

O RADÔNIO NA PENÍNSULA ANTÁRTICA COMO TRAÇADOR NATURAL DA ATMOSFERA

ENIO B. PEREIRA

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

ABSTRACT

Atmospheric radon-222 was continuously measured during 1986 at the Brazilian Antarctic station "Ferraz" (62°S , 58°W). A concentration of $2.6 \pm 1.8 \times 10^{-2} \text{ Bq.m}^{-3}$ on the average was found, but occasional peaks of $12.6 \times 10^{-2} \text{ Bq.m}^{-3}$ were also present. Data showed a periodicity of 25 days and a strong association with short period temperature increases. This preliminary interpretation of the data describes a continental influence of air masses from the southern extreme of the South American continent.

RESUMO

O Radônio-222 foi medido continuamente na Estação Antártica Comandante Ferraz (62°S , 58°W) em 1986. Sua concentração foi de $2.6 \pm 1.8 \times 10^{-2} \text{ Bq.m}^{-3}$ em média com picos atingindo até $12.6 \times 10^{-2} \text{ Bq.m}^{-3}$. Os dados mostraram uma periodicidade de cerca de 25 dias e forte associação com as flutuações de curta duração da temperatura atmosférica. Nenhuma sazonalidade foi observada. A interpretação dos picos de máxima concentração de radônio feita com o auxílio de cartas meteorológicas e fotos de satélite, mostrou que a influência continental ocorre devido a massas de ar que atravessam o extremo sul da América do Sul.

INTRODUÇÃO

O transporte atmosférico de componentes minoritários e de partículas finas em escala global na troposfera apresenta grande interesse, tanto do ponto de vista de estudos de processos atmosféricos como das influências de origem antrópicas na sua evolução. A Antártica, devido à sua desprezível área de solo exposto e reduzida atividade humana, tem sido considerada como uma das regiões mais indicadas para tais estudos, tendo em conta as poucas fontes e sorvedouros em superfície.

Tais estudos, contudo, são bastante dificultados em virtude do número reduzido de laboratórios de coleta de dados atmosféricos para tão vasta região e da distribuição muito heterogênea desses laboratórios. Nestes casos, o emprego de traçadores atmosféricos pode ser útil.

O emprego do radônio-222 como traçador natural atmosférico tem merecido a atenção de um número crescente de autores: Turekian et al., 1977; Larsen and Bressam, 1980; Lambert et al., 1982; Whittlestone, 1985; Polian et al., 1986; Pereira et al., 1986. Tal fato é atribuído, em primeiro lugar, ao seu período de desintegração radioativa de 3,8 dias, portanto, a mesma escala dos fenômenos de transporte global na troposfera. Em segundo

lugar por se tratar de um gás quimicamente inerte. Adicionalmente, as suas únicas fontes são os continentes expostos (não glaciados) e seu único sorvedouro é o decaimento radioativo, o que o faz ser, talvez, a melhor aproximação de um traçador atmosférico ideal.

O laboratório de radioatividade atmosférica está instalado na Estação Antártica Comandante Ferraz ($62^{\circ}05'S$, $58^{\circ}23,5'W$), na Ilha d Rei George, Arquipélago das Ilhas Shetland do Sul, e opera desde 1986 medindo radônio e radioatividade de aerossóis atmosféricos (Figura 1). Neste trabalho, serão apresentados os resultados obtidos durante todo o ano de 1986, e uma interpretação preliminar é discutida.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os dados de atividade de radônio são coletados a cada hora, de maneira ininterrupta, empregando-se a técnica da precipitação eletrostática seguida de contagem alfa cuja instrumentação é descrita em Pereira et al. (1984). A atividade dos aerossóis é medida por espectrometria alfa efetuada diretamente sobre os filtros. Maiores detalhes sobre as técnicas de medida são dados em Pereira et al. (1988).

