

UTILIZAÇÃO DE ISÓTOPOS NATURAIS COMO TRAÇADORES DA DISPERSÃO DE POEIRAS DO SAARA: UM CASO DE ESTUDO NOS AÇORES-PORTUGAL

A. Félix Rodrigues¹; Charles Holmes²; Marci Marot²; Camiro A. Pio³

RESUMO

Neste artigo apresentam-se os resultados da quantificação do berílio 7 e chumbo 210 associados a aerossol atmosférico originário do Deserto do Saara e que cruza o Atlântico Norte até aos Açores. O conhecimento da actividade destes isótopos poderá permitir o estudo de intrusões estratosféricas bem como prever algumas características físicas deste tipo de transporte atmosférico. Por outro lado, será possível, com base nos rácios destes dois isótopos, distinguir aerossol de origem marinha e insular de aerossol de origem continental.

Palavras chave: berílio, chumbo, actividade, Saara, poeiras, aerossol, Açores.

USING NATURAL ISOTOPES AS TRACERS OF SAHARAN DUST DISPERSION: A CASE STUDY IN THE AZORES - PORTUGAL

ABSTRACT

After mineral aerosol transport from Sahara Desert, through the North Atlantic, analysis on beryllium 7 and lead 210 were carried out on Azorean aerosol samples. Knowing about the isotope activity of beryllium 7 and lead 210 on aerosol, will permit to study stratospheric intrusions and others physical characteristics of the North Atlantic atmospheric transport. Based on beryllium 7/lead 210 ratios it is possible to differentiate insular and marine aerosol from continental aerosol.

Key words: beryllium, lead, activity, Sahara, dust, aerosol, Azores.

¹ Departamento de Ciências Agrárias e Ambiente da Universidade dos Açores, Terra-Chã, 9701-851 Angra do Heroísmo, Portugal.

² USGS-United States Geological Survey, St. Petersburg, Fl 33701, USA.

³ Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, P3810-193 Aveiro, Portugal.

1. INTRODUÇÃO

O grande incremento ambiental de radioatividade antropogénica ocorreu aquando do lançamento das bombas atómicas em Hiroshima e Nagasaki e durante todo o período de 1951 a 1975 onde se realizaram testes nucleares atmosféricos (RODRIGUES, 2004). Alguns destes radionuclídeos de origem antropogénica tem sido utilizados como traçadores de processos físico-químicos na área ambiental, como por exemplo, na hidrologia ou na geologia. O trítio (antropogénico) associado à precipitação, é comumente utilizado nos estudos de recarga de aquíferos (RODRIGUES, 2002) e o cézio 137, após o acidente de Chernobyl, foi utilizado como traçador no estudo da dispersão atmosférica da nuvem radioactiva resultante desse acidente (MACKENZIE, 2000).

Com origem natural, o chumbo 210 e o berílio 7, são dois radionuclídeos utilizados com reduzida frequência (essencialmente por dificuldades técnicas) na identificação de origens e processos físicos atmosféricos do aerossol (SAVOIE *et al.* 1992; ZANIS *et al.* 1999; RODRIGUES *et al.* 2000; HOLMES *et al.* 2000).

Neste caso de estudo, recorreu-se à determinação da actividade do berílio 7 e chumbo 210, associados ao aerossol colhido nos Açores, aquando do transporte de “poeiras do Saara”, como traçadores dos processos atmosféricos a que este esteve sujeito, com vista a caracterizar alguns fenómenos e acontecimentos o mais pormenorizadamente possível.

As poeiras originárias do Norte de África, depositam-se com muita frequência na Região das Caraíbas, atingindo por vezes a Floresta Amazónica. Neste contexto, o estudo deste fenómeno não tem um interesse meramente local, mas sim global.

A deposição de poeiras originárias do Saara em ambientes remotos, tem despontado um vasto conjunto de problemas ambientais, tais como: a morte dos corais das Caraíbas, o aparecimento de marés vermelhas, o incremento de problemas de asma em humanos e a eutrofização de estuários, entre outros (USGS, 2000).

O berílio 7 é um isótopo radioactivo de origem cosmogénica com um período de meia vida de 53,3 dias. É formado a partir do bombardeamento por raios cósmicos (com protões e neutrões) de alguns núcleos existentes na alta atmosfera; como o carbono 12, o azoto 14 e o oxigénio 16. Partículas elementares provenientes do Sol e do centro da Via Láctea, atingem o nosso planeta a uma taxa praticamente constante e com uma distribuição espacial uniforme. Estas partículas, quando sujeitas ao campo magnético terrestre deslocam-se essencialmente,

após sucessivas colisões onde perdem energia, através dos pólos magnéticos (RODRIGUES, 2001).

