	12	12	12	12		12	12					12	12	12	12	12	
05	13	13	13	13	13	12							13	13	14	13	12	12	13	13	14	14	13	13
06	14	14	15										14	15	15	14	15	15	13	14	14	15	14	14
07	13	13	14	13	13	14	14	12	13	16	17		14	14	15	16	16	15	15	14	16	16		
08	15	14	14	14	14							15	15	13	13	14			13		13	13	13	14
09	13	12															17	17	18	18	17	16	15	15
10	17	17											13	14	14	16		13	13	13	14	14	16	17
11	18	18	17	17	17	17	16	16	17	16	16	18	16	16	16	16	17	16	13	12	12	13	13	12
12	13	13	12	12	12	12	12	12	13	14	14	15		14	14	15	14	14		13	13	13	14	14
13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15	15	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
14	15	15	14	15	15	16	15	17	17				15	15	15			17	17	17	16		14	15
15	15	15	15	12	14	14	14	15	15	15	14		12	13										
Av.	14	13,9	13,8	13,4	13,3	13,6	13,7	14,2	14,6	14,9	14,6	14,8	13,4	13,9	14,0	14,5	14,8	14,1	14,0	13,8	14,1	13,9	14,0	14,1
σ	1,9	2,0	1,7	2,0	2,0	1,9	1,5	1,8	2,1	2,0	1,6	1,8	1,6	1,2	1,4	1,4	1,8	2,1	1,9	1,9	1,6	1,4	1,0	1,5

Média mínima = 13,3 ± 2,0

Valor horário mínimo = 08

Média máxima = 14,9 ± 2,0

Valor horário máximo = 19

Tabela 1 - Médias horárias da concentração de ozônio (ppbv) medido na Antártica durante fevereiro e março de 1985.

DISCUSSÃO

Medidas de gases da atmosfera na Antártica têm sido registradas desde os anos 60. Vários países e organismos internacionais montaram laboratórios de pesquisa na Antártica como, por exemplo, a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), com seu programa de monitoramento de gases atmosféricos relevantes ao clima (GMCC, Geophysical Monitoring for Climatic Change). Este programa de medições de longo prazo serve para detectar tendências e, além de medir ozônio de superfície, também mede as concentrações de ozônio, por exemplo, usando sondas em balões que sobem a 10 mb ou 30 km de altura, e, portanto, obtêm dados na troposfera superior e estratosfera.

As primeiras medidas de ozônio registradas na literatura especializada parecem ter sido efetuadas a partir de 1961 na estação Amundsen Scott (90°S), e a partir desta data vários outros programas de longo prazo ou campanhas de breve duração foram realizadas nas estações americanas de Byrd (80°S, 119°W), na estação Ei-

ghts (75, 20°S, 77,2°W) e na estação Hallett (66,2°S, 110,5°W). Os resultados apresentados por diversos autores (Aldaz, 1965; Oltmans & Komhyr, 1976; Murcray, 1983; Robinson & Bamesberger, 1983; Hogan et al., 1983; Robinson et al., 1984) são relativamente unânimes em mostrar variações diurnas desprezíveis (< 5 ppbv) para o ozônio, mas com uma variação anual bastante acentuada (> 20 ppbv) e, por isto, são necessários os programas de longo prazo.

O interesse do Brasil na Antártica efetivou-se a partir dos anos 80, quando uma expedição científica foi enviada para criar uma base brasileira na Antártica. O ozônio aqui descrito, medido pela primeira vez por um grupo brasileiro, do INPE, foi obtido na Operação Antártica III. O grupo de Química da Atmosfera do INPE iniciou medidas de ozônio no Brasil em 1978, quando foram feitos os primeiros lançamentos de balões sonda e toques para medir ozônio na troposfera e estratosfera (Kirchhoff et al., 1981; Kirchhoff et al., 1983; Kirchhoff, 1984; Kirchhoff & Logan, 1985). É de interesse deste grupo do INPE manter uma série de instrumentos para o

Tabela 2 - Dados meteorológicos (lidos na mini-estação meteorológica Hobeco-SH30 da Estação).