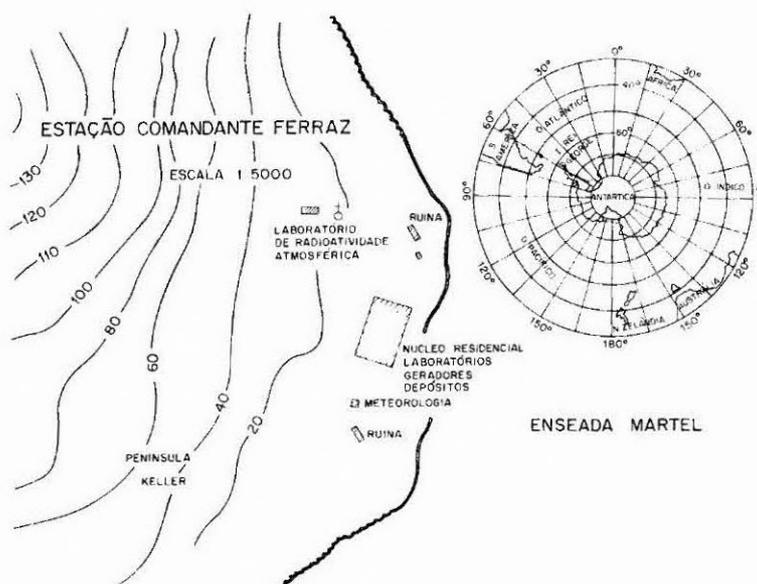


Fig. 1 Mapa da Antártica em projeção Polar, mostrando a Ilha de Rei George onde o laboratório de radioatividade atmosférica está instalado. O mapa mostra também a localização do laboratório na Estação Antártica Comandante Ferraz.

A atividade do radônio é ilustrada na Figura 2 juntamente com a temperatura atmosférica local. Os resultados mostram médias de cinco dias, ou seja, um intervalo de tempo da ordem da vida-média do radônio-222 (5.5 dias), obtidos a partir do con-

junto completo dos dados horários. Intervalos de integração menores estariam enfatizando as variações mais rápidas de radônio e mostrariam um gráfico com nível de ruído mais elevado.

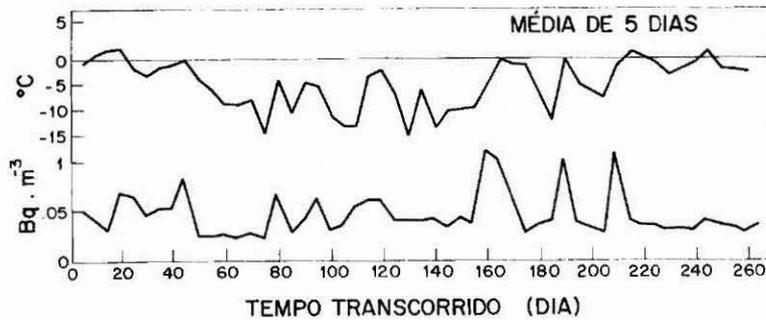


Fig. 2 Média de 5 dias da concentração de radônio e da temperatura atmosférica. A escala de tempo é relativa a partir do início do experimento a 17.03.86.

Uma característica que se distingue na Figura 2 é a clara associação entre a ocorrência dos picos de radônio e os picos de temperatura atmosférica local. A correlação linear direta entre essas duas variáveis, contudo, levando em conta os dados originais (integração horária), fornece um valor de coeficiente de correlação linear de apenas 0,4.

CONTRIBUIÇÃO DE RADÔNIO LOCAL

Uma primeira interpretação indicou a possibilidade desse efeito estar sendo motivado pela fusão do "permafrost" local, devido a temperaturas atmosféricas acima de zero, com conseqüente emissão do radônio originado pelo próprio solo exposto da Ilha. Contudo, verificou-se que as ocorrências dos picos de radônio podem também ocorrer para máximas de temperatura atmosférica negativas, principalmente durante o inverno. Além do mais, em muitas ocasiões onde os máximos de radônio ocorreram associados a temperaturas acima de zero, esse efeito foi de curta duração (poucas horas) e apenas frações de graus de temperatura, conseqüentemente não possibilitando a penetração da onda térmica no solo o suficiente para a fusão do "permafrost".

Outra indicação obtida a partir dos dados da Figura 2 é a ausência de sazonalidade. Isso pode ser considerado como forte evidência de uma contribuição local de radônio irrelevante. É interessante, porém, notar que Polian e seus colaboradores (1986) identificaram sazonalidade para o radônio medido em Terre Adelie, na margem oposta do continente antártico ($66^{\circ}40'S$, $140^{\circ}W$), portanto, muito distante do nosso ponto de amostragem. Aparentemente, as medidas em Terre Adelie apresentam uma

contribuição local importante no verão, enquanto que em nossas medidas, esse efeito é desprezível pelo fato de a fração de solo exposto versus área oceânica ou glaciada na Península Antártica ser menor do que para Terre Adelie. Outro possível motivo para essa aparente discrepância talvez seja a diferença entre as técnicas de medida empregadas nos dois casos, medidas diretas de radônio em Ferraz versus indiretas em Terre Adelie, uma vez que as medidas indiretas partem do pressuposto equilíbrio radioativo na série do radônio.