Cerca de 67% do berílio 7 encontra-se na estratosfera e os restantes 33% na troposfera (ZANIS *et al.*, 1999). De acordo com os mesmos autores, as elevadas taxas de produção de berílio 7 na alta atmosfera, conjuntamente com o transporte desse nuclide da estratosfera para a alta troposfera, e a remoção húmida produzida na baixa troposfera, faz com que o gradiente vertical de concentração desse nuclide se mantenha praticamente constante. Por outro lado, a actividade do berílio 7 na estratosfera também se mantém praticamente constante porque o seu tempo médio de residência é cerca de um ano. Assim sendo, existe na estratosfera uma remoção associada ao decaimento radioactivo desse elemento que é contrabalançada pela taxa de formação desse mesmo nuclide (DUTKIEWICZ; HUSAIN, 1985 *fide* ZANIS *et al.*, 1999).

Dada a natureza cosmogénica do berílio 7, é lícito esperar que na estratosfera, este não exiba um ciclo anual, mas sim um ciclo interanual associado à actividade solar, uma vez que o ciclo solar é de 11 anos (RODRIGUES, 2001).

Após a formação do núcleo de berílio 7, a reacção química com outros componentes da estratosfera é imediata, formando-se essencialmente óxido de berílio e hidróxido de berílio. O óxido de berílio e o hidróxido de berílio formados, difundem-se rapidamente na atmosfera até se agarrarem ao aerossol atmosférico (BLAKE *et al.*, 1999).

Dada a natureza estratosférica do berílio 7, a sua associação ao aerossol atmosférico, observa-se essencialmente na fracção fina do aerossol (fracção do aerossol com diâmetro aerodinâmico inferior a 1 μ m) (RODRIGUES, 2001).

Existindo o berílio em fase aquosa, predominantemente nas soluções com pH inferior a 5,5, e tendo a maioria da água da chuva pH inferior a esse valor, este isótopo entra em solução e é depositado à superfície da terra essencialmente pela precipitação. A sua maior ou menor associação ao aerossol dependerá da altitude atingida por este último, nos processos de transporte atmosféricos a que esteve sujeito (RODRIGUES, 2001).

O chumbo 210 é um isótopo radioactivo que resulta do decaimento do rádio 226, com um período de meia vida de 22,3 anos. Este aparece na atmosfera associado ao radão 222.

O radão 222 é libertado do solo para a atmosfera por difusão, através das fendas rochosas ou das águas do mar (RODRIGUES, 2001).

Na água do mar, a concentração de ^{222}Rn é reduzida, com um valor aproximadamente constante de 6×10^{-13} ppb (peso/peso). A concentração atmosférica de ^{210}Pb num dado local não está directamente relacionada com a concentração do seu progenitor o ^{222}Rn nesse mesmo local, uma vez que essa concentração pode resultar de transporte atmosférico de longas distâncias antes de ser removido por deposição seca, deposição húmida ou decaimento radioactivo (SHEETS; LAWRENCE, 1999).

Tem sido observado em vários locais do globo diferentes padrões de sazonalidade para o ^{210}Pb , bem como variações diárias da sua actividade na atmosfera (SHEETS; LAWRENCE, 1999; KIM *et al.* 2000; BIRAUD *et al.* 2000). Tal como o ^7Be , o ^{210}Pb na atmosfera acopla-se rapidamente ao aerossol submicrométrico (BIRAUD *et al.* 2000).

Warneck, (1988) refere que provavelmente existe uma relação entre o teor de chumbo 210 na atmosfera e a concentração de aerossol com origem edafológica, mas a queima de carvão e os fogos florestais são também potenciais fontes atmosféricas desse radionuclídeo. De acordo com o mesmo autor, dado que o decaimento radioactivo do radão 222 é um processo que pode ser encarado com uma conversão gás - partícula, os produtos do decaimento desse gás, como o chumbo 210, depositam-se essencialmente na fracção fina do aerossol.

A remoção atmosférica do chumbo 210 é feita essencialmente pela precipitação. A coagulação e a sedimentação, só assumem alguma importância na sua remoção em condições climáticas muito específicas (PREISS; GENTHON, 1997).