DIA	HORA	PRESSÃO (mb)	TEMP. (°C)	UMIDADE %	VENTO		PRECIP. (mm)	OBSERVAÇÃO
					Az.	m/s		
27	00	989,9	2,8	83	340	1,5	0	N (nevando)
	09	987,8	0,7	94	90	4,5	0,9	N
	12	986,9	- 0,2	94	80	7,0	0	N
	18	985,5	- 1,1	89	115	7,0	0	N
	24	984,8	- 1,5	84	110	4,5	0	N
28	09	985,8	- 1,4	90	85	0,5	0	N
	12	986,5	- 1,7	79	70	4,0	0,1	N
	18	986,8	- 1,3	87	345	2,0	0	N
	24	985,5	- 3,8	90	90	13,5	0	N
01	09	982,6	- 3,8	84	70	10,0	0	N
	12	983,8	- 3,8	85	80	14,0	0	E (encoberto)
	18	985,8	- 3,7	80	80	6,0	0	E
	24	990,0	- 3,8	75	115	1,3	0	E
02	09	993,5	- 1,0	70	270	4,5	0	Nu (nublado)
	12	994,0	0,8	60	30	2,0	0	
	18	991,9	1,9	75	350	7,0	0	E
	24	991,4	1,0	92	250	3,5	0	E
03	09	985,2	- 0,2	83	360	1,0	0	N
	12	983,4	- 0,8	100	200	1,5	2,3	N.E
	18	980,2	0,1	99	80	11,5	0	N
	24	981,8	- 0,1	97	125	9,0	0	N
04	09	990,2	- 0,9	80	75	8,0	0	E
	12	990,4	- 0,2	79	75	7,5	0	E
	18	987,5	1,0	87	80	5,5	0	E
	24	983,4	2,1	86	105	7,5	0,2	E
05	09	979,8	1,9	89	70	8,0	3,9	E
	12	981,3	1,0	96	70	5,0	0	Ne (nevoeiro)
	18	985,9	- 0,8	92	90	8,5	0	Ne
	24	989,0	- 2,2	94	90	10,0	0	N
06	09	989,5	- 1,9	92	75	13,0	0	N
	12	991,0	- 0,8	93	80	13,0	0	N
	18	996,2	- 2,0	88	90	7,5	0	
	24	998,9	- 3,4	80	15	1,2	0	
07	09	994,9	0,2	80	0	2,5	0	
	12	992,4	2,4	78	75	7,0	0	
	18	989,0	2,7	89	350	10,0	0	E
	24	988,1	3,2	94	345	4,0	0,2	E
08	09	991,0	3,5	90	0	5,0	0	
	12	991,1	3,6	97	0	6,5	1,0	Ne
	18	990,3	3,2	97	0	8,0	0,5	C (chuveiro)
	24	988,6	3,0	100	0	7,5	0,5	C
09	09	986,0	2,9	96	290	1,5	3,3	E (encoberto)
	12	985,5	5,0	79	130	2,0	0	
	18	988,2	4,9	84	285	4,5	0	
	24	990,2	2,1	95	300	7,5	0	
10	09	989,5	4,5	97	15	9,5	0,5	C
	12	989,1	5,0	100	0	5,5	0,5	C
	18	994,0	4,9	98	0	15,0	1,0	C
	24	986,9	3,9	98	300	5,0	0	E
11	08	988,1	4,0	87	320	2,5	0	Nu (nublado)
	12	988,0	3,8	86	185	1,5	-	Nu
	18	986,4	0,9	91	100	5,0	0	
	24	984,0	0,0	90	70	3,5	0	E
12	09	979,9	- 1,8	100	70	10,0	0	N
	12	978,6	- 2,0	100	80	15,5	10,0	0
	18	978,0	- 3,5	98	90	10,5	0	N
	24	978,0	- 4,0	96	90	10,0	0	N
13	08	979,0	- 4,0	99	110	6,5	0	N
	12	980,0	- 3,5	93	125	5,0	0	N
	18	982,0	- 2,4	93	155	5,0	0	N
	24	982,5	- 2,0	90	255	0,8	0	E
14	09	982,3	- 0,2	77	338	2,0	0	E
	12	982,4	0,3	78	20	0,5	0	E
	18	983,8	0,3	82	75	3,8	0	E
	24	985,5	- 0,6	93	90	4,0	-	
15	09	988,5	- 0,7	77	45	4,5	0	E
	12	989,4	- 0,5	74	30	5,5	0	E
	18	991,4	- 1,1	87	90	3,0	0	N
	24	992,8	- 1,9	97	60	3,0	0,2	N
16	09	994,9	- 1,2	93	95	2,0	0	E
	12	995,5	- 1,0	85	85	3,2	0	N
	18	998,0	- 1,2	84	80	6,5	0	E
	24	1000,8	- 2,0	75	45	3,5	0	E

monitoramento constante na estação brasileira Comandante Ferraz, associando-se ao grupo de medição do radônio, também do INPE. Um projeto de estudos neste sentido foi recentemente submetido e aprovado pela CIRM com o título de "Gases Minoritários da Antártica" o qual deverá dar um grande impulso às pesquisas da atmosfera desta região.