Em vista das considerações acima, não podemos achar nenhuma razão para atribuir fontes locais aos picos de radônio observados em nosso experimento.

O RADÔNIO E A METEOROLOGIA

Um conjunto de 15 picos principais de radônio observados em 1986 foi selecionado acima da linha de base de $2.0 \times 10^{-2} \text{ Bq.m}^{-3}$. A ocorrência desses picos foi estudada com auxílio de cartas sinóticas de superfície e fotos de satélites meteorológicos. Tal estudo foi feito empregando uma base de dados diários, portanto, bem mais completa do que aquela apresentada na Figura 2.

A análise mostrou que todos os 15 picos principais (alguns dos quais não aparecem na Figura 2

devido ao processo de alisamento das médias) ocorreram durante a passagem de sistemas sinóticos de baixa pressão com trajetórias para o leste ao sul da América do Sul, mais precisamente, quando seu centro estava próximo a cerca de $70^{\circ}W$ na passagem de Drake. Tal situação provoca uma circulação ciclônica de ventos que conduzem massas oceânicas de ar do Oceano Pacífico Sul diretamente para a Península Antártica. Essas massas de ar, contudo, transitam antes pelo cone sul do continente sul americano onde são provavelmente carregados com o radônio produzido nessa região árida e deglaciada.

A fim de validar essa associação, uma análise inversa foi efetuada. Localizamos primeiramente as situações onde ocorreram entradas de sistemas sinóticos de baixa pressão bem definidos conforme caracterizado acima, com o emprego das cartas e fotos de satélites meteorológicos. Constatamos que das 31 ocorrências confirmadas de 1986, apenas uma não correspondeu a algum tipo de crescimento da concentração do radônio em Ferraz, se bem que em alguns casos tais variações eram dificilmente distinguíveis das flutuações de concentração de fundo.

Um estudo em maior detalhe foi efetuado para os picos de radônio ocorridos de 19 de setembro a 01 de outubro, onde se observou a maior variação positiva de concentração (Figura 3).

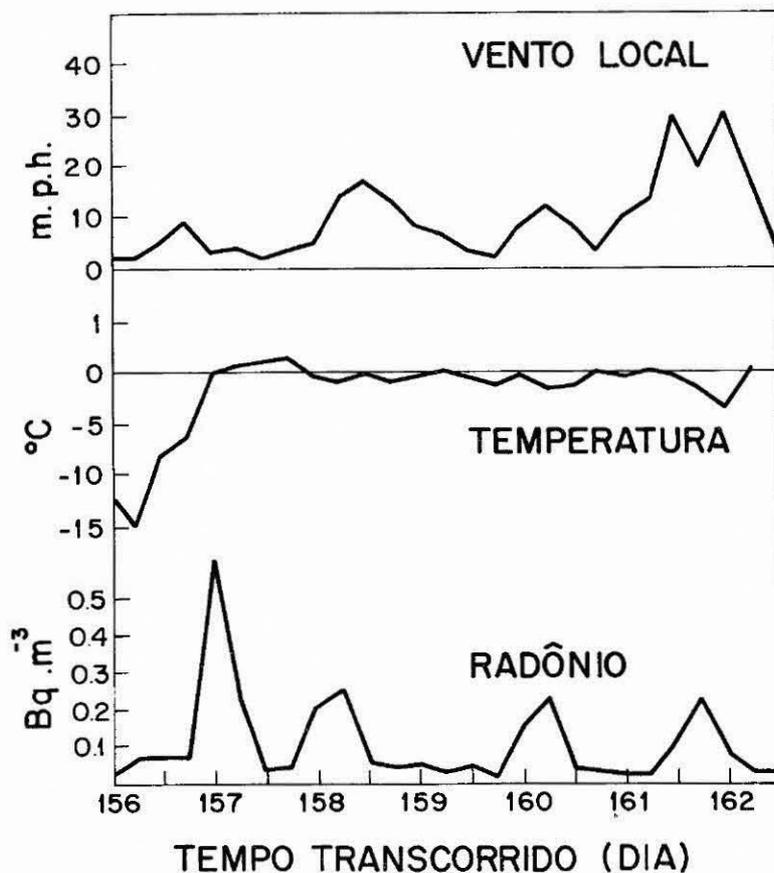


Fig. 3 Média de 6 horas da concentração do radônio da temperatura atmosférica local e da intensidade do vento para o período correspondente do dia 156 (19.09.86) ao dia 162 (01.10.86), quando a maior anomalia de radônio do ano foi observada.