Contrariamente ao berílio 7, o chumbo 210 apresenta um conjunto muito reduzido de reacções químicas atmosféricas. Este, quando em contacto com a atmosfera, forma rapidamente óxido de chumbo evitando-se deste modo a reacção futura desse nuclídeo com a maioria dos constituintes gasosos. Apesar disto, o óxido de chumbo poderá reagir muito lentamente com os óxidos de azoto, ácido nítrico e ácido clorídrico (RODRIGUES, 2001) que são compostos habituais das atmosferas poluídas.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Tanto o ^7Be como o ^{210}Pb foram determinados por espectroscopia gama com detector de cintilação de iodeto de sódio, no USGS (United States Geological Survey) pela equipa do Eastern Surface Processes Team, em S. Petersburg-Flórida.

As amostras, respeitantes ao aerossol mineral proveniente do Saara, foram colhidas em Fevereiro e Março de 2000, num amostrador de partículas de grandes volumes, com cabeça de pré-selecção PM10 de acordo com os procedimentos descritos por Rodrigues *et al.* (2001), imediatamente acondicionadas em embalagens de plástico esterilizado e enviadas por Express Mail para os laboratórios do USGS.

O erro estimado na avaliação da energia dos raios gama, pelos detectores de iodeto de sódio foi de $\pm 2\%$. Tal resolução permite identificar com certeza suficiente os isótopos emissores.

A actividade associada a cada isótopo, determinada por espectroscopia gama, foi depois traduzida em contagens por minuto por grama de material. As actividades de ^7Be e de ^{210}Pb na amostra de aerossol, foram corrigidas para o período de amostragem com base na lei do declínio radioactivo.

A colheita de aerossol realizou-se numa arriba costeira da ilha Terceira-Açores-Portugal, nas coordenadas $38^{\circ}43'48''\text{N}$; $27^{\circ}19'18''\text{W}$, a 50 m acima do nível médio das águas do mar. Utilizaram-se filtros de fibra de quartzo (Whatman 20,3 cm x 25,4 cm QM-A), pré-tratados com lavagem ácida e acondicionados térmicamente a 750°C numa mufla durante 6 horas, de forma a evitar a sua contaminação orgânica. Cada colheita de partículas decorreu num período de 96 horas, período esse, que permitisse colher matéria particulada suficiente para a sua análise.

3. RESULTADOS

Foram realizadas análises de ^7Be e ^{210}Pb às amostras de aerossol colhidas no Sudoeste da ilha Terceira no período de 27 de Fevereiro a 18 de Março de 2000, período este, que correspondeu, como anteriormente se referiu, à existência de uma densa nuvem de “poeiras do Saara” sobre esta ilha Açoriana.

As trajectórias retrógradas de cinco dias [obtidas pelo modelo Ready Hysplit 4 da NOAA (DRAXLER; HESS, 1998)], a partir da data de fim da colheita, indicavam contribuições estratosféricas para a massa de aerossol colhida. Sendo o ^7Be um bom traçador da mistura troposfera-estratosfera (ZANIS *et al.* 1999), a determinação da actividade desse isótopo poderia trazer uma melhor compreensão do fenómeno.

Aquando das tempestades de areia do ano 2000 no Deserto do Saara, as mais violentas de que há registo, os aerossóis minerais atingiram alturas superiores aos 4000 m como o

documentam as fotografias obtidas pelo Observatório do Teide em Tenerife – Canárias, 2000. Nesse Arquipélago, aquando deste evento, foram observadas poeiras no cimo do Teide cujo topo se encontra a 3718 m acima do nível médio das águas do mar.

Na ilha Terceira, nos Açores, observações realizadas no cimo da Serra de Santa Bárbara (1020 m) no período de 26 de Fevereiro a 29 de Fevereiro de 2000, revelavam uma elevada taxa de deposição de aerossóis do Saara nesse mesmo local.

Na figura 1 apresenta-se a variação diária das actividades do ^7Be e ^{210}Pb , medidas na fracção fina (diâmetro aerodinâmico inferior a 1 μm) do aerossol Açoriano, aquando desses acontecimentos. A fracção grosseira do aerossol (diâmetro aerodinâmico entre 1 μm e 10 μm) apresentou uma actividade muito reduzida, cerca de 5% da actividade detectada na fracção fina do aerossol.

Os máximos de actividade foram registrados no período de 6 a 10 de Março de 2000, tanto para o ^7Be como para o ^{210}Pb , e os mínimos de actividades, em simultâneo para as duas espécies, foram observados no período de 2 a 6 de Março de 2000.