Alguns parâmetros meteorológicos foram anotados a fim de auxiliar a interpretação dos dados de ozônio. Pressão, temperatura, umidade relativa, vento, precipitação e observações sobre o tempo foram registrados na Tabela 2. Pode-se observar que as condições meteorológicas foram relativamente calmas, sem variações muito bruscas durante o período de observação. O tempo esteve quase sempre totalmente encoberto, nevando ou com chuviscos e, algumas vezes, apenas nublado. A temperatura média para as 12:00 horas locais foi de $0,3 \pm 2,7^{\circ}\text{C}$, com uma umidade relativa de $84,4 \pm 11,0\%$. Para a meia noite local, a média de temperatura foi de $-0,4 \pm 2,6^{\circ}\text{C}$, com $90,2 \pm 7,5\%$ de umidade relativa.

CONCLUSÕES

As medidas de ozônio realizadas durante o verão de 1984/85 na Antártica foram analisadas, e foi confirmada a pequena variabilidade e ausência de caráter cíclico de 24 horas nos dados de ozônio. Os resultados mostram que é possível fazer pesquisas deste tipo na Antártica. As medidas aqui descritas devem servir de crédito para que os programas mais ambiciosos sejam realizados na Antártica, principalmente os de longo prazo para estudar, por exemplo, as variações anuais, de interesse muito maior.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos a Sylvio Luiz Mantelli Neto e José Carlos de Andrade pela assistência técnica prestada durante a execução desta missão, e também, ao Ministério da Marinha, Comissão Interministerial para Recursos do Mar (CIRM), Programa Antártico Brasileiro, Sub-projeto 9586).

REFERÊNCIAS

- ALDAZ, L. - 1965 - Atmospheric ozone in Antarctica. *J. Geophys. Res.*, **70**:1767-1773.
- HOGAN, A.W., MURPHY, B., KEBSCHULL & TOWNSEND, R. - 1983 - Meteorological and aerosol experiments in Antarctica. *Antarctic Journal*, 247-248.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., HILSENATH, E., MOTTA, A.G., SAHAI, Y. & MEDRANO-B, R.A. - 1983 - Equatorial ozone characteristics as measured at Natal ($5,9^{\circ}\text{S}$, $35,2^{\circ}\text{W}$). *J. Geophys. Res.*, **88**:6812-6818.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H. - 1984 - Are northern hemispheric tropospheric ozone densities larger? *EOS*, 65:449.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., ALVES, J.R., SILVA, I.M.O. - 1985 - Medidas de O₃ no Amazonas, 1^o Encontro Regional de Geofísica, SBGF, INPE, novembro 27 a 29.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., SAHAI, Y. & MOTTA, A.G. - 1981 - First ozone profiles measured with ECC sondes at Natal ($5,9^{\circ}\text{S}$, $35,2^{\circ}\text{W}$). *Geophys. Res. Lett.*, **8**:1171-1172.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H. & LOGAN, J.A. - Tropical ozone: Seasonal variations in the troposphere at 6°S , INPE - 3555 - PRE/766, 37^a Reunião Anual da SBPC, Belo Horizonte, 10 a 17 de julho, 1985.
- MURCRAY, D.G. - 1983 - Measurement of the column densities of water, nitric acid (HNO₃), fluorocarbons (CF₂Cl₂ and CFCl₃) and ozone during the austral winter. *Antarctic Journal*, 152.
- OLTMANS, S. & KOMHYR, W.D. - 1976 - Surface ozone in Antarctica. *J. Geophys. Res.*, **81**:5359-5364.
- ROBINSON, E. & BAMESBERGER, W.L. - 1983 - Air chemistry monitoring at Palmer Station. *Antarctic Journal*, 253-254.
- ROBINSON, E., BAMESBERGER, W.L., MENZIA, F.A., WAYLETT, A.S. & WAYLETT, S.F. - 1984 - Atmospheric trace gas measurements at Palmer Station Antarctica: 1982-83. *J. Atmos. Chem.*, **2**:65-81.