Dados meteorológicos mostraram que esse período se caracterizou por uma série de sistemas sinóticos de baixa pressão próximos, movendo-se para o leste. O mais intenso desses sistemas está ilustrado na Figura 4, com o centro de baixa a 72°W na passagem de Drake. Essa situação corresponde exatamente ao pico mais intenso de radônio da Figura 3. A formação dessa concentração anômala de radônio foi praticamente sincrônica à chegada do ar mais quente de latitudes mais baixas, como atesta a Figura 3. Os sistemas subsequentes, menos intensos, passaram logo após, quando o ar em Ferraz estava ainda sob a influência do primeiro.

De uma maneira geral, a curta duração dos picos observados (menos de 18 horas) sugere que a fonte do radônio está relativamente próxima. Uma fonte mais distante mostraria, provavelmente, um maior grau de diluição e homogenização, produzindo uma resposta de variação de concentração mais lenta.

A partir das observações acima, somos levados a crer que Ferraz está localizada na fronteira do que denominamos de "zona de influência continental". Essa zona é estabelecida quando massas de ar puramente oceânicas do Pacífico Sul, em seu movimento ciclônico, passam pelo cone sul da América do Sul em direção à Península Antártica. Essa situação persiste até a passagem do sistema estendendo a

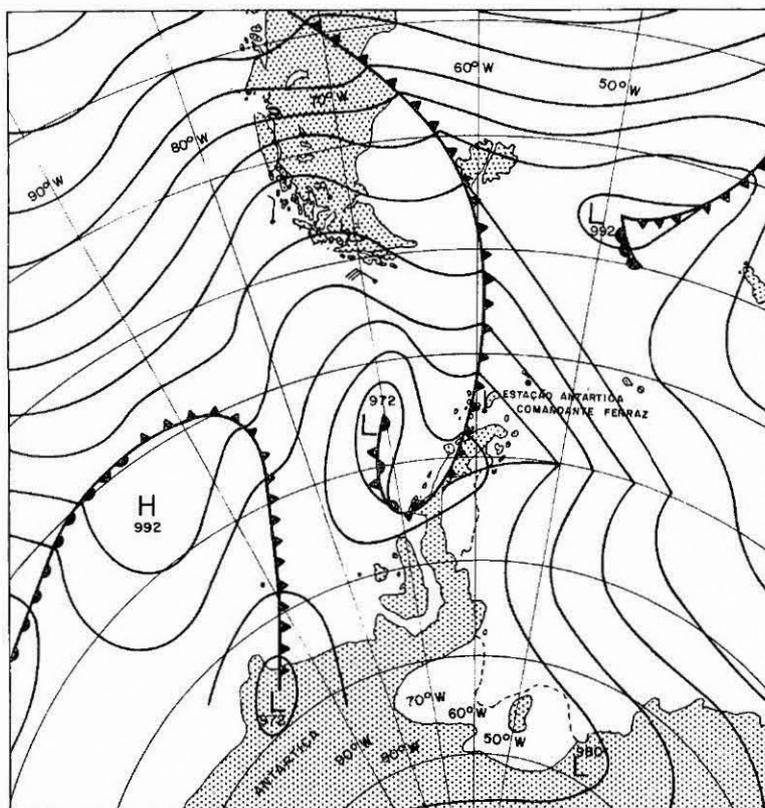


Fig. 4 Mapa sinótico da região da Península Antártica do dia 19.09.86. As isóbaras são traçadas com intervalos de 4 milibares.

"zona de influência continental" para o Mar de Weddell ou mesmo além, para a Terra de Queen Maud.

ANOMALIAS DE RADÔNIO E O "ÍNDICE DE CICLO"

A série temporal do radônio em Ferraz foi também estudada empregando-se o Método da Máxima Entropia (MESA) descritos em Burg (1967) e Kane e Trivedi (1986). Trata-se de um método não-linear para estimativas espectrais em séries temporais com o fim de detectar periodicidades.