Oscilações diárias da mesma ordem de grandeza da actividade associada ao ^7Be no aerossol registadas na ilha Terceira-Açores, foram observadas na Suíça a 3580 m acima do nível do mar, por Zanis *et al.* (1999).

Oscilações médias mensais da actividade de ^{210}Pb da mesma ordem de grandeza das observadas neste estudo, foram registadas por Sheets e Lawrence em 1999 em Springfield-Missouri, nos Estados Unidos da América.

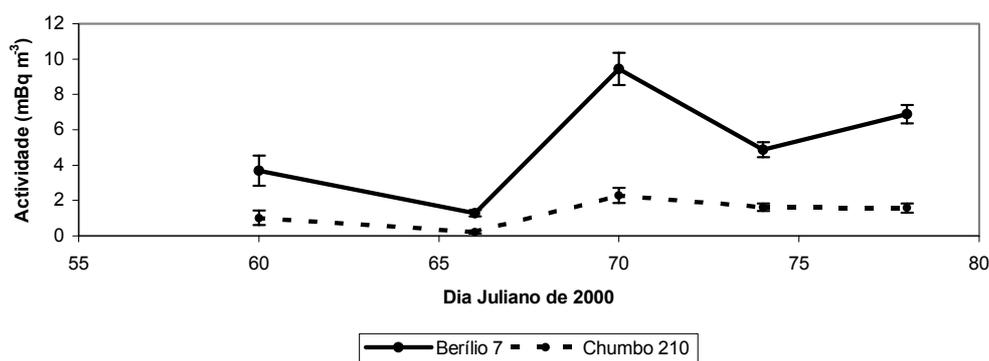


Figura 1. Variação da actividade do ^7Be e ^{210}Pb na fracção fina do aerossol, observadas na ilha Terceira e respectivo erro analítico (barra).

Oscilações da ordem de grandeza das observadas neste período para o berílio 7 e chumbo 210, tem sido essencialmente reportadas para territórios continentais (SHEETS; LAWRENCE, 1999; ZANIS *et al.* 1999; PREISS; GENTHON, 1997). Com base nas observações aqui referidas poder-se-á afirmar que o ^7Be e o ^{210}Pb associados ao aerossol colhido nas ilhas Açorianas (Centro do Atlântico) não difere, neste período, grandemente do aerossol continental Europeu e Americano.

Recorreu-se também ao estudo das trajectórias retrógradas isentrópicas das massas de ar a 50 m, 1000 m e 5000 m de altitude, geradas pelo modelo Ready Hysplit 4, respeitantes a cada amostra, na tentativa de observar algum contributo da estratosfera ou alta troposfera nas actividades dos isótopos estudados. O ar estratosférico ou com origem na alta troposfera, poderá chegar ao local de colheita através de um transporte vertical directo, ou então, de forma indirecta, quando a intrusão estratosférica ocorre algures ao longo da trajectória. Essa intrusão, poderá ocorrer a milhares de quilómetros de distância do local de colheita, podendo reflectir-se deste modo numa actividade anormal do aerossol.

Sendo a origem do ^7Be essencialmente estratosférica, a sua actividade será indicadora das trocas entre a estratosfera – troposfera ou entre a alta troposfera - baixa troposfera. Sendo assim, suspeitou-se de uma dependência entre a actividade deste isótopo nas amostras de aerossol e os valores mínimos ou máximos associados às várias trajectórias produzidas pelo modelo Ready Hysplit 4. Em todas as trajectórias isentrópicas obtidas, no período respeitante à recolha de cada amostra, observou-se o cruzamento das três massas de ar (50 m, 1000 m e 5000 m). Tal facto indicia a intrusão da troposfera livre na baixa camada da troposfera. O recurso a trajectórias isentrópicas em vez de trajectórias dinâmicas deveu-se ao facto de que o processo físico que rege as intrusões atmosféricas, ser um processo isentrópico. Os ventos estratosféricos são quase exclusivamente função da temperatura potencial, como tal, oscilações da temperatura da troposfera poderão traduzir-se em movimentos isentrópicos dessas massas de ar a diferentes altitudes (HOLTON, *et al.*,1995).

O estudo do comportamento isentrópico das massas de ar aos 12 km de altitude, nesse período, revelou a possibilidade de intrusão estratosférica em todas as amostras com excepção da colhida entre 27 e 29 de Fevereiro de 2000. Apesar da elevada altitude da massa de ar que se acabou de referir, acentua-se que o modelo Hysplit está preparado para responder a trajectórias até aos 20 km de altitude (DRAXLER; HESS, 1998).

Tem sido afirmado, nos últimos anos, que as intrusões estratosféricas poderão influenciar o clima global (NEWMAN; SCHOEBERL, 1995; APPENZELLER, *et al.*, 1996), no entanto, a compreensão dos efeitos das intrusões estratosféricas no clima requer um tratamento adequado, quer do ponto de vista teórico, quer do ponto de vista da modelação climática, bem como uma recolha eficaz de dados.

Recorrendo aos valores médios da actividade do ^7Be sobre o Atlântico Norte publicados por Dibb *et al.*, (2000) durante o SONEX, no Atlântico Norte Central, tentou-se investigar a variação da actividade do ^7Be com a altitude. Utilizaram-se os três valores de actividade média encontrados por estes autores para os 8 km, entre os 8 e 10 km (valor médio 9 km) e superior aos 10 km (valor médio 12 km) fora dos corredores aéreos. Os três pontos ajustam-se perfeitamente a uma exponencial crescente em altitude.

A partir da equação dessa exponencial (equação 1):

$$\text{Actividade de } ^7\text{Be} = 1,2949 e^{0,3047 \text{altitude}} \quad \text{Equação 1}$$

Verificou-se qual seria o valor estimado por expressão, para a actividade ao nível dos 50 m (altitude do local de colheita) na ilha Terceira (localizada no Atlântico Norte Central) sem intrusão estratosférica. Obteve-se para essa altitude uma actividade de ^7Be de 1,94 mBq m^{-3} . A relação empírica anterior tem um coeficiente de correlação $r=0,997$ a um nível de significância de 95%.

O valor mínimo de actividade de ^7Be medido neste estudo, correspondeu a uma situação muito particular: após ter ocorrido uma grande deposição de aerossol mineral sobre a Terceira e antes de ocorrerem outras deposições significativas, colheu-se (entre os dias 2 e 6 de Março de 2000) uma massa de aerossol extremamente baixa (1,72 g/m^3 de aerossol PM1). A actividade associada a essa amostra foi de 1,28 mBq m^{-3} . Esse valor mínimo é muito próximo do obtido pela relação empírica anterior.

Tanto o mínimo de ^7Be obtido pela relação empírica 1, como o mínimo medido neste estudo são muito próximos das estimativas de Bhandari *et al.* (1966) *fide* Savoie *et al.* (1992) para a actividade média do ^7Be à superfície do Globo (1,6 mBq m^{-3}).

Admitindo que durante o período a que nos temos referido, ocorreram intrusões das altas camadas da atmosfera na baixa troposfera, de acordo com o perfil vertical da actividade do ^7Be descrito pela relação empírica 1, determinaram-se as altitudes médias a que se deslocou o aerossol submicrométrico durante o período de estudo aqui referido (tabela 1).

Tabela 1. Altitude máxima atingida pelo aerossol submicrométrico no período de 27 de Fevereiro a 18 de Março de 2000.

Início da amostragem	Fim da amostragem	Actividade ^7Be (mBq m ⁻³)	Altitude Previsível (km)
27-02-2000	29-02-2000	3,69	3,4
02-03-2000	06-03-2000	1,28	0
06-03-2000	10-03-2000	9,44	6,5
10-03-2000	14-03-2000	4,87	4,4
14-03-2000	18-03-2000	6,87	5,5

Na tentativa de se enquadrar, tantos os resultados anteriormente calculados como os efectivamente medidos, construiu-se a tabela 2, onde se apresenta a actividade do ^7Be associada ao aerossol em vários locais do Globo.

Foi observada uma forte dependência linear entre a actividade do ^7Be e a actividade do ^{210}Pb no aerossol no aerossol mineral. A existência de uma dependência linear entre a actividade destes dois isótopos poderá significar que: após o aerossol mineral (aerossol de origem continental) ser transportado em altitude, sofreu uma descida da alta troposfera para a baixa troposfera, a latitudes próximas das dos Açores.

Tabela 2. Actividade média do ^7Be para vários locais do Globo.

Local	Nível	Média (mBqm-3)	Autor
Alemanha	Solo	3	Brost <i>et al.</i> , 1991 ^a
Suíça	Solo	3	Gaggeler, 1995 ^a
Global estimado	Solo	1,6	Bhandari <i>et al.</i> , 1966 ^a
Mawson -Antárctida	Solo	6	Savoie <i>et al.</i> , 1992
Cape Grim	Solo	6	Feeley <i>et al.</i> , 1988 ^b
Terceira-Açores	50 m	5,2	Neste estudo
Junfraujoch-Suíça	3580 m	6,8	Zanis <i>et al.</i> , 1999

a) Referido por Savoie *et al.*, (1992).

b) Referido por Zanis *et al.*, (1999).