Na Figura 5 mostramos o resultado da aplicação do método ao conjunto de dados de radônio mais completo, isto é, os dados horários. Dois períodos característicos são claramente resolvidos pelo método, um de 19 dias e outro de 25 dias, esse último sendo o de maior intensidade.

A detecção dessa periodicidade não é inédita. Lambert et al. em 1970 já mostraram uma periodicidade de 28 dias para o radônio em Terre Adelie. Lambert atribuiu essa periodicidade a flutuações da componente solar da radiação cósmica, talvez unicamente pela consonância desses valores. Kidson (1986) e Webster e Keller (1974), por outro lado, mostraram periodicidades irregulares entre 20 e 27 dias em latitudes elevadas, ligadas ao intercâmbio barotrópico de energia entre latitudes baixas e altas, um fenômeno puramente termodinâmico, portanto. Kidson definiu um "índice de ciclo" negativo para mudanças de vento zonal conduzindo a flu-

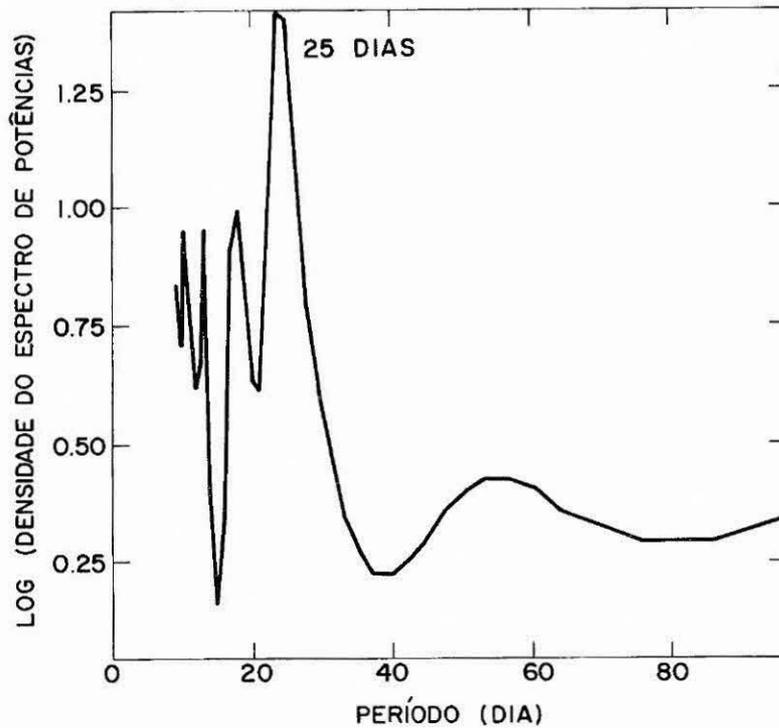


Fig. 5 Logaritmo da densidade do espectro de potências versus período em dias, obtido pela aplicação do Método da Máxima Entropia aos dados de radônio em Ferraz. O período característico de 25 dias é evidente.

xos fracos de calor para a região polar e, analogamente, um "índice de ciclo" positivo para os casos de crescimento do transporte meridional de calor em direção ao pólo. Os dados da Figura 2

parecem ser bastante consistentes com os índices positivos definidos por Kidson.

CONCLUSÕES

A análise da série temporal do radônio obtida em 1986 mostrou forte associação com a temperatura atmosférica local. Essa associação, no entanto, aplica-se somente para períodos curtos e não para as variações sazonais da temperatura. De uma maneira geral, o radônio oscilou ao redor de uma linha de base de $2.6 \pm 1.8 \times 10^{-2} \text{ Bq.m}^{-3}$ o ano todo, com picos ocasionais que atingiram até $12.6 \times 10^{-2} \text{ Bq.m}^{-3}$. Esses picos são sempre consonantes a uma rápida elevação da temperatura, por sua vez associada à passagem de sistemas sinóticos de baixa pressão.

Não se observou nenhum ciclo diurno na concentração superficial do radônio, como é normalmente observado em latitudes menos altas. Do mesmo modo, não pode ser observada nenhuma mudança cíclica na concentração que pudesse ser atribuída às variações sazonais. Esses dois fatos sugerem que a produção local de radônio é desprezível em face da forte mistura horizontal com o ar oceânico.

O estudo comparativo usando fotos de satélite e cartas sinóticas revelou que os picos de concentração de radônio em Ferraz são sempre oriundos do

cone sul da América do Sul. Na maior parte do tempo, contudo, a influência do ar em Ferraz é tipicamente oceânica com valores de radônio extremamente baixos.