Na figura 2 apresenta-se a dependência linear observada entre o ^{210}Pb e o ^7Be . Essa relação linear apresentou um coeficiente de correlação de 0,96 a um nível de confiança de 0,05.

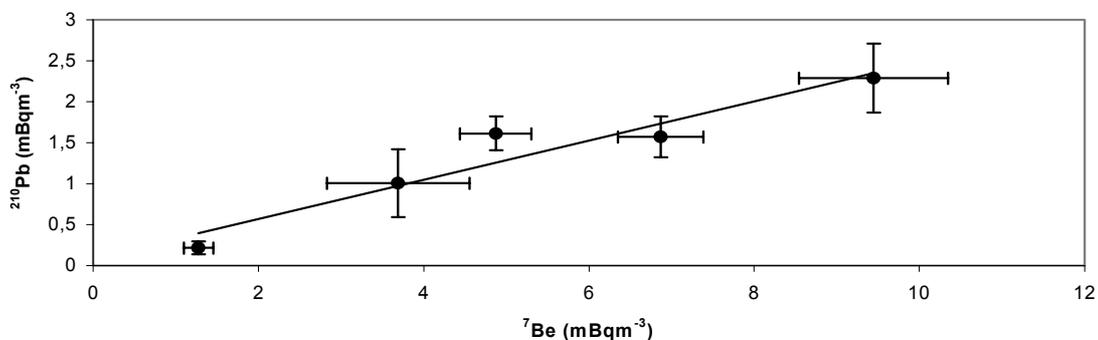


Figura 2. Relação linear de dependência da actividade do ^{210}Pb da actividade do ^7Be .

Fazendo uso dos resultados obtidos na tabela 1, pode-se afirmar que o transporte de aerossol mineral submicrométrico observado na ilha Terceira, ocorreu no mínimo, entre os 3,4 km e os 6,5 km de altitude. Estes valores são perfeitamente coerentes com as observações visuais do Pico do Teide nas Canárias e da Serra de Santa Bárbara na ilha Terceira.

A actividade do ^7Be bem como a do ^{210}Pb observada na baixa troposfera ao nível dos 50 m, parece depender dos padrões sinópticos da alta troposfera, bem como da escala temporal a que ocorreram processos de misturas e diluição atmosférica.

Sendo o chumbo-210, um bom traçador da origem continental do aerossol (PREISS; GENTHON, 1997), foi-se verificar se a actividade de ^{210}Pb era dependente do número de dias em que as trajectórias isentrópicas se mantiveram sobre território continental. Na figura 3 apresenta-se o comportamento observado.

Se retirarmos o ponto respeitante à amostra colhida entre 10 e 14 de Março de 2000 (triângulo), observa-se uma tendência exponencial com um coeficiente de determinação de 0,99 a 95% de significância.

No período de 10 a 14 de Março de 2000, tanto as trajectórias retrogradadas obtidas a partir do modelo Hysplit, como as imagens obtidas pela sonda SeaWiFS (MCCLAIN *et al.*, 1998) sugerem um arrastamento do aerossol mineral que pairava sobre o Atlântico nas proximidades do Sul da Península Ibérica, pelas massas de ar oriundas do Norte da Europa.

O número de dias de permanência das massas de ar sobre território continental, foram extraídos a partir das trajectórias geradas pelo modelo Ready Hysplit da NOAA.

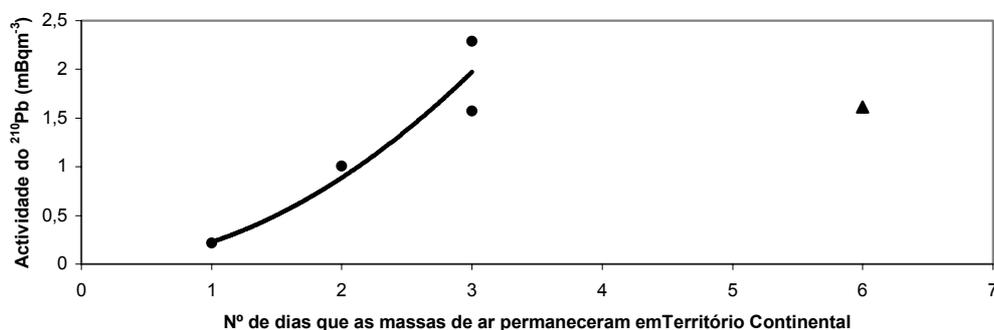


Figura 3. Relação entre a actividade do ^{210}Pb e o número de dias de permanência das massas de ar em território continental.

A existência de tal relação, indicia um enriquecimento do aerossol submicrométrico em ^{210}Pb resultante do decaimento do ^{222}Rn emitido pelos solos continentais, tal como sugerido por Savoie *et al.* (1992). De acordo com esses autores, o ^{210}Pb é “um excelente traçador das massas de ar que estiveram em contacto convectivo recente com as massas de ar continentais, uma vez que é produto do decaimento do ^{222}Rn cuja emissão tem origem predominante nos solos”.

A actividade mínima de ^{210}Pb observada na Terceira foi, durante esse período, de $0,22 \pm 0,08 \text{ mBqm}^{-3}$.

Preiss e Genthon, (1997) referem para o Atlântico Norte Central, uma actividade de ^{210}Pb ao nível do solo de $0,35 \text{ mBqm}^{-3}$, que dentro do erro analítico, é praticamente idêntica ao mínimo observado neste estudo.

De forma a clarificar a origem e a actividade média do ^{210}Pb no Atlântico, construiu-se a tabela 3, adaptada do trabalho de Preiss e Genthon (1997). Nesse trabalho, esses autores sintetizam as múltiplas medições da actividade do ^{210}Pb , a partir de dados publicados e de outros, ainda não publicados.

Tabela 3. Níveis de actividade média de ^{210}Pb para várias regiões do globo.

Região	Ambiente	Actividade (mBqm^{-3})
América do Norte	Continental	0,48-0,96
América do Norte	Costeiro	0,26-0,54
Ártico	Costeiro	0,25-0,44
Oceano Atlântico	Marítimo	0,05-0,35
Neste Estudo	Marítimo - Insular	0,14-2,71
Europa	Costeiro	0,17-1,09
Europa	Continental	0,24-0,7
África	Costeiro	0,13
África	Continental	0,75

De acordo com os dados apresentados na tabela anterior, no Atlântico existe uma variação de actividade reduzida, enquadrando-se o valor mínimo observado nos Açores na gama de valores reportada para o Oceano Atlântico. As taxas de actividade de ^{210}Pb elevadas, observadas no período de Fevereiro - Março 2000 nos Açores, acentuam de novo, o carácter continental do aerossol.

4. CONCLUSÕES

As poeiras originárias do Saara, quando atingem os Açores, localizados no Centro do Atlântico Norte, apresentam actividades de berílio 7 que oscilam entre os valores previstos para o nível do mar, a esta latitude, e os observados a grandes altitudes, nas montanhas europeias. Os níveis de chumbo 210 nos Açores oscilam entre os previstos para o nível do mar a esta latitude e por vezes superiores aos observados em atmosferas continentais europeias e americanas.

Os rácios $^7\text{Be}/^{210}\text{Pb}$ do aerossol poderão fornecer indicações acerca dos processos de mistura de massas de ar estratosféricas – troposféricas, bem como da origem continental, marinha ou insular do aerossol. Sendo assim, a determinação da actividade de isótopos

radioactivos naturais, nomeadamente berílio 7 e chumbo 210, revela-se uma boa ferramenta para a caracterização de processos físico-químicos associados à dispersão do aerossol.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APPENZELLER, C., DAVIES, H.C. & NORTON, W.A. 1996. Fragmentation of stratospheric intrusions, **Journal of Geophysical Research**, Vol 101, p1435-1456.
- BIRAUD, S.; CIAIS, P.; RAMONET, M.; SIMMONDS, P.; KAZAN, V.; MONFRAY, P.; O'DOHERTY, S.; SPAIN, T.G. & JENNINGS, S.G. 2000. European greenhouse gas emissions estimated from continuous atmospheric measurements and radon 222 at Mace Head, Ireland, **Journal of Geophysical Research**, Vol 105 (D1), p1351-1366.
- BLAKE, W.H.; WALLING, D.E. & HE, Q. 1999. Fallout beryllium-7 as a tracer in soil erosion investigations, **Applied Radiation and Isotopes**, Vol 51, p599-605.
- DIBB, J.E.; TALBOT, R.W. & SCHEUER, E.M. 2000. Composition and distribution of aerosols over the North Atlantic during the Subsonic Assessment Ozone and Nitrogen Oxide Experiment (SONEX), **Journal of Geophysical Research**, Vol 105 (D3), p3709-3717.
- DRAXLER, R.R. & HESS, G.D. 1998. Description of the Hysplit_4 Modeling System, **NOAA Technical Memorandum**, ERL ARL – 24.
- HOLMES, C.W., SHINN, E.A., RODRIGUES, A.F. & MAROT, M.E. 2000. Be-7/Pb-210 Content of Saharan Dust Measured in the Azores Sampled During Mid-Winter and spring, 2000. **Proceedings of Eos, Transactions, American Geophysical Union**. F69, Vol 81, N°48, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco. U.S.A..
- HOLTON, J.R.; HAYNES, P.H.; MCINTYRE, M.E.; DOUGLASS, A.R.; ROOD, R.B. & PFISTER, L. 1995. Stratosphere-troposphere exchange, **Reviews of Geophysics**, Vol 33, p403-439.
- KIM, G.; HUSSAIN, N. & CHURCH, T. 2000. Excess ^{210}Po in the coastal atmosphere, **Tellus** Vol 52B, p74-80,
- MACKENZIE, A. B. 2000. Environmental radioactivity: experience from the 20th century-trends and issues for the 21st century. **The Science of the Total Environment**, Vol 249, p 313-329.