Um ciclo irregular de 25 dias foi também observado na série temporal do radônio, através do emprego do Método da Máxima Entropia. A origem dessa periodicidade ainda não foi bem estabelecida e está sendo, presentemente, estudada empregando uma série temporal mais extensa abrangendo os anos de 1986 a 1988.

As séries temporais de radônio atmosférico em Ferraz mostram-se relevantes do ponto de vista científico, devido aos resultados originais obtidos e à grande ausência de dados para essa região. Essa relevância acentua-se pelo emprego de uma instrumentação de medida bastante inovativa usada na obtenção dos dados e ao uso de informações meteorológicas de mesoescala na interpretação dos resultados. A técnica de medida empregada nesse trabalho apresenta a mesma sensibilidade e uma resolução temporal bem maior do que as técnicas até agora aplicadas em medidas do radônio atmosférico. Trata-se, portanto, de uma técnica ideal para monitoração do radônio em estações desatendidas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a colaboração de N.B. Trivedi na aplicação do Método da Máxima Entropia aos nossos dados experimentais. O emprego das cartas sinóticas e das fotos de satélite meteorológico foi possível graças a colaboração de Alberto W. Setzer. Os agradecimentos se estendem também aos técnicos M. Sampaio e I. Geier pela operação dos equipamentos na Antártica durante o ano inteiro de 1986. Adicionalmente, estamos em débito com os engenheiros S.L.M. Neto e A.M. Takashima que ajudaram no desenvolvimento da instrumentação para medida do radônio. Esse trabalho foi financiado parcialmente pela CIRM/PROANTAR, subprojeto no. 9586, que também proporciona o apoio logístico para sua realização.

REFERÊNCIAS

- Burg, J.P., Maximum entropy spectral analysis. Presented at 37th Symposium, *Soc. Explor. Geophys.*, Oklahoma City, Okla, 1967.
- Kane, R.P. and N.B., Trivedi, Effects of linear trends and mean value on maximum entropy spectral analysis, *Proc. Indian Acad. Sci.*, 95(2), 201-208, 1986.
- Kidson, J.W., Index cycles in the southern hemisphere during the Global Weather Experiment, *Monthly Weather Review*, 114, 1654-1663, 1966.

- Lambert, G., G. Polian, and D. Taupin, Existence of periodicity in radon concentration and in the large-scale circulation at lower altitudes between 40° and 70° South, *J. Geophys. Res.*, 75(12), 2341-2345, 1970.
- Lambert, G., G. Polian, J. Sanak, B. Ardouin, A. Buissan, A. Jegou, and J.C. LeRoulley, Cycle du radon et de ses descendants: Application à l'étude des échanges troposphere-stratosphere, *Ann. Geophys.*, 38(4), 497-531, 1982.
- Larson, R.E. and D.J. Bressan, Radon-222 as an indicator of continental air mass boundaries over ocean areas. In: *Natural Radiation Environment III*, Gessel, T.R. and Lowder, W.M., (Eds.), Technical Information Center, U.S.A., Vol. 1, 308-326, 1980.
- Pereira, E.B., D.J.R. Nordemann, A.M. Takashima, L.S.V. Dutra, and S.L. Mantelli Neto, Um sistema para monitoração do radônio e seus produtos de decaimento na atmosfera, *Rev. Brasil. Geofis.*, 2, 59-64, 1984.
- Pereira, E.B., D.J.R. Nordemann, and M.B.A., Vasconcellos, Atmospheric radon measurements in the Antarctic Peninsula: A preliminary report, *An. Acad. Brasil. Cienc.*, 58, 182-186, 1986.
- Polian, G., G. Lambert, B. Ardouin, and A. Jegou, Long-range transport of continental radon in Subantarctic and Antarctic areas, *Tellus*, 38(b), 178-189, 1986.
- Turekian, K.K., Y. Nozaki, and L.K. Benninger, Geochemistry of atmospheric radon and radon products, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 5, 227-255, 1977.
- Webster, P.J. and J.L. Keller, Strong long-period tropospheric and stratospheric rhythm in the Southern Hemisphere, *Nature*, 248, 212-213, 1974.
- Whitlstone, S., Radon measurements as an aid to the interpretation of atmospheric monitoring, *J. Atmospheric Chemistry*, 3, 187-201, 1985.