- MCCLAIN, C.R.; CLEAVE, M.L.; FELDMAN, G.C.; GREGG, W.W.; HOOKER, S.B. & KURING, N. 1998. Science quality SeaWiFS data for global biospheric research, **Sea Technology**, Vol 39, p10-16.
- NEWMAN, P.A. & SCHOEBERL, M. 1995. A reinterpretation of the data from the NASA stratosphere-troposphere exchange project, **Geophysical Research Letters**, Vol 22, p2501-2504.
- OBSERVATORIO DEL TEIDE. 2000. **Eventos Astronómicos**, Fotografia de poeiras do Saara no Teide. www.iac.es/ot/real/. Data de consulta 20/2/2001.
- PREISS, N. & GENTHON, C. 1997. Use of a new database of lead 210 for global aerosol model validation, **Journal of Geophysical Research**, Vol 102(D21), p25347-25357.
- RODRIGUES, A. F. 2004. Estudo de radionuclídeos atmosféricos: Fontes e variação temporal. **Poluição do ar e ruído**. Departamento de Ciências Agrárias e do Ambiente da Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo-Portugal, 8p.
- RODRIGUES, A. F. **Aerossóis Atmosféricos com Efeitos no Clima: Níveis e Processos de Transformação no Centro do Atlântico Norte (Região Açores)**. 2001. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências Agrárias e do Ambiente da Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo-Portugal.
- RODRIGUES, A.F., FIALHO, P., PIO, C., LOBO, A., CARVALHO, A., & CERQUEIRA, M. 2001. Chemical Characterisation of Marine Aerosol in the Azores, **Physics and Chemistry of the Earth: Part B**, Vol26/10, p.829-832.
- RODRIGUES, A.F., HOLMES, C., PIO, C., MAROT, M. & FIALHO, P. 2000. ^7Be as tracer on the investigation of upper tropospheric dispersion of Saharan dust during the Mid-Winter 2000 storm events (Azores), **Proceedings of the Seminar IGBP 2000. Global Change – Biophysical and Social-economical Impact**, Aveiro, Portugal, 3p.
- RODRIGUES, F. C. 2002. **Estudo hidrogeológico da ilha Terceira (Açores)**, Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências Agrárias e do Ambiente da Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo-Portugal.
- SAVOIE, D.L., PROSPERO, J.M., LARSEN, R.J. & SALTZMAN, E.S. 1992. Nitrogen and Sulfur Species in Aerosols at Mawson, Antarctica, and Their Relationship to Natural Radionuclides. **Journal of Atmospheric Chemistry**, Vol 14, p181-204.

SHEETS, R.W. & LAWRENCE, A.E. 1999. Comparative temporal behavior of radon-and thoron-progeny in surface air over the midwestern U.S., **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Vol 242, nº 3, p761-767.

USGS. 2000. African Dust Causes Widespread Environmental Distress, **USGS Information Sheet**, April 2000, 4p.

WARNECK, P. 1988. **Chemistry of the Natural Atmosphere**, International Geophysical Series, Vol 41. Academic Press, San Diego.

ZANIS, P.; SCHUEPBACK, E.; GAGGELER, H.W.; HUBENER, S. & TOBLER, L. 1999. Factors controlling beryllium-7 at Jungfrauoch in Switzerland, **Tellus**, Vol 51B, p789-805.